

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Evaldas PETKEVIČIUS

**AUTOMOBILIŲ KELIŲ
ASFALTBETONIO DANGOS
EKSPLOATAČINIŲ RODIKLIŲ
LEISTINŲJŲ VERČIŲ
PAGRINDIMAS**

DAKTARO DISERTACIJA

TECHNOLOGIJOS MOKSLAI
STATYBOS INŽINERIJA (02T)



Vilnius LEIDYKLA
TECHNIKA 2010

Disertacija rengta 2004–2010 metais Vilniaus Gedimino technikos universitete.

Disertacija ginama eksternu.

Mokslinis konsultantas

prof. dr. Andrus AAVIK (Talino technologijos universitetas,
technologijos mokslai, statybos inžinerija – 02T).

VGTV leidyklos TECHNIKA 1777-M mokslo literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-9955-28-611-0

Autoriaus el. paštas *evaldaspetkevicius@vgtu.lt*

© VGTV leidykla TECHNIKA, 2010

© Petkevičius, E. 2010

VILNIUS GEDIMINAS TECHNICAL UNIVERSITY

Evaldas PETKEVIČIUS

**SUBSTANTIATION OF
THE PERMISSIBLE VALUES
OF SERVICE INDICES
OF ASPHALT CONCRETE
ROAD PAVEMENT**

DOCTORAL DISSERTATION

TECHNOLOGICAL SCIENCES,
CIVIL ENGINEERING (02T)



LEIDYKLA
Vilnius TECHNIKA 2010

Doctoral dissertation was prepared at Vilnius Gediminas Technical University in 2004–2010.

The dissertation is defended as an external work.

Scientific Consultant

Prof Dr Andrus AAVIK (Tallinn University of Technology,
Technological Sciences, Civil Engineering – 02T).

Reziumė

Disertacijos tikslas – nustatyti Lietuvos automagistralių asfaltbetonio (AB) dangos lygumo, suirties masto bei funkcionavimo trukmės rodiklių, taip pat dangos asfaltbetonio fizinių bei mechaninių rodiklių leistinasias vertes ir jo komponentinės sudėties rodiklių racionalias vertes. Sprendžiami šie pagrindiniai uždaviniai: išanalizuoti automobilių kelių AB dangos savybes bei būklę veikiančius veiksnius, pagrįsti automagistralių AB dangos lygumo, suirties masto ir funkcionavimo trukmės rodiklių leistinasias vertes, taip pat viršutinio dangos sluoksnio asfaltbetonio komponentinės sudėties rodiklių racionalias vertes ir fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą ir sutankinimo koeficiento leistinasias vertes.

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai, rezultatų apibendrinimas, naudotos literatūros ir autoriaus publikacijų disertacijos tema sąrašai ir 4 priedai.

Įvade aptariama tiriamoji problema, darbo aktualumas ir tyrimų objektas, darbo tikslas bei uždaviniai, tyrimų metodika, darbo mokslinis naujumas, darbo rezultatų praktinė vertė ir ginamieji teiginiai.

Pirmajame skyriuje išnagrinėti įvairių šalių mokslininkų atlikti automobilių kelių AB dangos ir dangos asfaltbetonio būklės ir savybių tyrimai.

Antrajame skyriuje pateikti teoriniai tyrimai AB dangos ir dangos asfaltbetonio būklei bei savybėms ir jo sudėties ir savybių siečiai nustatyti.

Trečiajame skyriuje pristatyti tyrimai AB dangos būklės bei savybių nustatymo metodikai patobulinti. Pateikti dangos būklės ir lygumo ir dangos asfaltbetonio sudėties bei fizinių ir mechaninių rodiklių sieties tyrimai.

Ketvirtajame skyriuje pasiūlytos automagistralių dangos lygumo, suirties masto bei funkcionavimo trukmės ir jos viršutinio sluoksnio AB fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą ir tankio koeficiento leistinosios vertės.

Disertacijos tema paskelbta 11 mokslinių straipsnių: du – žurnaluose, esančiuose Mokslinės informacijos instituto *Thomson ISI Web of Science* sąraše, du – recenzuojamuose periodiniuose mokslo leidiniuose, šeši – tarptautinių konferencijų ir seminarų medžiagoje, vienas – Lietuvos konferencijos medžiagoje. Disertacijos tema perskaityti 7 pranešimai Lietuvos ir kitų šalių mokslinėse konferencijose bei seminaruose.

Abstract

The dissertation is aimed at the establishment of permissible values of roughness, degree of disintegration and service life of asphalt-concrete (AC) pavement of Lithuanian motor roads and physical and mechanical properties of asphalt-concrete in pavements as well as rational values of its componential composition. The following main tasks were fulfilled: analysis of the factors affecting the properties and condition of AC pavement of motor roads; validation of permissible values of roughness, degree of disintegration and service life of AC pavement of motor roads as well as rational values of componential composition of the wearing course of AC pavement and permissible values of physical and mechanical properties according to Marshall and density coefficient.

The dissertation is composed of introduction, four sections, generalization of results, list of references and author's publications and 4 addenda.

Introduction describes the investigated problem, topicality of research work, aim and task of research, research methodology, scientific novelty, practical importance of obtained results and the defended propositions.

Section one contains an overview of researches of foreign authors dealing with the condition and properties of AC pavement of motor roads.

Section two gives individual theoretical investigations dealing with the condition and properties of AC pavement of motor roads and AC in pavements and analysis of correlation dependence between the componential composition of AC and its properties.

Section three introduces the results of investigations devoted to improvement of the methods for determining the condition and properties of AC pavement. It also contains the results obtained by analysis of the condition and roughness of AC pavement, componential composition of AC in pavements correlation dependence of physical and mechanical properties of AC.

Section four includes the recommended permissible values of the roughness, level of disintegration and service life of AC pavements, physical and mechanical indices of the wearing course of AC according to Marshall and density coefficients.

The subject of the present dissertation has been discussed in 11 scientific articles: two in scientific journals included in the Thompson ISI Web of Science, two in the reviewed periodical scientific publications, six in proceedings of international conferences and seminars, and one in the proceedings of the conference held in Lithuania. The research results of the present dissertation were reported in 7 presentations at international et other scientific conferences and seminars.

Sąvokos

Asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių pagal Maršalą leistinosios vertės – asfaltbetonio (AB) stabilumo (*Marshall stability*) S , kN, AB plastiškumo (*Marshall flow*) F , mm, AB stabilumo ir plastiškumo santykio (Maršalo koeficiento) (*Marshall quotient*) $Q = \frac{S}{F}$, $\frac{\text{kN}}{\text{mm}}$, AB tuštymėtumo (*Marshall volume of air voids*) V_a , %, taip pat tankio koeficiento (*coefficient density*) K_d ribinės (mažiausios ir/ar didžiausios) leistinos vertės, garantuojančios asfaltbetonio funkcionavimo (be ženklios suirties, kai dangos suirties mastas $D_D \leq 8$ %) Lietuvos automagistralių dangoje ne mažesnę kaip 8 metai trukmę.

Asfaltbetonio racionali sudėtis – asfaltbetonio (AB) komponentinė sudėtis, parodanti komponentų asfaltbetonyje racionalių kieki (masės %): skaldos frakcijos (stambesnių kaip 2 mm grūdelių) (*coarse aggregate*) CA , smėlio frakcijos (0,09–2 mm stambumo grūdelių) (*fine aggregate*) FA , mineralinių miltelių frakcijos (smulkesnių kaip 0,09 mm grūdelių) (*mineral filler*) MF ir bitumo (*bitumen*) B , garantuojanti asfaltbetonio funkcionavimo (be didesnės suirties, kai dangos suirties mastas $D_D \leq 3$ %) Lietuvos automagistralių dangoje kuo ilgesnę trukmę – ne mažiau kaip 10 metų.

Kelias – eismui skirta (ir naudojama) žemės arba kelių statinio paviršiaus juosta, įskaitant važiuojamąją dalį, kelkraščius, sankryžas, pėsčiųjų ir dviračių takus, eismo srautų atskyrimo juostas.

Kelio (kelių) danga – eismui skirtos važiuojamosios dalies viršutinė dalis (viršutinis ir apatinis sluoksniai), tiesiogiai priimanti transporto priemonių apkrovas ir jas paskirstanti žemiau esantiems kelių dangos konstrukcijos sluoksniams, taip pat tiesiogiai veikiama (viršutinis sluoksnis) oro temperatūros, saulės spinduliuotės, oro deguonies, kritulių, vėjo ir kitų veiksnių. Ji būna asfaltbetonė ar kita asfaltinė, cementbetonė, skaldos, žvyro, akmens grindinio ir kita.

Kelio (kelių) dangos būtinasis remontas – neišvengiamas kelių dangos (KD) remontas, kurį būtina kuo skubiau atlikti, kai KD lygumas ir/ar jos suirties mastas viršija savo leistinąją (ribinę) vertę.

Kelio (kelių) dangos funkcionavimo trukmė – kelių dangos (KD) funkcionavimo nuo įrengimo iki jos būtinąjo remonto arba jos funkcionavimo tarp būtinųjų remontų laikotarpis (tarpremontinis laikotarpis).

Kelio (kelių) dangos konstrukcija – eismui skirtos važiuojamosios dalies konstrukcija, sudaryta iš dangos ir žemiau esančių pagrindo sluoksnių (asfaltbetonio ar kito asfalto, skaldos, žvyro ar smėlio ir žvyro mišinio arba kitos medžiagos kapiliarus nutraukiančios ir/ar šilumą izoliuojančios). Jos paskirtis – priimti transporto priemonių apkrovas ir jas tolygiai paskirstyti žemės sankasos grunte, taip pat apsaugoti kelio (kelių) dangą nuo kapiliarinio vandens šaltuoju metų laikotarpiu ir nuo perteklinės drėgmės pavasario polaidžio ir rudens liūčių metu.

Kelio (kelių) dangos konstrukcijos būtinasis remontas – neišvengiamas KDK remontas, kurį būtina kuo skubiau atlikti, kai KDK lygumas ir/ar jos stipris (ir/ar jos suirties mastas) viršija savo leistinąją (ribinę) vertę.

Kelio (kelių) dangos konstrukcijos funkcionavimo trukmė – kelių dangos konstrukcijos (KDK) funkcionavimo nuo įrengimo iki jos būtinąjo remonto arba jos funkcionavimo tarp būtinųjų remontų laikotarpis (tarpremontinis laikotarpis).

Kelio (kelių) dangos lygumas – kelių dangos eksploatacinės būklės rodiklis, parodantis, kiek dangos paviršius (važiavimo kryptimi) yra nykrypęs nuo tam tikros idealios linijos, rodančios visišką (idealų) dangos lygumą. Dangos lygumas Lietuvoje nustatomas matuojant 3 m ilgio kartele (iki 2008 metų buvo nustatomas matuojant 4 m ilgio kartele) arba nustatomas greitaeigėmis, keliu 80 km/h greičiu važiuojančiomis mobiliomis laboratorijomis DYNATEST 5051 RSP ar RST-28, vertinamas tarptautiniu lygumo rodikliu IRI (*International Roughness Index*), m/km. Rodiklis IRI – tai suma automobilio vibracijų, kurias sukelia kelio išilginio profilio nelygumai vėžėse – standartinio automobilio, važiuojančio 80 km/h greičiu, pakabos vertikaliųjų poslinkių sumos ir nuvažiuoto kelio santykis. Dangos lygumas kartele nustatomas 30–50 m ilgio eismo juostų ruožuose, o mobiliomis laboratorijomis įvertinamas 50 m ilgio eismo juostų ruožams.

Kelio (kelių) dangos lygumo leistinoji vertė – kelių dangos lygumo leistina (ribinė) vertė, kurią (eismo juostos ruože) viršijus, dangą reikia nedelsiant remontuoti.

Kelio (kelių) dangos suirties mastas – kelių dangos eksploatacinės būklės rodiklis, parodantis, kiek (kuria dalimi, %) danga suirusi (pažeista pažaidomis). Dan-

gos suirties mastas nustatomas vizualiai, naudojant dangos suirties etalonines nuotraukas (apytikris suirties nustatymo būdas 30–50 m ilgio eismo juostų ruožuose, esant reikalui, gali būti daromos fotonuotraukos); atliekant tiesioginius matavimus 30–50 m ilgio eismo juostų ruožuose – geriausia 0,3–0,5 m ilgio liniuote, 25–30 m ilgio rulete ar, esant reikalui, 50 m ilgio matavimo juosta (patogu – ilgio matavimo rateliu) ir atliekant matavimus mobiliąja laboratorija RST-28 bei suirtį vertinant 50 m ilgio eismo juostų ruožams.

Kelio (kelių) dangos suirties masto leistinoji vertė – kelių dangos suirties masto leistina (ribinė) vertė, kurią (eismo juostos ruože) viršijus, dangą reikia nedelsiant remontuoti.

Kelio konstrukcija – eismui skirtos važiuojamosios dalies konstrukcija, sudaryta iš kelio dangos konstrukcijos ir po ja esančio žemės sankasos grunto sluoksnio (tos jo dalies, kuri priima transporto priemonių apkrovas) – grunto aktyviosios zonos, kurioje susidaro įtempiai dėl transporto priemonių apkrovų poveikio.

Kelio (kelių) dangos pažeidimai – KD liekamosios deformacijos: skersiniai, išilginiai ir įstrižieji plyšiai, briaunų, sandūrų ir nuovargio plyšiai, plyšių tinklas, išaižos, ištrupos, briaunų (kraštų) ištrupos, išdaužos, įgriuvos (įlūžiai), iškylos prie plyšių, kelkraščių nuosėdžiai, vėžės, bangos, slinktys, plyšiai (dėl slinkčių), įdubos, bitumo dėmės ir kt. Pagal pažeidimų pobūdį galima nustatyti KD suirties priežastis.

Kelio (kelių) dangos suirties etaloninė nuotrauka – KD suirties nuotrauka, kurioje matosi dangos pažeidimai ir jų užimamas plotas. Šalia etaloninės nuotraukos nurodomas dangos suirties mastas (%). Nustatant KD suirtį vizualiai (pagal KD suirties etaloninę nuotrauką) stebima KD faktinė suirtis, kuri lyginama su etaloninėse nuotraukose parodyta suirtimi. KD suirties mastas nurodomas pagal tą etaloninę nuotrauką, kurioje parodyta KD suirtis ir suirties (pažeidimų) pobūdis labiausiai atitinka stebimos dangos faktinę suirties mastą ir suirties pobūdį.

Projektinis automobilis – sąlyginis (neegzistuojantis) automobilis (su nurodytais konkrečiais parametrais jo ratų poveikiui kelių dangai (KD) ir kelių dangos konstrukcijai (KDK) apskaičiuoti). Skaičiavimo patogumui visų transporto priemonių (TP) ratų poveikis KD ir KDK apskaičiuojamas (suvedamas) į projektinių automobilių (PA) poveikį, o TP eismo intensyvumas apskaičiuojamas (suvedamas) į PA eismo intensyvumą.

Sunkioji transporto priemonė – krovininis, didesnis kaip 3,5 tonos masės, automobilis, su priekaba ar puspriekabe, ir daugiau kaip 9 sėdimų vietų, įskaičiuojant vairuotojo vietą, autobusas.

Transporto priemonė – motorine ar biologine trauka (žmonių, taip pat arklių ir kitų nešulius ar vežimus traukiančių gyvulių raumenų jėga) aprūpinta priemonė žmonėms (keleiviams) ir/ar kroviniams, taip pat ant jos sumontuoti stacionariai įrangai vežti. Ši sąvoka taip pat apima traktorius, savaeigės mašinas ir eismui nekeliais (dviračių takais ir kt.) skirtas transporto priemones.

Žymėjimai

Simboliai

T	– funkcionavimo trukmė.
T_D	– asfaltbetonio (AB) dangos funkcionavimo trukmė, metais.
L	– kelių dangos (KD) bandymų ruožo ilgis.
L_e	– AB dangos elementariojo bandymų ruožo ilgis, m.
Y	– KD lygumo rodiklis.
Y_{IRI}	– KD lygumo rodiklio pagal tarptautinį indeksą IRI vertė, m/km.
N_s	– transporto priemonių (TP) eismo intensyvumas, aut./parą.
N_c	– AB nuovargio rodiklis, ciklais.
σ	– tempimo įtempiai, MPa.
ε	– santykinė deformacija.
R_l	– AB atsparumas tempimui lenkiant, MPa.
E	– tampros modulis, MPa.
τ_i	– šlyties įtempiai, MPa.
h	– KDK sluoksnių storis, mm.
p_o	– oro slėgis TP ratų padangose, MPa.

- S_{AB} – elementariojo ruožo (vienoje eismo juostoje) AB dangos plotas, m².
 S_{pr} – prošvaisos vėžėje (po 2 m ilgio karte) plotas, mm².
 l_i – atskiro i -tojo plyšio ilgis, m.
 b_i – KD juostos plotis iš abiejų i -tojo plyšio pusių, m.
 H_v – KD vėžetumo rodiklis, mm.
 P – eksploatacinio patikimumo rodiklis, %.
 K_{st} – KDK stiprio koeficientas, vieneto dalimis.
 h_n – KD nuodylos rodiklis, mm.
 ϕ – TP ratų sankibos su KD koeficientas, vieneto dalimis.

Santrumpos

- AASHTO – Amerikos (JAV) kelių ir transporto pareigūnų asociacija
 (angl. *American Association of State Highway and Transportation Officials*).
 AB – asfaltbetonis.
 AM – asfaltinis mišinys.
 DAVASEMA – dangų (būklės) valdymo sistema, sukurta Lietuvoje.
 DVS – dangų (būklės) valdymo sistema.
 ES – Europos Sąjunga.
 GVL – gruntinio vandens lygis.
 HDM – kelių plėtros ir valdymo modelis
 (angl. *Highway Development and Management Tool*).
 IRI – kelių dangos lygumo tarptautinis rodiklis
 (angl. *International Ratio Index*).
 KD – kelių danga.
 KDK – kelių dangos konstrukcija.
 KK – kelio konstrukcija.
 KV – kritulių vanduo.
 KVK – konvekcija (šilumos mainai).
 PA – projektinis automobilis.
 PMS – kelių dangos būklės valdymo sistema
 (angl. *Pavement Management System*).
 STP – sunkioji transporto priemonė.
 ŠR – šiluminė radiacija.
 TKTI – VĮ Transporto ir kelių tyrimo institutas.
 TP – transporto priemonė.
 VMPEI – vidutinis metinis paros transporto priemonių eismo intensyvumas.
 ŽS – žemės sankasa.

Turinys

IVADAS	1
Tiriamoji problema.....	1
Darbo aktualumas.....	2
Tyrimų objektas.....	3
Darbo tikslas.....	3
Darbo uždaviniai	3
Tyrimų metodika	4
Darbo mokslinis naujumas ir jo reikšmė	4
Darbo rezultatų praktinė reikšmė	4
Ginamieji teiginiai	5
Darbo rezultatų aprobavimas.....	5
Disertacijos struktūra.....	6
 1. AUTOMOBILIŲ KELIŲ ASFALTBETONIO DANGOS SAVYBIŲ IR FUNKCIONAVIMO TRUKMĖS TYRIMŲ APŽVALGA.....	7
1.1. Lietuvos automobilių kelių ir transporto priemonių eismo charakteristika.....	7
1.2. Įvairių veiksnių įtaka ab dangos būklei, savybėms ir funkcionavimo trukmei	11
1.3. Asfaltbetonio dangos pažeidos, suirtis, jų susidarymo priežastys ir vertinimo metodai.....	17
1.4. Asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos funkcionavimo trukmė.....	23
1.5. Automobilių kelių dangos asfaltbetonio kokybė ir gerinimo galimybės.....	26
1.6. Pirmojo skyriaus išvados ir darbo uždavinių formulavimas	29

2. TEORINIAI TYRIMAI DANGOS BŪKLĖS IR SAVYBIŲ RODIKLIŲ RACIONALIOSIOMS VERTĖMS NUSTATYTI	31
2.1. Asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos funkcionavimo sąlygos, būklė ir savybės.....	32
2.2. Asfaltbetonio dangos bei jos konstrukcijos eksploatacinė būklė ir tarpremontiniai laikotarpiai	38
2.3. Dangos asfaltbetonio ir asfaltbetonio dangos savybių rodiklių racionaliosios vertės	47
2.4. Antrojo skyriaus išvados	59
3. KELIŲ DANGOS EKSPLOATAVINĖS BŪKLĖS IR DANGOS ASFALTBETONIO SAVYBIŲ EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI.....	61
3.1. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos eksploatacinės būklės tyrimų metodika	62
3.2. Metodika tyrimams atlikti ir duomenims apdoroti.....	69
3.3. Automagistralių asfaltbetonio dangos eksploatacinių rodiklių analizė	76
3.4. Asfaltbetonio komponentų kiekio įtakos jo fiziniams ir mechaniniams bei kitiems rodikliams analizė.....	85
3.5. Trečiojo skyriaus išvados	89
4. AUTOMAGISTRALIŲ DANGOS IR DANGOS ASFALTBETONIO SAVYBIŲ RODIKLIŲ LEISTINOSIOS VERTĖS.....	91
4.1. Asfaltbetonio dangos būklė ir ją lemiantys veiksniai.....	92
4.2. Automagistralių asfaltbetonio dangos ir dangos asfaltbetonio savybių rodiklių leistinosios vertės	98
4.3. Ketvirtojo skyriaus išvados	106
BENDROSIOS IŠVADOS	107
LITERATŪROS SĄRAŠAS	109
AUTORIAUS MOKSLINIŲ PUBLIKACIJŲ DISERTACIJOS TEMA SĄRAŠAS.....	117
PRIEDAI (elektroninėje laikmenoje).....	119
A priedas. Elementariojo bandymų ruožo ilgis	
B priedas. Dangos kokybės rodikliai	
C priedas. Asfaltbetonio dangos funkcionavimo rodikliai	
D priedas. Asfaltbetonio dangos funkcionavimo trukmė	

Contents

INTRODUCTION	1
The investigated problem	1
Topicality of the work	2
The object of research	3
The aim of the work	3
The tasks of research	3
Methodology of research	4
Scientific novelty of research and its value	4
Practical value of the research results	4
The defended proposition	5
Approbation of research results	5
Dissertation structure	6
 1. A SURVEY OF RESEARCH WORKS ON THE PROPERTIES AND DURABILITY OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS OF MOTOR ROADS	 7
1.1. Characteristics of Lithuanian motor roads and traffic of vehicles	7
1.2. The influence of different factors on the state of asphalt pavement, properties of its construction and service life	11
1.3. Defects of asphalt pavement, disintegration, causes of their formation and methods of assessment	17
1.4. Service life of asphalt pavement and its construction	23
1.5. The quality of asphalt-concrete in motor road pavements and possibilities of its improvement	26
1.6. Conclusions of the first section and formulation of the tasks of the present dissertation	29

2. THEORICALS INVESTIGATIONS FOR DETERMINING THE RATIONAL VALUES OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT CONDITION AND PROPERTY INDICES	31
2.1. Functioning conditions, state and properties of asphalt concrete pavement and its construction	32
2.2. The exploitation state of asphalt concrete pavement and its construction and periods between repairs	38
2.3. The rational values for the properties of asphalt concrete in pavements and asphalt concrete pavement	47
2.4. Conclusions of the second section	59
3. EXPERIMENTAL ANALYSIS OF SERVICE CONDITION OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT AND ASPHALT CONCRETE IN PAVEMENTS	61
3.1. Methods of investigation of the exploitation state of asphalt concrete pavement of motor roads	62
3.2. Methods of research and data processing	69
3.3. Analysis of exploitation indices of asphalt concrete pavement	76
3.4. Analysis of the influence of componential proportions of asphalt concrete on its physical, mechanical and other indices	85
3.5. Conclusions of the third section	89
4. PERMISSIBLE VALUES OF THE INDICES OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENTS AND ASPHALT CONCRETE IN PAVEMENTS	91
4.1. The state of asphalt concrete pavement and determinant factors	92
4.2. Permissible values of the indices of asphalt concrete pavement of motor roads and asphalt concrete in pavements	98
4.3. Conclusions of the fourth section	106
GENERAL CONCLUSIONS	107
LIST OF REFERENCES	109
LIST OF THE AUTHOR'S SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF THE PRESENT DISSERTATION	117
APPENDICES (in electronic medium)	119
Appendix A. Length of elementary test section	
Appendix B. Pavement quality indices	
Appendix C. Physical and mechanical indices of asphalt concrete	
Appendix D. Service life of asphalt concrete pavement	

[vadas

Tiriamoji problema

Lietuva, būdama Europos centre, užima palankią geografinę padėtį tarp Šiaurėje, Pietuose ir Rytuose esančių šalių, o Vakaruose – prie Baltijos jūros. Ši padėtis leido Lietuvai tapti tranzito šalimi, sparčiai plėtojančia automobilių transportą ir automobilių turizmą. Lietuvai 2004 m. įstojus į Europos Sąjungą (ES), šalies automobilių keliai tapo ES kelių tinklo jungiamąja dalimi tarp Vakarų ir Rytų, taip pat tarp Šiaurės ir Pietų.

Pastaraisiais metais Lietuvoje sparčiai daugėjo transporto priemonių (TP) (2000 m. – 1,29 mln., o 2009 m. – 2,13 mln.), o jų, važiuojančių automobilių keliais, srautuose didėjo sunkiųjų transporto priemonių (STP) dalis, taip pat didėjo ir jų eismo intensyvumas. Dėl tokio STP eismo intensyvumo pastaruoju metu reikia rekonstruoti apie 40 % magistralinių ir krašto kelių. Susidarius šiai padėčiai, automobilių kelių priežiūrai, remontui ir rekonstrukcijai skiriama pernelyg mažai lėšų. Didžioji šių lėšų dalis turėtų būti skirta svarbiausių – didžiausio eismo intensyvumo – automobilių kelių reikiamiems kokybės rodikliams, tarp jų – kelių dangos (KD) svarbiausioms savybėms ir jų rodikliams užtikrinti.

Nors Lietuvos automobilių kelių tinklas neblogai išvystytas, jo tankiu ir techniniu kelių lygiu gerokai atsiliekama nuo ekonomiškai išsivysčiusių šalių.

2010 m. pradžioje mūsų šalyje buvo 21 268,4 km valstybinės reikšmės kelių, kurių 13 584,4 km (63,87 %) – keliai su asfalto danga, todėl labai svarbu užtikrinti gerą šių kelių būklę, kuri garantuotų nenutrūkstamą TP eismą artimu projektiniam greičiu.

Sprendžiama aktuali statybos inžinerijos mokslo problema. Asfaltbetonio (AB) danga turi būti taip suprojektuota, kad jos sluoksniai būtų pakankamo, bet ne per didelio storio, kad būtų tinkamai sutankinti, kad dangos asfaltbetonio komponentinės sudėtys būtų racionalios (artimos optimalioms), užtikrinančios kuo didesnę funkcionavimo AB dangoje (be akivaizdžios suirties) trukmę. Dangos asfaltbetonis turi kuo mažiau irti. Šią problemą galima išspręsti garantuojant, kad asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių vertės esamoms vietos sąlygoms (klimatui ir TP apkrovoms) būtų tinkamiausios. Reikia nustatyti AB dangos lygumo leistinąsias vertes ir jos tarpremontinius laikotarpius, garantuojant leistinąsias dangos lygumo vertes. Ši problema iki šiol Lietuvoje kompleksškai nebuvo spęsta, todėl ją reikia išspręsti kuo skubiau. Kitose šalyse gautų sprendinių negalima beatodairiškai taikyti Lietuvoje dėl šių svarbių priežasčių: klimato ir orų sąlygų skirtingumų, esamų žemės sankasos gruntų bei jų drėkinimo sąlygų skirtumų, kelių dangos konstrukcijos (KDK) sluoksniams naudojamų medžiagų kokybės skirtumų ir kt.

Darbo aktualumas

Lietuvos automobilių kelių AB dangos eksploatavimo ir priežiūros patirtis rodo, kad danga dažniausia naudojama per trumpai. Žiemą, rudenį ir pavasarį, esant nepalankiems orams, šioje dangoje atsiranda plyšių, išaižų, ištrupų, išdaužų ir kitų pažaidų, o vasarą, kai yra aukšta oro temperatūra, įkaltus dangai – vėžių, bangų, slinkčių ir kitų liekamųjų šlyties deformacijų. Laikui bėgant šios pažaidos intensyvėja, o pažeistos dangos plotas didėja, todėl, laiku jų nepašalinus, sumažėja kelių važiuojančių susisiekimo priemonių srauto greitis ir kelias tampa sunkiai pravažiuojamas.

Įvairiose šalyse (ir Lietuvoje) atlikti tyrimai parodė, kad asfaltinės dangos irties daro didelį poveikį šios KD lygumo, vienos svarbiausių jos eksploatacinių charakteristikų, blogėjimui. KD lygumas ir jos paviršiaus bei gilesnių sluoksnių irties greitis lemia realiai galimą jos funkcionavimo trukmę. Dangos suirties mastas parodo faktinį dangos patikimumą. Naudojantis KD suirties masto rodikliais, galima gana tiksliai prognozuoti jos realios funkcionavimo trukmės likutines vertes.

Automobilių kelių AB dangos, taip pat ir KDK didžiausios priežiūros bei remonto problemos susijusios su STP daugėjimu Lietuvos keliuose. Lietuvos keliai pagal KD lygumą, KDK stiprį ir kitus rodiklius nėra iki galo pritaikyti STP. Dėl šių automobilių dalies bendrame automobilių sraute augimo didėja dangos ir

KDK ardymo poveikis bei KD irties intensyvumas, todėl reikia nustatyti didelio eismo intensyvumo automobilių kelių AB dangos ir jos asfaltbetonio kokybės rodiklius, kurie užtikrintų kuo ilgesnę dangos funkcionavimo trukmę.

Tyrimų objektas

Tyrimų objektas: asfaltbetonio komponentinės sudėtys; asfaltbetonio fiziniai bei mechaniniai rodikliai; AB dangos ir KDK suirties mastas bei funkcionavimo trukmė; AB dangos lygumas.

Darbo tikslas

Darbo tikslas – nustatyti Lietuvos automagistralių AB dangos lygumo, suirties masto bei funkcionavimo trukmės rodiklį ir dangos asfaltbetonio fizinių bei mechaninių rodiklių leistinąsias vertes, taip pat jo komponentinės sudėties rodiklių racionalias vertes.

Darbo uždaviniai

Siekiant nusibrėžto tikslo, buvo sprendžiami šie uždaviniai:

1. Išanalizuoti automobilių kelių AB dangos ir KDK savybes bei būklę veikiančius veiksnius ir priežastis, lemiančius kelių dangos ir KDK funkcionavimo trukmę.
2. Atlikti tyrimus ir pasiūlyti metodiką kelių AB dangos būklei ir savybėms vertinti.
3. Ištirti Lietuvos automagistralių AB dangos lygumo, suirties masto ir funkcionavimo trukmės rodiklius.
4. Nustatyti automagistralių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio komponentinės sudėties ir fizinių bei mechaninių rodiklių sietį.
5. Nustatyti automagistralių AB dangos lygumo, suirties masto ir funkcionavimo (iki remonto) trukmės leistinąsias vertes.
6. Nustatyti automagistralių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio fizinių bei mechaninių rodiklių ir tankio koeficiento leistinąsias vertes bei komponentinės sudėties rodiklių racionalias vertes.

Tyrimų metodika

Darbe taikyti šie tyrimų metodai: matematiniai analiziniai; grafinio modeliavimo; matematinės statistikos; eksperimentiniai laboratoriniai; eksperimentiniai natūriniai (automobilių keliuose).

Darbo mokslinis naujumas ir jo reikšmė

Darbo mokslinį naujumą ir jo reikšmę rodo šie svarbūs rezultatai:

1. Pateiktas automobilių kelių AB dangos lygumą, KDK stiprį ir jų būklę veikiančių svarbiausių veiksnių patobulintas grafinis modelis.
2. Pateikti automobilių kelių AB dangos lygumo ir jos funkcionavimo trukmės sisties matematinis ir grafiniai modeliai.
3. Pateikti automobilių kelių AB dangos ir nestandžios KDK stiprio ir jos funkcionavimo trukmės sisties grafinis ir matematiniai modeliai.
4. Nustatyti šie parametrai kelių AB dangos suirties mastui ir jos lygumui kartelevertinti: mažiausias bandymų ruožo ilgis ir kartelės padėčių (matuojant dangos lygumą) vietos.
5. Pasiūlytos automagistralių AB dangos lygumo, suirties masto ir funkcionavimo iki remonto (tarpremontinio laikotarpio) trukmės leistinosios vertės.
6. Nustatytos automobilių kelių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio fizinių bei mechaninių rodiklių leistinosios vertės ir komponentinės sudėties rodiklių racionalios vertės.

Darbo rezultatų praktinė reikšmė

Darbe pasiūlytos šios priemonės Lietuvos automagistralių AB dangos eksploatacinėms savybėms pagerinti:

1. Viršutinio dangos sluoksnio asfaltbetonio fizinių bei mechaninių rodiklių leistinosios vertės, užtikrinančios dangos funkcionavimo be ženklios suirties ($D_D \leq 8\%$) gana ilgą ($T_D \geq 8$ metai) trukmę.
2. AB dangos sutankinimo koeficiento K_d leistinoji vertė – ją rekomenduojama garantuoti įrengiant dangą.

3. Viršutinio dangos sluoksnio asfaltbetonio komponentinės sudėties rodiklių racionalios vertės, garantuojančios dangos funkcionavimo (be didesnės suirties $D_D \leq 3 \%$) trukmę $T_D \geq 10$ metų.
4. AB dangos lygumo, suirties masto ir funkcionavimo trukmės rodiklių leistinosios vertės – šias leistinas rodiklių vertes rekomenduojama užtikrinti prižiūrint ir remontuojant dangą bei planuojant dangos remontams skirti lėšų.

Darbe pasiūlytos priemonės kelių AB dangos būklės nustatymo metodikai patobulinti: mažiausias bandymų ruožo ilgis, vertinant dangos suirtį ir matuojant dangos lygumą 3 (arba 4) metrų kartele bei matuojant vėžetumą, ir matavimo vietų padėtis – tai alternatyvus TKTI taikomos metodikos variantas, siekiant iki minimumo sumažinti tyrimų kainą.

Ginamieji teiginiai

1. Matuojant automobilių kelių AB dangos lygumą kartele ir jos suirties mastą, mažiausias bandymų ruožo ilgis l (kai važiavimo juostos plotis 3,00–3,75 m) sudaro $l = 30$ m.
2. Nustačius automagistralių dangos asfaltbetonio komponentinę sudėtį ir fizinius bei mechaninius rodiklius pagal Maršalą, galima prognozuoti AB dangos būsimą funkcionavimo trukmę.
3. Nustačius automagistralių AB dangos suirties masto D_D vertes, galima apskaičiuoti jų dangos lygumo rodiklio pagal tarptautinį indeksą IRI Y_{IRI} vertes ir prognozuoti dangos funkcionavimo likutinę trukmę.

Darbo rezultatų aprobavimas

Disertacijos tema paskelbta 11 mokslinių straipsnių: du – mokslo žurnaluose, įtrauktuose į *Thomson ISI Web of Science* duomenų bazę (Petkevičius E. *et al.* 2006; Petkevičius E. *et al.* 2009), vienas – recenzuojamame tarptautinės konferencijos leidinyje, įtraukta į *Thomson ISI Proceedings* duomenų bazę (Petkevičius E. *et al.* 2008), du užsienio (Baltarusijos) recenzuojamuose periodiniuose mokslo leidiniuose (Петкявичюс Э., Петкявичюс Р. 2006; Петкявичюс Э., Лауринавичюс 2009), penki – tarptautinių seminarų ir konferencijų medžiagoje (Петкявичюс Э., Петкявичюс Р. 2004; Петкявичюс Э., Петкявичюс Р. 2005; Petkevičius E. *et al.* 2005; Подагелис *et al.* 2006; Petkevičius E. *et al.* 2007),

vienas – respublikinėje Lietuvos konferencijos medžiagoje (Petkevičius E., Petkevičius R. 2005).

Disertacijos tema skaityti pranešimai septyniuose mokslinėse konferencijose ir seminaruose:

- Tarptautinėse konferencijose „*Envorontmental Engineering*“ 2005 ir 2008 m. Vilniuje;
- 7-ojoje Europos jaunųjų mokslininkų ir jų vadovų konferencijoje „*Transcom 2007*“ 2007 m. Žilinoje (Slovakija);
- 43–45 tarptautiniuose seminaruose „*Моделирование и оптимизация композитов*“ 2004–2006 m. Odesoje (Ukraina);
- Jaunųjų mokslininkų konferencijoje „*Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities*“ 2005 m. Vilniuje.

Disertacijos struktūra

Disertaciją sudaro įvadas, keturi skyriai ir rezultatų apibendrinimas, pateikti 4 priedai.

Darbo apimtis 118 puslapių, neskaitant priedų, tekste panaudotos 62 numeruotos formulės, 44 paveikslai ir 12 lentelių. Rašant disertaciją naudoti 137 literatūros šaltiniai.

Automobilių kelių asfaltbetonio dangos savybių ir funkcionavimo trukmės tyrimų apžvalga

Skyriuje pateikta pastarųjų metų Lietuvos automobilių kelių charakteristika, išnagrinėti Lietuvoje ir kitose šalyse atlikti automobilių kelių asfaltinės dangos bei konstrukcijos būklės, bei savybių rodiklių ir funkcionavimo trukmės tyrimai. Pateikti Lietuvoje bei užsienio šalyse atlikti asfaltbetonio komponentinės sudėties ir fizinių bei mechaninių rodiklių tyrimai.

1.1. Lietuvos automobilių kelių ir transporto priemonių eismo charakteristika

Lietuva turi gana tankų automobilių kelių tinklą. Magistraliniais ir krašto keliais, kurių ilgis sudaro 31,4 % visų valstybinės reikšmės kelių ilgio, vežama daugiau kaip 80 % visų krovinių. Valstybinės reikšmės automobilių kelių bendras ilgis 2010 m. pradžioje sudarė 21 2684 km (1.1 lentelė). Valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklo tankis 1000 km² sudarė 326 km. Lietuvoje yra 575 km

valstybinės reikšmės automobilių kelių su keturiomis eismo juostomis, iš jų 309 km automagistralių. Didžiojoje dalyje Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių (63,87 % jų ilgio) paklota asfaltbetonio ar kita asfaltinė danga (Lietuvos automobilių... 2010) (1.1 lentelė).

1.1. lentelė. Lietuvos valstybinės reikšmės automobilių kelių tinklo struktūra (2010 m. pradžios duomenimis)

Table 1.1. Structure of the Lithuanian network of roads (the data to the beginning of 2010)

Dangos tipas	Keliai (km)			
	magistraliniai	krašto	rajoniniai	iš viso:
Asfaltinė	1666,93	4939,354	6978,105	13 584,389
Cementbetoninė	71,12	–	1,34	72,46
Žvyro	–	–	7604,084	7604,084
Grindinio	0,42	–	7,006	7,426
Iš viso	1738,47	4939,354	14 590,585	21 268,409

Naudojant Kelių priežiūros ir plėtros programos ir ES paramos lėšas modernizuojami Lietuvą kertantys automobilių transporto koridoriai. Pastaraisiais metais prioritetai buvo skiriami tarptautinių transporto koridorių plėtrai, įdiegiant saugaus eismo priemones. Daugiausia dėmesio skirta I ir IX transporto koridoriams, kuriuose eismo intensyvumas yra pats didžiausias. Šiais keliais vyksta intensyvus tranzito transporto priemonių eismas (Lietuvos automobilių... 2010).

Lietuvos automobilių keliuose daugėja važiuojančių transporto priemonių. Daugėjant transporto priemonių (2000 m. – 1,29 mln., o 2009 m. – 2,13 mln.) ir jų srautuose didėjant sunkiųjų transporto priemonių (STP) daliai, svarbu sudaryti sąlygas saugiai ir greitai vežti keleivius bei krovinius. Turi būti garantuotos šios automobilių kelių savybės: geras dangos lygumas, nedidelis vėžetumas ir maža suirtis, pakankamas KDK stipris ir gera transporto priemonių ratų sankiba su danga.

Automobilių kelių dangos tobulinimo galimybes rodo asfaltinių mišinių gamybos apimtys (Sivilevičius, Šukevičius 2009).

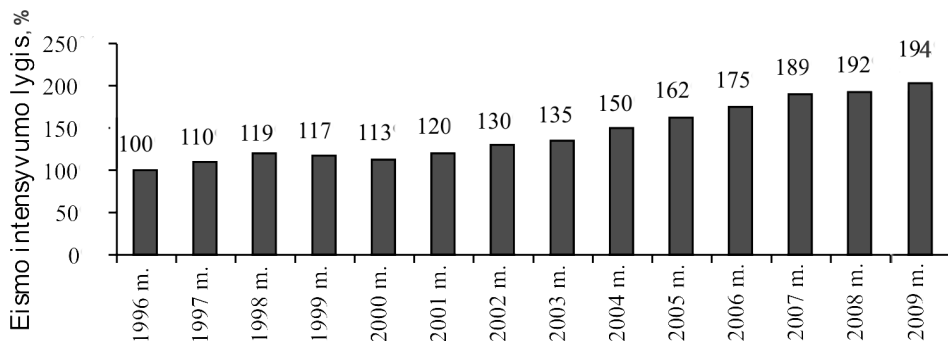
1.1 pav. parodytas vidutinio metinio paros eismo intensyvumo (VMPEI) kitėjimas 1996–2009 m. Lietuvos magistraliniuose keliuose (1996 metų VMPEI prilygintas 100 %) (Valstybinės reikšmės... 2009).

VMPEI magistraliniuose keliuose pastaraisiais metais buvo (aut./parą): 2006 m. – 6778, 2007 m. – 7995, o 2008 m. – 8100.

Lietuvos automobilių keliai savo eksploataciniais ir stiprio rodikliais (dangos pločiu ir lygumu, dangos konstrukcijos stipriu ir kt.) nėra pritaikyti atlaikyti didėjančias automobilių ašių apkrovas. Po 1990 metų sumažėjus kelių dangos tobuli-

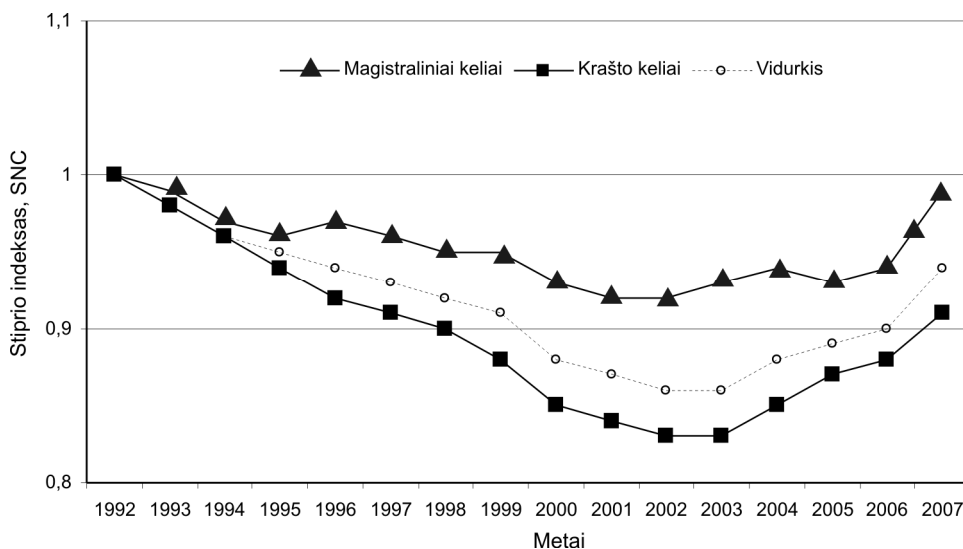
nimo, taisymo ir stiprinimo darbų apimtims, ėmė blogėti jos būklė, didėti jos duobėtumas ir vėžėtumas bei mažėti kelių dangos konstrukcijos stipris (pagal stiprio indeksą SNC). KDK stipris magistraliniuose ir krašto keliuose pradėjo didėti tik nuo 2004 metų (Lietuvos automobilių... 2010) (1.2 pav.).

Dauguma Lietuvos automobilių kelių buvo suprojektuoti ir nutiesti tuo laikotarpiu, kai galiojo 10 t projektinė ašies apkrova, todėl pastaraisiais metais, vykstant tarptautiniam tranzito krovinių eismui su STP ašies apkrova, sudarančia



1.1 pav. VMPEI kitėjimas magistraliniuose keliuose 1996–2009 m.

Fig. 1.1. Dynamics of the average annual daily traffic flow in primary distributors in 1996–2009



1.2. pav. Magistralinių ir krašto kelių dangos konstrukcijos stiprio indekso SNC kitimas

Fig. 1.2. Dynamics of strength index of road pavement construction of primary distributors and country roads

11–13 t, o kartais 15 t (Sunkių transporto... 2009), kelių danga ir KDK patiria pernelyg didelį ardymo poveikį. KD pažaidos blogina sunkiųjų ir ypač greitai važiuojančių transporto priemonių eismo sąlygas – mažina važiavimo saugumą ir patogumą (komfortiškumą), o kartais ir važiavimo greitį.

Kelių taisymo darbų kokybė dažnai būna nepakankama, o jų apimtis neatitinka poreikio, todėl kelių dangos būklė mažesnės svarbos (rajoniniuose) keliuose vis dar blogėja.

Svarbiausias automobilių kelių dangos eksploatacinis rodiklis – jos lygumas (Petkevičius, Sivilevičius 2000). Kelių priežiūros vadovo I dalyje „Automobilių kelių priežiūros normatyvai“ nurodyta, kad magistralinių kelių danga būna trijų priežiūros lygių: aukšto, vidutinio ir žemo. Šių kelių AB dangos lygumas (rodiklio IRI vienetais (m/km)) Y_{IRI} pagal priežiūros lygius suskirstytas taip (KPV PN-05):

- $Y_{IRI} \leq 1,5$ m/km – aukštas priežiūros lygis;
- $Y_{IRI} \leq 2,0$ m/km – vidutinis priežiūros lygis;
- $Y_{IRI} \leq 2,5$ m/km – žemas priežiūros lygis.

Kai rodiklis $Y_{IRI} > 2,5$ m/km – AB dangos lygumas neatitinka priežiūros reikalavimų.

Esant įprastai (nekrizinei) šalies ekonominei padėčiai, automagistralių AB dangai taikomas aukštas priežiūros lygis.

2000–2006 m. išmatuotas magistralinių kelių AB dangos lygumas metams bėgant gerėjo: daugėjo ruožų, kurių $Y_{IRI} < 2,5$ m/km, ir mažėjo ruožų, kurių $Y_{IRI} > 2,5$ m/km (Macekainis 2006) (1.2 lentelė).

1.2 lentelė. Magistralinių kelių AB dangos lygumo kitimas 2000–2006 m.

Table 1.2. Dynamics of roughness of AC pavement of primary distributors in 2000–2006

Metai	Automobilių kelių ruožų dalis (%) su dangos lygumu Y_{IRI} (m/km)			
	$\leq 1,5$	$> 1,5 - \leq 2,0$	$> 2,0 - \leq 2,5$	$> 2,5$
2000	23,95	13,54	13,57	48,94
2002	29,50	13,30	13,32	43,88
2004	32,58	14,67	12,91	39,84
2006	38,99	14,80	10,74	35,47

Visų magistralinių kelių AB dangos lygumo vidutinis rodiklis sumažėjo nuo $Y_{IRI} = 2,60$ m/km iki $Y_{IRI} = 2,25$ m/km, o automagistralių A1 ir A2 atitinkamai nuo $Y_{IRI} = 1,69$ m/km iki $Y_{IRI} = 1,36$ m/km (A1) ir nuo $Y_{IRI} = 1,59$ m/km iki

$Y_{IRI} = 1,31 \text{ m/km (A2)}$. Šių kelių AB dangos lygumas gerėja dėl dangos su blogiausiais lygumo rodikliais savalaikio (nepavėluoto) remonto (Macekainis 2006).

Lietuvai 1991 m. atkūrus nepriklausomybę ir perėjus prie rinkos ekonomikos, įsitikinta, kad iki tol naudota automobilių kelių remontų planavimo sistema, kai buvo taikomi norminiai tarpremontiniai laikotarpiai, neefektyvi, o dėl nepakankamo finansavimo ją taikyti praktiškai tapo neįmanoma. Sprendžiant šį uždavinį, buvo naudotos dangų (būklės) valdymo sistemos (DVS).

Tyrimais (Pradhan *et al.* 2001) nustatyta, kad tinkamas DVS sistemų naudojimas leidžia sutaupyti apie 20 % kelių priežiūrai ir remontams skirtų lėšų.

Pritaikytos DVS sistemos leido (net gerokai sumažėjus finansavimui) užtikrinti gerą valstybinės reikšmės automobilių kelių būklę ir planingai vykdyti kelių tinklo plėtrą. Lietuvoje pirmiausia pradėta naudoti HDM-III sistema (Highway Design... 1981). Beveik tuo pat metu (1993 m.) pradėta kurti lietuviška DVS – DAVASEMA. 1994 m. buvo sukurta kelių dangos būklės valdymo sistemos pirmoji versija. DAVASEMOJE buvo įvestas posistemis, skirtas AB dangos būklei prognozuoti: tam buvo taikyti HDM dangų irties modeliai (Dangų valdymo... 1997).

Įvairių veiksnių įtaka kelių dangos irčiai dažniausia nustatoma atliekant eksperimentus ir įvertinama empiriškai. Šie tyrimai yra brangūs ir ilgalaikiai, todėl, kuriant DAVASEMĄ nebuvo atlikti, o buvo panaudoti kitose šalyse sukurti HDM modeliai. Visgi DAVASEMA svarbiausios nuostatos iki šiol naudojamos kelių dangos stiprinimo ir kelių rekonstrukcijos, naujų kelių tiesybos ir žvyrkelių asfaltavimo projektams įvertinti.

Atlikti tyrimai rodo, kad kelių dangos būklė turėtų būti tikrinama nuolat, siekiant objektyviai ir tiksliai nustatyti kelių dangos ir KDK remonto darbų kasmetines apimtis, o tarpremontiniai laikotarpiai (kelių AB dangos ir KDK funkcionavimo trukmė) periodiškai turėtų būti tikslinami dėl Lietuvos keliuose kintančių eismo sąlygų: susisiekimo priemonių eismo intensyvumo, eismo sudėties ir kt.

1.2. Įvairių veiksnių įtaka AB dangos būklei, savybėms ir funkcionavimo trukmei

Automobilių kelio konstrukciją (KK) sudaro KDK ir žemės sankasa (ŽS), dangos konstrukciją – dangos ir pagrindo sluoksniai. Žemės sankasa – tai dangos konstrukcijos pagrindas. Dangos pagrindas turi priimti ir atlaikyti transporto priemonių eismo ir dangos sluoksnių apkrovą bei ją tolygiai paskleisti žemės sankasoje. Jis turėtų būti vientisas ir stabilus. Lietuvoje techniškai tinkama kelių danga, atsižvelgiant į paskirtį, transporto priemonių apkrovą, vietos gruntus ir

drėkinimo sąlygas, parenkama pagal kelių techninį reglamentą „Automobilių keliai“ (KTR 1.01:2008) ir Dangų konstrukcijų projektavimo taisykles (KPT SDK 07).

Kai nestandžią dangą ir jos konstrukciją veikiančios daugkartinės apkrovos, perduodamos per automobilių ratus, atitinka KDK projekcinį stiprį, dangoje ir jos konstrukcijoje pasireiškia tik tampriosios deformacijos. Jeigu keliu važiuoja automobiliai, kurių apkrova viršija projektinę, taip pat kai žemės sankasos grunto atsparumas labai sumažėja pavasarį ar rudenį, atsiranda nežymių plastinių deformacijų, o kai šių deformacijų sanaka didžiausio dangos susilpnėjimo metu viršija tam tikrą leistinąją deformaciją. Kai apkrovos kartoja, šios deformacijos didėja ir danga gali pradėti irti – dangoje gali atsirasti plyšių, taip pat išrupų, išdaužų ir kitų pažaidų (Jongvon, Sandhyeok 2006; Yu 2005; Puodžiukas 2000). Automobilių ratų apkrovai veikiant kelio dangos konstrukciją, KDK įlinksta. Šis įlinkis parodo KDK atsparumą (apibūdina jos tamprą ir stiprį). Kuo didesnis kelio dangos konstrukcijos tampros modulis, tuo tolygiau automobilių ratų apkrova (ir dėl jos susidarę įtempiai) pasiskirsto KDK sluoksniuose.

Pažaidų daugėjimą kelių dangoje lemia kelių dangos tipas, panaudotos medžiagos bei šių medžiagų, esančių kelio dangos konstrukcijoje, kokybė ir savybių (per tam tikrą laiką) kitėjimas, KDK įrengimo technologija, aplinkos veiksniai, transporto priemonių eismo intensyvumas bei sudėtis (STP dalis bendrame sraute, %), kelių dangos konstrukcijos stiprio (laikui bėgant) mažėjimas, kelių dangos remontas ir KDK sustiprinimas (savalaikis ar pavėluotas). Charakteringos kelių dangos asfaltbetonio (AB) pažaidos dažniausia būna šlyties ir kitos plastinio pobūdžio liekamosios deformacijos, skersiniai (temperatūros įtakos) ir nuovargio plyšiai, erozija, o vėliau – išdaužos. Didžiąją jų dalį sudaro nuovargio plyšiai (dėl STP dangai poveikio). Kiekvienos skirtingo pobūdžio pažaidos dalis (%) suirusioje dangoje priklauso nuo kelio kategorijos, kelių dangos konstrukcijos stiprio, konstrukcinių sluoksnių storio, STP eismo intensyvumo N_s bei vietovės gruntų, klimato ir drėkinimo sąlygų (Sivilevičius, Petkevičius 2002).

Veiksniai, sukeliantys kelių dangos irtį, yra tarpusavyje susiję, todėl pagal defekto tipą dažniausiai sunku nustatyti, kokia būna konkreti suirties priežastis bei kurie veiksniai turi didžiausią įtaką susidaryti defektui ir didėti jo apimčiai (plotui). Svarbiausi rodikliai, paaiškinantys defektų susidarymo kelių dangoje priežastis: per silpna kelių dangos konstrukcija, pernelyg didelis ardomasis TP apkrovų kelių dangai ir jos konstrukcijai poveikis, nepalankios vietovės klimato ir drėkinimo sąlygos, jautrūs šalčiui žemės sankasos gruntai.

Darbų (Jongvon, Sandhyeok 2006; Yu 2005) analizė parodė, kad, tiesiant automobilių kelius, daugelį metų buvo taip projektuojama KDK, jog tam tikrą (projekcinį ar numatytą) laikotarpį, įvertinant STP poveikį kelių dangai ir KDK, būtų užtikrintas reikiamas KDK stipris. Šio tikslo buvo siekiama ne tik įrengiant pa-

kankamo stiprio AB dangą, bet ir daug dėmesio skiriant pagrindo sluoksnių medžiagų stipriui.

Darbų (Jongvon, Sandheyok 2006; Yu 2005; Puodžiukas 2000; ОДН 218.046-01) analizė parodė, kad, apibūdinant kelių dangos ir KDK būklę, būtina žinoti eksploatacinius jų rodiklius. Svarbiausi kelių dangos ir jos konstrukcijos rodikliai, nuo kurių priklauso KD ir KDK funkcionavimo trukmė, yra šie:

- kelių dangos ir KDK stipris;
- KDK monolitinių sluoksnių atsparumas tempimui lenkiant ir jų atsparumas šlyčiai;
- KDK nerišliųjų sluoksnių atsparumas šlyčiai;
- dangos lygumas;
- dangos nuodyla;
- automobilių ratų sankiba su kelių danga;
- automobilių kelių dangos apkrovų charakteris (didžiausiosios apkrovų vertės, apkrovų kartojimosi dažnis) ir kt.

Šių darbų ir De Solminiac *et al.* (2003) darbo rezultatų analizė parodė, kad kelių dangos ir KDK funkcionavimo trukmė gali kilti nuo transporto priemonių eismo sudėties ir intensyvumo, klimato sąlygų, dangos ir KDK stiprio ir jos sluoksnių storio, dangai įrengti naudojamų medžiagų kokybės ir daugelio kitų veiksnių. Apie kelių dangos ir KDK funkcionavimo trukmės racionalų naudojimą sprendžiama pagal dangos eksploatacinių rodiklių atitiktį transporto priemonių (TP) eismo poreikiams.

Chen *et al.* (2004) teigia, kad po KDK esantis žemės sankasos (ŽS) gruntas nuolat slegiamas virš jo esančių KDK sluoksnių ir TP apkrovų, todėl šio grunto atsparumas apkrovoms lemia kelių dangos stabilumą ir lygumą.

De Solminiac *et al.* (2003) nustatė, kad dėl kelių dangos ir kai kurių kitų KDK sluoksnių medžiagų ir žemės sankasos grunto tūsumo kelių dangos irtis vyksta lėčiau. Šiuo atveju KDK įlinkis, visiškai atitinkantis pridėtają apkrovą, pasiekiamas ne iš karto, o praėjus keletui minučių.

Petkevičius, Podagėlis (2000) nurodė, kad STP ardomasis poveikis vertinamas taikant asfaltbetonio sluoksnių atsparumo plyšiams kriterijų, nes, važiuojant sunkiosioms transporto priemonėms, kelių asfaltinėje dangoje labiausiai pasireiškia nuovargio plyšiai. Asfaltbetonio sluoksnių įvairaus pobūdžio pažaidos (nuovargio plyšiai, provėžos, įdubos, pralaužos, skersiniai plyšiai, įstrižieji plyšiai, išaižos, ištrupos, išdaužos ir kt.) susidaro dėl daugkartinio išorės jėgų ir (arba) aplinkos temperatūros, saulės spindulių, taip pat vandens, sniego, ledo poveikio, todėl, įvertinant kelių dangos suirties mastą, nustatomi kelių tiesybos medžiagų ir (arba) gruntų funkcionavimo dangoje, kai veikia kartotinės apkrovos, dėsniumai.

Apkraunami (patiriantys apkrovas) AB dangos sluoksniai skersine kryptimi tempiami labiau nei išilgine, todėl, esant daugkartiniam dažnam automobilių ratų poveikiui, pirmieji išilginiai plyšiai susidaro automobilių ratų labiausiai tikėtino kontakto su kelių danga juostoje. Automobilių kelių AB dangos atsparumas plyšiams apibūdinamas jos AB sluoksnių atsparumu tempimui lenkiant.

Spręsti apie automobilių ratų apkrovų poveikį kelių dangai ir KDK (jų naudojimo laikotarpiu) galima tik tada, kai žinomas ciklinių apkrovų, kurias dangos asfaltbetonio bandinys atlaiko iki suirties, skaičius N ir šio skaičiaus sietis su bandinyje susidarančių įtempių amplitudė σ arba su bandinio santykinė deformacija ε (ОДН 218.046-01).

Tyrimai (Yu 2005; Puodžiukas 2000) parodė, kad kelių dangos lygumas labai priklauso nuo KDK pagrindo tipo, jo storio ir būklės. Jeigu AB dangos sluoksnių sankiba būna nepakankama, dangos funkcionavimo trukmė sumažėja 30 %.

Centrinėje ir pietinėje Vakarų Europos dalyje charakteringos šios AB dangos pažaidos: vėžės, bangos, slinktyės ir bitumo dėmės (nuo sunkiųjų transporto priemonių apkrovų gali susidaryti 1,5–3,0 cm gylio vėžės) (Tarelder *et al.* 2005; Hongbing *et al.* 2004).

JAV automobilių keliuose dominuoja AB dangos temperatūros įtakos ir nuovargio plyšiai, tik pietinėse valstijose vyrauja plastinio pobūdžio pažaidos (Tarelder *et al.* 2005).

Rusijoje atlikti tyrimai parodė, kad jos 2-oje ir 3-ioje kelių ir klimato zonose automobilių kelių dangos AB sluoksniai dažniausia (75–80 % atveju) suyra atsiradus plyšiams (Sivilevičius, Petkevičius 2002).

Jongvon, Sandhyeok (2006), De Solminihac *et al.* (2003) parodė, kad automobilių kelių dangos būklę ir funkcionavimo trukmę apibūdinantys svarbiausi rodikliai yra asfaltbetonio atsparumas tempimui lenkiant $R_t^{(a)}$, kelių dangos konstrukcijos sluoksnių tampros moduliai E bei asfaltbetonio atsparumas nuovargiui $N^{(a)}$.

Darbų (Sivilevičius, Petkevičius 2002; Puodžiukas 2000; Hudson, Flanagan 1987; Zhang *et al.* 2000; Arand 1991) analizė parodė, kad veikiančių kelių dangą veiksnių įtaka yra sudėtinga, nes vieni veiksniai turi įtakos kitiems veiksniams. STP ratų dinaminė apkrova išauga pablogėjus dangos lygumui ir padidėjus jų važiavimo greičiui, įtempiai kelių dangoje dažniausia padidėja, padidinus dangos šiurkštumą ir kt.

Puodžiukas (2000), Zhang *et al.* (2000), Spornol (1994) teigia, kad kuo lygesnė kelių danga, tuo greičiau STP gali važiuoti, mažiau dyla jų ratų padangos ir mažiau suvartojama degalų, padidėja STP tarpremontinis laikotarpis, padidėja jų darbo našumas, būna mažesnės transporto išlaidos, saugesnis ir patogesnis eismas. Didėjant automobilių ratų apkrovai, kelių dangos funkcionavimo trukmė mažėja. Ji mažėja labiau (didesniu greičiu) nei didėja apkrova.

Tyrimais (Zhang *et al.* 2000; Romero *et al.* 2006) nustatyta, kad žemės sankasos grunte aktyvūs šlyties įtempiai τ_i beveik tiesiškai priklauso nuo kelių dangos apkrovų, o nuo oro slėgio automobilių ratų padangose priklauso labai mažai.

Tyrimų (Salama *et al.* 2006; Hall, Turner 1998) rezultatai rodo, kad STP ratų padangose slėgi padidinus du kartus, kelių dangos santykinis ilkinis padidėja 5,4 %.

Pagal Al-Quadi *et al.* (2002), Richter, Schwartz (2003) duomenis, kai asfaltbetonio sluoksnių storis yra $h = 22$ cm ir STP ratų padangose oro slėgis padidinamas nuo $p_0 = 0,6$ MPa iki $p_0 = 0,7$ MPa (kai rato apkrova pastovi), KDK funkcionavimo iki kapitalinio remonto trukmė sumažėja 15 %, o jų ratų padangose padidinus oro slėgį nuo $p_0 = 0,7$ MPa iki $p_0 = 0,9$ MPa, jos funkcionavimo trukmė sumažėja 1,5 karto.

Kelių dangos būklė ir funkcionavimo trukmė priklauso nuo KDK stiprio. KDK būklei ir funkcionavimo trukmei didelę įtaką turi ne tik važiuojančių transporto priemonių poveikis, bet ir aplinkos veiksniai: klimato, hidrologiniai ir hidrogeologiniai. Didžiausią įtaką žemės sankasos hidroterminiam režimui turi klimatas, lemiantis kritulių kiekį ir oro temperatūrą (Šiaudinis 2007).

Didžiausią įtaką kelių dangai turi teigiamų ir neigiamų temperatūrų kaita. Lietuvoje tokių kaitų per metus pasitaiko nuo 50 iki 80 (Juknevičiūtė, Laurinavičius 2008). Lietuvos teritorija yra plačiai besivystančių kriogeninių procesų zonoje – šie procesai susiję su sezoniniais ir ilgamečiais gruntų išalimais ir atitirpimais, taip pat su požeminių ir paviršiaus vandenų užšalimu (RSN 256-94).

KDK naudojimo laikotarpis (funkcionavimo trukmė) skirtingomis klimato sąlygomis (kai kitos sąlygos yra identiškos), gali skirtis iki trijų kartų (Ekdahl 1999).

Temperatūra daro didelę įtaką dangos būklei ir savybėms: veikia dangos asfaltbetonio savybes (didina arba mažina jo plastiškumą, trapumą ir kt.); veikia dangos asfaltbetonio įtempius, atsirandančius dėl temperatūros ir jos kitimo laike.

Sezoniniai pokyčiai lemia kritulių kiekio svyravimus ir veikia dangos konstrukcijos drėkinimo sąlygas. Laikoma, kad Lietuvoje kritiškiausias yra pavasario laikotarpis, kai iš žemės sankasos ir kelio konstrukcijos išeina išalas (apie kovo mėnesį), ir KDK sluoksniai yra daugiausia prisotinti vandens. Vanduo dangos konstrukcijoje, ypač sluoksniuose iš biriųjų medžiagų, veikia jų standumą – tampos modulį, taip pat ir atsparumą apkrovoms (Braga 2005; Butkevičius 2007).

Lietuvos klimatui būdingas perėjimas iš jūrinio vakaruose į žemyninį rytuose. Klimato skirtumus lemia kontinentiniai ir okeaniniai Atlanto vandenyno įtakos veiksniai. Vidutinė metinė oro temperatūra Lietuvos teritorijoje yra $+6$ °C. Vidutinė mėnesio temperatūra svyruoja nuo -6 °C iki $+18$ °C. Vidutinė mėnesių temperatūrų metinė amplitudė, tolstant nuo Baltijos jūros, Lietuvoje didėja nuo 18 °C iki 24 °C. Kritulių pasiskirstymui atskirais mėnesiais turi įtakos atstumas nuo jūros ir drėgmę nešantys vėjai. Vasarą daugiau kritulių iškrinta Lietuvos rytuose, o žiemą – vakaruose. Vidutinis kritulių kiekis Lietuvoje – 620 mm (RSN 256-94).

Gruntų vidutinis įšalo gylis Lietuvoje – 80–120 cm, o Lietuvos pietinėje dalyje – daugiau kaip 120 cm (Juknevičiūtė, Laurinavičius 2008). Žemiausia temperatūra Lietuvoje – nuo -22°C iki -35°C , o aukščiausia – nuo $+25^{\circ}\text{C}$ iki $+32^{\circ}\text{C}$. Vasarą, esant aukščiausiai oro temperatūrai iki $+30^{\circ}\text{C}$, asfaltinė danga įšyla iki $+45^{\circ}\text{C}$, o kai oro temperatūra didesnė nei $+30^{\circ}\text{C}$, danga gali įšilti iki $+50^{\circ}\text{C}$ ir daugiau.

Taigi pagal HDM taikomą suskirstymą, Lietuvą galima priskirti **vidutinio arba vidutinio – šalto pusiau sauso** klimato juostai (Braga 2005).

KDK veikiantys veiksniai egzistuoja laike (jų poveikis pasireiškia AB dangos ir KDK būklės vizualiai pastebimu blogėjimu tik praėjus nemažam, dažniausia ne mažesniai kaip vieneri metai, laiko tarpui). Eksploatuojant AB dangą ir KDK, keičiasi asfaltbetonio savybės ir mažėja geba priešintis transporto priemonių apkrovų, klimato veiksnių bei žiemos sąlygomis naudojamų cheminių reagentų poveikiui.

Pastaraisiais metais užsienio šalių mokslininkai (Kim *et al.* 2003; Gui *et al.* 2007; Yavuzturk *et al.* 2005; Lackner *et al.* 2005; Noureldin 1997; Seo *et al.* 2007; Bhasin *et al.* 2009; Kim *et al.* 2009; Kim *et al.* 2004) kūrė asfaltbetonio struktūros ir savybių pagerinimo naujus metodus, taikydami naujausius mokslo pasiekimus ir naudodami modernią tyrimų įrangą, tačiau šie mokslo darbai skirti AB savybėms pagerinti laboratorijų sąlygomis. Šių savybių (su turima technologine įranga) pasiekti, realiai gaminant asfaltinius mišinius ir įrengiant AB dangą, neįmanoma. Kai kuriuose darbuose (Lundstrom *et al.* 2004; Kim *et al.* 2005; Pellinen *et al.* 2004; Choi, Bahia 2004; Tighe *et al.* 2007; Lee *et al.* 2007; Ahammed, Tighe 2008; Li *et al.* 2008) taip pat nagrinėjamos AB dangos ir KDK funkcionavimo sąlygos ir šių sąlygų įtaka AB dangos ir KDK funkcionavimo trukmei. Visi šie darbai yra reikšmingi mokslo vystymo požiūriu, tačiau didžiojoje jų dalyje pasigendama rekomendacijų, kad gauti svarbiausieji rezultatai būtų panaudoti praktikoje. Laboratorinėmis sąlygomis ištirtos AB savybės parodo šios medžiagos galimybes priešintis transporto priemonių ir aplinkos veiksnių poveikiui. Faktinės AB dangos ir KDK funkcionavimo sąlygos gerokai skiriasi nuo laboratorijoje sukurtų sąlygų, todėl asfaltbetonį reikia tirti įrengtoje dangoje. Geriausia jį tirti eksperimentiniuose ruožuose, pavyzdžiui, tokiuose, kaip įrengtas Lietuvoje (Čygas *et al.* 2008).

Asfaltbetonis tai medžiaga su grįžtamaisiais mikrostruktūros, atspindinčios bitumo kiekybinį santykį, išdėstymą ir tarpusavio poveikį dispersiškiausiam (smulkiiausiam) bei aktyviausiam asfaltbetonio komponentui – mineraliniams milteliams, pokyčiais, galinti būti šių struktūros būvių: tampriai trapias, tampriai plastinis ir klampiai plastinis (Рыбьев 2008).

Atliktų darbų analizė parodė, kad AB danga ir KDK funkcionuoja labai sudėtingomis, nuolat kintančiomis aplinkos sąlygomis ir veikiant dažnai pasikar-

tojančioms transporto priemonių apkrovoms. Šių apkrovų pobūdis (poveikio trukmė, dydis, pasikartojimo dažnis) nuolat kinta.

Kai kurios kelių dangos pažaidos atsiranda ir vystosi dėl sluoksnių medžiagų ir kelių tiesybos darbų nepakankamos kokybės. Nepakankama šių darbų kokybė pasireiškia mažesniu KDK vienodumu ir didesne jos savybių sklaida. Lietuvoje, priklausomai nuo kelio reikšmės, taikomi skirtingi reikalavimai KDK kokybei (KDK sluoksnių medžiagų sutankinimo rodikliui, sluoksnių storių sklaidai, bitumo ir mineralinių medžiagų komponentų santykinės dalies asfaltbetonyje nuokrypams (%) nuo AB projektinės sudėties, dangos lygumui (jį įrengus) ir kt. (KTR 1.01:2008; TRA ASFALTAS 08)), kurie lemia magistralinių, krašto ir rajoninių kelių skirtingas eksploatacines savybes jau iš karto, įrengus asfaltbetonio dangą, taip pat lemia skirtingą šių savybių kitėjimą, eksploatuojant AB dangą ir KDK.

Amerikos (JAV) kelių ir transporto pareigūnų asociacijos AASHTO atliktų tyrimų rezultatai parodė, kad 15 % „geriausios“ kelių dangos ruožų gali funkcionuoti 6–10 kartų ilgiau nei 15 % „blogiausios“ dangos ruožų, esančių pagal tą patį projektą nutiestame tame pačiame kelyje. Imant kelių dangos funkcionavimo vidutinį laikotarpį $T = 10$ metų, „blogiausi“ jos ruožai funkcionuotų apie 3–4 metus, o „geriausi“ – apie 25–30 metų. Taigi netgi tokia pati KDK, tie patys standartai, technologijos, transporto priemonių eismas ir aplinkos sąlygos negali užtikrinti identiškos kelių dangos irties (Ekdahl 2000).

Kelių dangos irtis – natūralus procesas, priklausantis nuo įvairių veiksnių, kurių dauguma – atsitiktiniai veiksniai, todėl jie negali būti tiksliai išmatuoti ir įvertinti. Visus kelių dangos irčiai įtakos turinčius veiksnius ištirti ir sumodeliuoti iki šiol dar niekam nėra pavykę (Ekdahl 1999).

1.3. Asfaltbetonio dangos pažaidos, suirtis, jų susidarymo priežastys ir vertinimo metodai

Dažniausiai pasitaikančios dangos pažaidos ir suirtis: nuodyla – pagrindinis dangos suirties tipas; išaižos – pažaidos, susidarantys mineraliniams dangos paviršiaus grūdeliams atsilupus nuo monolitinės asfaltbetonio dangos: medžiagos paviršiaus (plonos plėvelės, plokštelės ir smulkūs grūdeliai atsiskiria dėl vandens, šalčio bei automobilių ratų poveikio, susidarant iki 5 mm gylio mikronelygumams); ištrupos – po išaižų einanti dangos suirties pažaidų fazė (nuo dangos atsiskiria stambesni mineraliniai grūdeliai ir susidaro nuo kelių iki 20 mm gylio nedidelio ploto ištrupos); kraštų įlūžiai – dangos suirtis jos sąlyčio su kelkraščiu vietose; išdaužos (duobės) – nuo 20 iki 100 mm, o kartais – ir didesnio gylio vietinė suirtis, susidaranti dėl mineralinių medžiagų grūdelių ir bitumo ar kitų organinių rišiklių nepakankamos sankibos, dėl dangos nepakankamo tankio ir kitų priežasčių; vėžės – šlyties liekamosios deformacijos, atsirandančios dėl daugia-

ašių STP poveikio asfaltinei dangai; bangos – liekamosios deformacijos, susidarinės didelio plastiškumo dangoje; slinktytys – dangos liekamosios deformacijos, susidarinės dėl važiuojančių automobilių ratų tangentinių jėgų, atsirandančių stabdant automobilius, poveikio; įspaudos – plastiški dangos pagilėjimai, atsirandantys šiltuoju laikotarpiu, dažniausia vasarą; plyšiai – kelių AB dangos pagrindinis suirties tipas (Sivilevičius, Petkevičius 2002).

AB dangos ir KDK suirtį ir pažaidų joje atsiradimą nulemiantys veiksniai yra šie: nenumatytos labai didelės masės STP važiavimas keliu, pernelyg didelis STP eismo intensyvumas, automobilių apkrovų ir eismo intensyvumo augimo nepakankamas įvertinimas projektuojant, nepakankamas aplinkos veiksnių įvertinimas, neteisingas KDK apskaičiavimas, prastos kokybės kelių tiesybos medžiagų dangos konstrukcijoje naudojimas ir kt. (Butkevičius 2007).

Pagrindiniai kelių AB dangos ir KDK suirties ir pažaidų tipai yra tokie: išilginiai nuovargio plyšiai arba plyšių tinklas, atsirandantys dangai ir jos konstrukcijai prarandant stiprį; nestandžios dangos konstrukcijos nuosėdžiai. Kelių dangos ir KDK pažaidų gausėjimas labiausia priklauso nuo medžiagų, iš kurių jos įrengtos, stiprumo savybių (Sivilevičius, Petkevičius 2002).

Pirmieji plyšiai dangoje ir jos ištrupos (paviršiaus erozija) bei išdaužos dažniausia atsiranda po kelerių metų, ją paklojus. Vėliau šių dangos pažaidų formavimasis suintensyvėja: plyšiai plėtėja ir gilėja, erozijos pažeistų dangos vietų plotas ir išdaužų tūris didėja, todėl laiku nepašalintos pažaidos pasiekia kritines vertes, ir kelias tampa sunkiai pravažiuojamas bei neatlieka savo tiesioginės paskirties. Automobilių kelių AB dangos suirties mastą, išreikštą %, siūloma įvertinti rodikliu D_D (Sivilevičius, Petkevičius 2002):

$$D_D = (S_d + S_{pl} + S_p + S_{pd} + S_{nd} + \sum_{i=1}^n l_i b_i) \cdot 100 / S_{AB}, \quad (1.1)$$

čia: S_d – tiriamajame ruože pažeistos išaižomis, ištrupomis, kraštų (briaunų) ištrupomis, išdaužomis, įgriuvomis ir užtaisytos lopais dangos plotas, m^2 ; S_{pl} – dangos, pažeistos plyšių tinklu, plotas, m^2 ; S_p – dangos, pažeistos liekamosiomis plastinėmis deformacijomis: vėžėmis, bangomis, slinktimis, įdubomis, plotas, m^2 ; S_{pd} – dangos, pažeistos paviršiaus defektais: bitumo dėmėmis, ištirpusio bitumo vietomis, plotas, m^2 ; S_{nd} – dangos, pažeistos paviršiaus nuodyla ir sumažėjusio šiurkštumo vietomis, 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_{AB} – tiriamo kelio ruožo visos AB dangos plotas, m^2 .

Eksplotacinės tik ką nutiesto kelio savybės būna geriausios, o važiuojant keliu jo geometriniai parametrai kinta nedaug. Kelio AB danga, tiesiogiai veikiamą

automobilių ratų bei klimato veiksnių, nuolat keičia savo savybes. Dėl to mažėja dangos ir KDK stipris. Veikiant automobilių ratų kartotinėms vertikaliosioms ir horizontaliosioms apkrovoms, AB dangoje susidaro nuovargio plyšių. Susidarę plyšiai, vėžės ir kiti defektai intensyviai vystosi, dėl to blogėja dangos lygumas, o automobilių ratų apkrovos tampa dinaminės, sukeliančios didelius smūgius ir intensyvinančios dangos silpniausių ruožų irtį. Visi šie defektai yra sezoninio pobūdžio: kiekvieną pavasarį, polaidžio metu, smarkiai sumažėja KDK stipris, praplatėja temperatūros (skersiniai) ir kiti plyšiai, labiau aižėja AB dangos paviršius (Zhang *et al.* 2000; Sivilevičius 2003).

Kadangi medžiagų savybės ir asfaltbetonio mišinio gamybos, klojimo ir tankinimo technologinių operacijų parametrai nepalaujamai kinta bei yra atsitiktinio pobūdžio, paklota AB danga savo savybėmis nebūna visur vienoda. AB mineralinės dalies granulimetrinė sudėtis, jo tuštymėtumo ir sutankinimo (dangoje) rodiklis bei kiti fiziniai rodikliai, bitumo kiekis ir asfaltinio mišinio gamybai naudojamų medžiagų savybės, AB dangos sluoksnių storis dangos plote kinta gana plačiai, todėl dangos mechaninės savybės taip pat būna nevienodos. Vienuose elementariuose dangos plotuose asfaltbetonis būna gerokai silpnesnis nei greta esančiuose kituose, kuriuose jo faktinis stipris labai viršija reikiamą jo stiprį. Dėl skirtingo AB dangos vienodumo asfaltbetonis visame dangos plote iškart nesuyra. Kuo mažesnis dangos vienodumas, tuo anksčiau jos atskiri plotai gali pradėti irti ir tuo anksčiau gali prireikti ją remontuoti. Nevienodi yra ir klimato veiksniai bei jų poveikis dangai (Sivilevičius 2003).

Mechaniškai apkrovus kelių dangos asfaltbetonį, atsiskleidžia jam būdingos šios sudėtingos savybės: tamprumas, plastiškumas, slankumas, įtempių relaksacija, kintant deformavimo greičiui, stipris, deformacijų kaupimasis, esant daugkartinei labai dažnai apkrovai ir kt. Asfaltbetonio dangoje, veikiamoje susisiekimo priemonių apkrovoms, atsiranda įtempių. Danga suplyšta, kai tempimo įtempiai pasiekia ir viršija dangos stiprį tempiant. Kelių dangos įtempiai būna tokie (ОДН 218.046-01):

- temperatūros pobūdžio tempimo įtempiai σ_t , atsirandantys dėl to, kad atšalant susitraukianti danga negali laisvai pasislinkti;
- įtempiai σ_p , atsirandantys dangoje dėl netolygiai pakilusio po danga esančio žemės sankasos peršalusio grunto neigiamoje aplinkos ir grunto temperatūroje;
- tempimo ir šlyties įtempiai σ_{sl} , atsirandantys lėtėjant ar greitėjant automobiliams;
- periodiniai tempimo įtempiai σ_l , atsirandantys automobilių ratams vertikalčiai slegiant dangą.

Senstančios dangos elastingumas mažėja, o tempimo įtempiai nuolat didėja, plyšių kiekis ir plotis taip pat didėja.

Kelių AB dangos būklė gali būti įvertinta dviem būdais:

- naudojant tam tikrus apibendrinamuosius būklės rodiklius: Lietuvoje ir kai kuriose kitose pasaulio šalyse naudojamas asfaltbetonio dangos būklės apibendrinamasis rodiklis – jos suirties mastas D_D (angl. *pavement distress index*) (Sivilevičius, Petkevičius 2002; Paterson, Bennet 2001; Haas *et al.* 2006), JAV, Kanadoje, Australijoje ir kitur naudojami šie rodikliai: dangos kokybės indeksas PSI (angl. *pavement serviceability index*) (AASHTO Guide... 1993), važiuojimo kokybės indeksas RCI (angl. *ride comfort index*), defektų indeksas DMI (angl. *distress manifestation index*) (Kazmierowski, Ninguan 2002) ir kiti;
- vertinant keletą kriterijų – kelių dangos eksploatacinių savybių, atskirai. Dangos eksploatacinės savybės apibūdinamos dangos pažaidų kiekiu ir jų išsivystymo laipsniu, taip pat – dangos lygumu ir automobilių ratų sankiba su danga. Šis AB dangos būklės vertinimo būdas taikomas HDM dangų irties modeliuose, jis reglamentuotas ir Lietuvoje (Automobilių kelių... 2004).

Kai dangos būklė vertinama antruoju būdu, visą dangos irties modelį sudaro keletas mažesnių modelių., Juos taikant prognozuojamos įvairios dangos pažaidos ir jų plėtra bei poveikis kitoms dangos pažaidoms ir jų eksploatacinėms savybėms.

Dauguma pažaidų daro poveikį kelių dangos lygumo blogėjimui. HDM modeliuose dangos lygumas – tai jos savybė, kuri nusako kiekvieno kelio poveikį automobiliams. Lietuvoje taikomoje sistemoje DAVASEMA (kaip ir HDM sistemoje) dangos lygumas vertinamas tarptautiniu lygumo indeksu IRI (angl. *International Roughness Index*). W. Patersonas pateikia tokį IRI apibrėžimą (Paterson 1987): tai suma automobilio vibracijų, kurias sukelia kelio išilginio profilio nelygumai vėžėse (provėžose) – standartinio automobilio, važiuojančio 80 km/h greičiu, pakabos vertikaliųjų poslinkių sumos ir nuvažiuoto kelio santykis.

Vakarų Europos šalyse, JAV ir kitose poindustrinėse valstybėse kelių dangos būklei valdyti sukurtos specialios sistemos. Žinomiausios yra HDM (Pasaulio bankas), *Belman* (Danija), *Quantum* (JAV) ir kt. (Puodžiukas 2000; Li *et al.* 2005; Schmuck, Hekenberger 1993). Šios sistemos sukurtos panaudojus automobilių kelių dangos būklės ilgalaikių tyrimų duomenis. Daugelyje Vakarų Europos šalių kelių dangos būklei valdyti naudojamas HDM-IV modelis.

Kelių AB dangos pažaidos Lietuvoje tiriamos pagal AB dangos pažaidų nustatymo metodikas: užmiesčio keliams (Asfaltbetonio dangų... 1998) ir miestų gatvėms (ST 9306149.02:2002). Iki 2007 m. TKTi kelių AB pažaidoms nustatyti naudojo metodiką (Asfaltbetonio dangų... 1998), pagal kurią pažaidos buvo nusta-

tomos vizualiai. Pažaidos buvo fiksuojamos kelio abrise pagal nurodytą formą, o tyrimų rezultatai įvedami į kompiuterį ir nustatomas dangos būklės rodiklis – suminis dangos suirties laipsnis SDSL, išreiškiamas balais. Automobilų kelių remontų planavimo normatyvuose (Automobilių kelių... 2004) magistraliniams, krašto ir rajoniniams keliams nustatyti ribiniai dangos suirties laipsniai RDSL. Viršijus RDSL vertes, kelio ruožui planuojamas AB dangos remontas ir nustatoma remonto rūšis. Norminiai AB dangos ir nestandžios KDK tarpremontiniai laikotarpiai, nustatomi pagal dangos ir KDK funkcionavimo trukmę, Lietuvoje netaikomi.

TKTI 2006 m. pabaigoje įgijo automobilių kelių tyrimo mobiliąją laboratoriją RST-28 geometriniams kelių parametrams ir dangos defektams matuoti. Joje sumontuota sudėtinga įranga leidžia saugiai atlikti matavimus, laboratorijai važiuojant transporto priemonių sraute 20–90 km/h greičiu. Įdiegtos naujos technologijos užtikrina didelį matavimo duomenų tikslumą ir nustatytus dangos parametrus bei defektus leidžia pateikti LKS 94 koordinacių sistemoje (Dimaitis 2008). Nustatomos šios dangos charakteristikos:

- dangos lygumas išilgine kryptimi Y , lygumo rodiklio IRI vienetais;
- dangos šiurkštumas (vidutinis makroprofilio gylis), mm;
- vėžių gylis (mm) matavimai atliekami kas 10 cm, o apskaičiuojami kiekvieno 20 m ilgio kelio ruožo kiekvienos vėžės vidutiniai gyliai;
- dangos plyšiai ir kiti defektai nustatomi vaizdo kameromis ir siunčiami į kompiuterį, o duomenys apdorojami pagal specialią programą, t. y. filtruojami, uždedant ant tinklelio, kurio langelių matmenys 0,5×0,5 m (jie gali būti ir mažesni); matavimai atliekami per visą važiavimo juostos plotą, o defektai pateikiami grafiniuose lapuose ir elektroninėse lentelėse. Pagal šiuos duomenis nustatomas defektais pažeistos (suirusios) dangos plotas, %.

Panaudojus laboratoriją RST-28, 2007 m. buvo ištirti (Dimaitis 2008) visi magistraliniai keliai, kurių ilgis – 1750,5 km, ir apie 3000 km krašto kelių. Tyrimai parodė, kad magistralinių kelių tinkle yra labai daug blogos (nelygios) dangos ruožų, kurios SDSL siekia 30 % ir daugiau. Šiuose ruožuose AB dangą reikėtų suremontuoti kapitališkai (ją sustiprinti, įrengiant naują AB dangos sluoksnį). Šių ruožų remonto kaina tris kartus viršijo 2008 metams numatytas dangos remontams lėšas (Dimaitis 2008).

Siekiant sumažinti automobilių kelių ruožų dalį, išreiškiamą %, su labai suirusia ir nelygia AB danga, pravartu ieškoti efektyvių būdų ir priemonių (nedidinant išlaidų remontams) dangos lygumui pagerinti. Viena galimų priemonių – AB dangos ir dangos asfaltbetonio kokybės charakteristikų reikiamų verčių nustatymas:

- AB dangos sluoksnių reikiamo storio h_r ir sutankinimo laipsnio (pagal sutankinimo koeficientą K_d);
- AB dangos leistinojo suirties masto $D_D^{(l)}$ ir leistinojo lygumo (iki remonto) pagal tarptautinį indeksą $IRI Y_{IRI}^{(l)}$;
- AB dangos leistinojo vėžtumo $H_v^{(l)}$;
- įrengiamos dangos asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių pagal Maršalą verčių, užtikrinančių kuo ilgesnį dangos tarpremontinį laikotarpį (funkcionavimo trukmę), leistinas vertes.

Siekiant pagerinti AB dangos ir KDK būklę, su analogiškėmis problemomis susiduriama tiek išvystytose Europos ir kitų žemynų šalyse: JAV, Kanadoje, Japonijoje, Vokietijoje, Prancūzijoje, Šveicarijoje, Danijoje, Austrijoje, Italijoje, Belgijoje, Olandijoje, Australijoje ir kt., tiek mažiau išsivysčiusiose Vidurio ir Rytų Europos bei kitų žemynų šalyse: Lenkijoje, Čekijoje, Vengrijoje, Rusijoje, Baltarusijoje, Ukrainoje, Kinijoje, Indijoje, Brazilijoje, Pietų Afrikos Respublikoje (PAR) (Кейрос 1995; Braga 2005; Butkevičius 2007). Šios šalys yra sukūrusios jų sąlygoms (klimatui, automobilių kelių tinklui ir kelių AB dangos būklei bei kitoms) tinkamas AB dangos ir KDK būklės vertinimo metodikas.

Lietuvoje turint laboratoriją RST-28, kelių dangos ir KDK būklės prognozė pagal mūsų šalies sąlygoms priderintą HDM-IV metodiką (Braga 2005) atėityje, matyt, bus taikoma labiau apribotai.

Rusijoje (Коганзон, Лугов 2004; Бахрах 2008; Апестин 2007), Ukrainoje (Радовский, Сердюк 1997), Baltarusijoje (Яромко 2008), Lietuvoje (Butkevičius 2007) ir kitose šalyse atliktuose tyrimuose siūloma įvertinti KDK stiprio likutinių resursą bei ekonominius rodiklius. Visi šie siūlymai, išskyrus Jaromko (Яромко 2008), yra sudėtingi ir sunkiai pritaikomi praktikoje, nes reikia turėti daug tyrimų rezultatų ir atlikti sudėtingus rodiklių skaičiavimus.

Daugelyje Vakarų Europos šalių ir JAV kelių dangos ir KDK būklė vertinama naudojant kompleksinius rodiklius. Plačiausiai žinomas Amerikos (JAV) Kelių ir transporto pareigūnų asociacijos AASHO nustatytas eksploatacinio patikimumo (eksploatacinės būklės) rodiklis p . Kelių nestandžios dangos konstrukcijoms rodiklis p nustatomas iš formulės (Haas *et al.* 1994):

$$p = 5,03 - 1,91 \lg(1 + SV) - 0,01 \sqrt{C + P} - 1,38(RD)^2, \quad (1.2)$$

čia: SV – dangos lygumo rodiklis, įvertinamas laboratoriniu profilometru pagal važiuojamosios dalies nelygumų nuolydžio pokytį; C – plyšių skaičius, $m/1000 m^2$; P – užtaisytų dangos išdaužų santykinis plotas, $m^2/1000 m^2$; RD – vidutinis vėžės gylis.

Kai rodiklio vertė $p = 2,5$, kelių dangą dar leidžiama eksploatuoti. Nestandžios KDK eksploatavimo pradžioje rodiklio p vertės turi būti $p \geq 4,2$.

Rodiklis p nustatomas ir iš šios formulės:

$$p = 11,683 - 3,9 \lg R - 0,01 \sqrt{3,08C + P} - 0,241(RD)^2, \quad (1.3)$$

čia R – dangos lygumas, nustatytas smūgiamačiu, kiti rodikliai tie patys kaip (1.2) formulėje.

Šį rodiklį p kompleksiniu kelių būklės rodikliu vadinti negalima, nes jis įvertina tik kelių dangos būklę. Kelių dangos būklės vertinimo rodiklio p ir jo modifikacijų svarbiausias trūkumas – jų empiriškumas. Juos galima taikyti tik tomis konkrečiomis sąlygomis, kurios buvo juos nustatant. Eksploatacinei kelių dangos būklei įvertinti patogų turėti apibendrintą universalų rodiklį, atspindintį kelių dangos lygumą ir KDK stiprį bei kitas svarbias eksploatacines savybes.

Atliktų darbų analizė parodė, kad iki šiol dar nepasiūlytas kelių ar kelių dangos būklei vertinti universalus ir patogus rodiklis. Patogiausias rodiklis kelių dangos būklei vertinti – VGTU Kelių katedros pasiūlytas kelių dangos suirties mastas D_D (Sivilevičius, Petkevičius 2002).

1.4. Asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos funkcionavimo trukmė

AB dangos ir nestandžios KDK reali funkcionavimo trukmė labiausiai priklauso nuo šių veiksnių: KDK stiprio, KDK sluoksnių medžiagų kokybės charakteristikų ir žemės sankasos gruntų savybių, šių sluoksnių storio ir sutankinimo laipsnio, KDK nuolat veikiančių klimato veiksnių ir transporto priemonių apkrovų, taip pat nuo vietos gruntinio vandens lygio ir vietovės drėkinimo sąlygų ir kt. (ОДН 218.046-01; Zhang *et al.* 2000; Nouredin 1997; Яковлев, Лугов 2004; Gui *et al.* 2007; Pellinen *et al.* 2004; Choi, Bahia 2004; Tighe *et al.* 2007; Lee *et al.* 2007; Haas *et al.* 2006). Aptarti veiksniai yra atsitiktiniais, todėl skirtingose AB dangos bei KDK ploto vietose ir skirtingais laiko momentais bei laikotarpiais jie veikia skirtingai. Beveik visi išvardyti veiksniai atskirais metų sezonais veikia skirtingai (oro ir AB dangos temperatūra; KDK stipris; gruntų drėgnis ir jų tampo-ros modulis; kritulių pobūdis: lietus arba sniegas; žiemą, esant neigiamai oro temperatūrai, AB dangos paviršiuje ir žemės sankasos grunte bei nerišliuose (turinčiuose kapiliarus) KDK sluoksniuose susidaro ledas ir kt.). Šie veiksniai kinta ir per parą: dieną jų poveikis, lyginant su jų poveikiu naktį, labai skiriasi. Sezoninį poveikį ir skirtingumus per parą taip pat turi transporto priemonių apkrovos: žiemą eismo intensyvumas mažesnis negu vasarą, o dieną jis būna dides-

nis negu naktį. Esant nurodytai padėčiai, sunku prognozuoti AB dangos ir KDK realią funkcionavimo trukmę. Įvairių šalių mokslo darbuotojai ir tyrėjai siūlo savus AB dangos ir KDK funkcionavimo bei funkcionavimo trukmės nustatymo modelius. Tokie modeliai pastaraisiais metais pasiūlyti JAV (Loria *et al.* 2008; Hu *et al.* 2008; Li, Metcalf 2002; Gallivan *et al.* 2004; Li *et al.* 2008; Bausano *et al.* 2004; Kim *et al.* 2005), Taivane (Ker *et al.* 2008), Didžiojoje Britanijoje (Dawson 2008), Kanadoje (Tighe *et al.* 2007; Gerbrandt, Berthelot 2007), Ispanijoje (Luo, Chou 2006), Švedijoje (Lundstrom *et al.* 2004), Pietų Korėjoje ir JAV (Seo *et al.* 2007), Singapūre (Wei, Fwa 2004), Lenkijoje (Szydło, Mackiewicz 2005), Egipte (Noureldin 1997), Rusijoje (Бахрах 2002; Коганзон, Лугов 2004), Baltarusijoje (Яромко 2008), Ukrainoje (Радовский, Сердюк 1997), Kazachijoje (Красиков 2004) ir kitose šalyse, o plačiam naudojimui kelių dangos ir KDK būklės prognozės sistemas HDM-III ir HDM-IV pasiūlė Pasaulio banko Ekonomikos vystymo instituto darbuotojai (Кейрос 1995).

Visgi pasiūlytas HDM-III ir HDM-IV sistemas sunku atskirose šalyse pritaikyti AB dangos ir KDK būklei prognozuoti ir valdyti. Tai parodė daugelio šalių ir Lietuvos (Dangų valdymo..., 1997) patirtis įdiegiant šias sistemas (Braga 2005), todėl atskirose šalyse ir Lietuvoje bandoma šias sistemas, ypač HDM-IV, modifikuoti. Tai labai ilgas ir sudėtingas procesas, didinantis sistemų HDM-III ir HDM-IV pritaikymo efektyvumą, t. y. didinantis AB dangos ir KDK būklės prognozės tolesnei perspektyvai tikslumą. Kadangi AB dangos ir KDK būklės universalios sistemos, tinkamos įvairių šalių vietos sąlygoms, iki šiol nėra sukurta, daugelis šalių kuria naujas arba tobulina senesnes sistemas ar būklės prognozės modelius. Šie mokslo tyrimo darbai vykdomi ir Lietuvoje (Braga 2005; Braga, Čygas 2002).

AB dangos ir KDK būklės prognozės, funkcionavimo trukmės ir tarpremontinių laikotarpių nustatymo tyrimai atliekami daugelyje šalių. Kai kurie šių tyrimų labai svarbūs teoriniu ir (arba) praktinio taikymo aspektais. Tai tyrimai, atlikti JAV (Kher *et al.* 1976; Jung *et al.* 1976; Li, Metcalf 2004), Vokietijoje (Wester 1977), Rusijoje (Бахрах 2008), Ukrainoje (Радовский, Сердюк 1997), Kazachijoje (Красиков 2004) ir kitose šalyse.

Nustatytas KDK funkcionavimo laikotarpis užtikrinamas tik tada, kai faktinis jos tampros modulis E_f būna nemažesnis už projektinį E_p ($E_f \geq E_p$), o E_p būna ne mažesnis nei reikalingas tampros modulis E_r , nustatomas pagal automobilių eismo intensyvumą pradedant eksploatuoti kelią ($E_p \geq E_r$). KDK stiprio koeficiento K_{st} vertės turėtų būti $K_{st} = E_p / E_r \geq 1$ (Красиков 2004). Šio koeficiento K_{st} vertę $K_{st} = 1,0 - 1,3$ apibūdina tikimybė P (paprastai $P = 90 - 99$ %, dažniausia $P = 95$ %, o koeficiento K_{st} verte $K_{st} = 1,1$, garantuojama, kad KDK funkcionavimo trukmė bus ne mažesnė nei nustatyta.

Automobilių kelių AB dangos ir KDK irtis (defektų atsiradimo ir vystymosi dėsningumai) priklauso nuo KDK projektavimo metodikos ir naudojamų medžiagų AB dangai ir kitiems KDK sluoksniams kokybės. Parinkus tinkamas KDK sluoksnių medžiagas, padidėja AB dangos ir KDK funkcionavimo trukmė.

Kai kurių darbų (Tsunokova, Riaz-ul-Islam 2002; Yuan, Sun 2006; Klinghammer *et al.* 1997) analizė parodė, kad šalyse, kuriose automobilių keliai gana gerai išplėtoti (JAV, Danija, Prancūzija, Vokietija, Švedija, Didžioji Britanija, Austrija, Vengrija, Australija ir kt.), sukurtos kelių dangos būklės valdymo sistemos PMS (*Pavement Management System*). Visgi tyrimai rodo, kad universalios, tinkamos įvairioms sąlygoms ir atvejams, strategijos (PMS) dažniausia neįmanoma sukurti. Kiekvienu konkrečiu atveju ir kiekvienam keliui yra būdinga savita remonto strategija. Ji gali skirtis, priklausomai nuo kelio reikšmės, automobilių eismo intensyvumo, KDK, finansavimo galimybių ir kt. veiksmų. Pasirinkta AB dangos remonto strategija lemia dangos funkcionavimo trukmę.

Įvairiose šalyse atlikti tyrimai (Danil, Kim 2001; Baxpax 2008; Kim *et al.* 2003; Hartman, Gilchrist 2005; Li, Metcalf 2002; Bhasin *et al.* 2009; Chatti, El Mohtar 2004; Pellinen *et al.* 2004) parodė, kad prognozuojant AB dangos bei nestandžios KDK būklę ir funkcionavimo trukmę, reikia nustatyti asfaltbetonio nuovargio rodiklius ir įvertinti AB dangos ir KDK būklę ateityje (po T metų), prognozuojant AB dangos suirtį dėl nuovargio, kai dangą veikia važiuojančių transporto priemonių ašių apkrovos. Šie tyrimai atliekami ir Lietuvoje (Petkevičius, Podagėlis 2000; Butkevičius 2007; Sivilevičius, Šukevičius 2007), tačiau atliktų tyrimų dar neužtenka, norint gana tiksliai suprognozuoti Lietuvos automagistralių ir kitų valstybinės reikšmės automobilių kelių būklę po T metų (pagal AB dangos lygumo blogėjimą bei dangos suirties mastą ir pagal KDK stiprio mažėjimą).

Tyrimai (Коганзон, Лыгов 2004; Яромко 2008) parodė, kad tobulinant nestandžių KDK projektavimo metodiką būtina nustatyti KDK sluoksnių bei žemės sankasos grunto leistinas deformacijas ir KDK bendrąją leistinąją liekamąją deformaciją, kuri gali susidaryti KDK viršuje, todėl Jaromko (Яромко 2008) darbe teigiama, kad, apskaičiuojant (projektuojant) KDK, svarbiausiu KDK funkcionavimo trukmės kriterijumi turi būti imamas AB dangos lygumas pagal tarptautinį lygumo rodiklį IRI Y_{IRI} . Šis rodiklis gali būti apskaičiuotas prognozuojant AB dangos atsparumą plyšiams (pagal asfaltbetonio nuovargio rodiklį, kurį siūlo įvertinti daugelis autorių) ir pagal AB dangos vėžetumo prognozavimą, kurį siūloma įvertinti daugelyje darbų (Chen *et al.* 2004; Hongbing *et al.* 2004; Яромко 2008; Seo *et al.* 2007). Tai naujas siūlymas, iš principo keičiantis požiūrį į nestandžių KDK projektavimą. Juo parodoma, kad, projektuojant nestandžių KDK ir prognozuojant jos funkcionavimo trukmę, svarbiausiu kriterijumi yra AB dangos lygumas.

Kelių dangos lygumas Y Lietuvoje pastaraisiais metais dažniausia matuojamas taip, kad jis būtų išreikštas tarptautinio lygumo indekso IRI vienetais (m/km) Y_{IRI} . Šiais vienetais dangos lygumas įvertinamas ir HDM dangų irties modeliuose. Remiantis HDM-4 modelių taikymo ir derinimo darbu (Paterson, Bennett 2001), dangos lygumui matuoti rekomenduojama naudoti rankinius prietaisus, nes montuojamais ant automobilio (dėl mažesnio jų tikslumo) neįmanoma per trumpą (0,5–1 metų) laikotarpį preciziškai tiksliai nustatyti dangos lygumo pokyčių. Lietuvoje rankiniai dangos lygumo matuokliai naudojami rečiau, o tyrimams dažniausia naudojamas ant automobilio sumontuotas lazerinis profilometras DYNATEST 5051 RSP. Jo lazerių matavimo paklaida $\pm 0,5$ mm. Gautos kelių dangos nelygumų amplitudės sumuojamos šio kelio 50 m ilgio atkarpose. Vidutinis dangos lygumo ruože rodiklis yra gautų verčių vidurkis. Provėžos matuojamos automatizuotai ir rankiniu būdu. Automatizuotiems provėžų gylio matavimams Lietuvoje naudojamas lazerinis profilometras DYNATEST 5051 RSP.

Atliktų darbų analizė parodė, kad tiek Lietuvoje, tiek įvairiose šalyse kelių AB danga ir KDK dažniausia funkcionuoja gerokai trumpiau nei galėtų. Svarbiausia nurodytos padėties priežastis – AB dangos ir KDK funkcionavimo sąlygas veikia labai daug nuolat kitėjančių veiksnių ir atskiruose to paties kelio ruožuose šių veiksnių poveikis AB dangai ir KDK labai skiriasi, todėl, prieš įrengiant, atskirų kelio ruožų KDK turėtų būti projektuojama skirtinga su skirtingo storio ir kokybės jos sluoksnių medžiagomis. Tai sudėtingas ir praktikoje retai taikomas (tik įrengiant eksperimentinius KDK ruožus) uždavinys. Iki šiol nesukurta universalios AB dangos ir KDK būklės prognozės metodika, kurią taikant atskirose šalyse būtų galima tiksliai vertinti jų būklę ateityje (po 1, 2, ..., n metų). Daugelis šalių tobulina taikomas AB dangos ir KDK būklės prognozės metodikas, šio pobūdžio metodiką tikslina tobulinti ir Lietuvoje. Įrodyta, kad prognozuojant AB dangos ir KDK būklę svarbiausiu rodikliu turi būti imamas kelių dangos lygumas, todėl leistinojo dangos lygumo rodiklį reikėtų naudoti prognozuojant AB dangos ir KDK realią funkcionavimo trukmę.

1.5. Automobilių kelių dangos asfaltbetonio kokybė ir gerinimo galimybės

Lietuvos standarte (LST 1518:1998), aptariant terminą „kokybė“, yra apibrėžta: kokybė – tai objekto savybių visuma, leidžianti tenkinti pagal paskirtį numatomus poreikius. AB danga skirta viršutiniams KDK sluoksniams (viršaus ir po juo esančiam) įrengti. Svarbiausios AB dangos sluoksnių savybės: reikiamas lygumas, tinkamas sutankinimas, reikiamas storis (ne mažesnis nei nurodyta KDK projekte). Kiekvieno AB dangos sluoksnio asfaltbetonis skirtas transporto priemonių apkrovų daugkartiniam poveikiui (per visą numatytą AB dangos funkcio-

navimo laikotarpį) atlaikyti, taip pat aplinkos veiksnių (orų, klimato, vietovės drėkinimo ir kt.) poveikiui per šį laikotarpį atlaikyti. Dangos sluoksnių asfaltbetonio svarbiausios savybės yra šios: atsparumas nuovargiui; atsparumas žemos (neigiamos) temperatūros (vandens ir šalčio) poveikiui; atsparumas aukštos (teigiamos) temperatūros (+50 – +60 °C) poveikiui. Šias asfaltbetonio savybes gerai modeliuoja jo fiziniai bei mechaniniai rodikliai: pastovumas S , plastiškumas F ir tuštymėtumas V_a pagal Maršalą, taip pat rodiklis $Q = S/F$.

Buvo įrodyta, kad, priklausomai nuo AB dangos funkcionavimo sąlygų, optimalios gali būti didžiausią funkcionavimo trukmę dangoje galinčios užtikrinti pačios įvairiausios AM sudėtys: nuo lietojo iki karkasinio, daug stambiųjų (stambesnių kaip 5 mm) skaldos frakcijos grūdelių turinčio AB (≥ 60 masės %) (Радзишевски 1989). Darbų (Подагель 1989; Рыбьев 2008) analizė parodė, kad net skirtingomis asfaltbetonio (AB) funkcionavimo įvairiose šalyse sąlygomis ir esant skirtingoms medžiagoms, panaudotoms asfaltiniams mišiniams (AM) gaminti, yra AM komponentų verčių ribos, kurių neviršydamas AM gerai atitinka labai skirtingas AB funkcionavimo kelių dangoje sąlygas. Universalios AM komponentinės sudėties ribos yra šios: skaldos frakcijos stambesnių kaip 5 mm grūdelių $CA = 40\text{--}60$ masės %, smėlio frakcijos 0,071 (0,075) mm – 5 mm grūdelių $FA = 24\text{--}52$ masės %, mineralinių miltelių frakcijos smulkesnių kaip 0,071 (0,075) mm grūdelių $MF = 8\text{--}16$ masės % ir bitumo $B = 5,5\text{--}7,0$ masės %. Labiausiai atitinkančio skirtingas funkcionavimo sąlygas AM sudėtis yra ši: $CA = 50$ masės %; $FA = 38$ masės %; $MF = 12$ masės % ir $B = 6,25$ masės % (Petkevičius, Sivilevičius 2008). Siekiant kuo geriau panaudoti vietines medžiagas ir padidinti AB funkcionavimo kelių dangoje trukmę, AM optimalių sudėčių paieškos tyrimai vyksta iki šiol: JAV (Kim *et al.* 2003; Seo *et al.* 2007; Konitpong *et al.* 2005), Rusijoje (Салль, Ильин 2000; Котлярский 2008), Lenkijoje (Иваньски 2003), Ukrainoje (Золотарев 2004), Lietuvoje (Чигас *et al.* 2002), Baltarusijoje (Веренько 2008; Яромко 2003), Egipte (Noureldin 1997) ir daugelyje kitų šalių. Siekiant pagerinti AM ir asfaltbetonio kokybę Lietuvoje atlikta gana įdomių ir svarbių darbų (Подагель 1989; Čygas 1997; Petkevičius, Sivilevičius 2000; Sivilevičius 2003; Oginskas 2006; Butkevičius 2007; Čygas *et al.* 2008), tačiau, keičiantis eismo sąlygoms automobilių keliuose (transporto priemonių, tarp jų – sunkiųjų, eismo intensyvumui, jų ašies didžiausioms apkrovoms) ir keičiantis medžiagų (ypač bitumų), naudojamų KDK sluoksniams įrengti, kokybei, tyrimus pravartu tęsti.

Įvairių autorių atlikti tyrimai parodė, kad asfaltbetonio fiziniai bei mechaniniai rodikliai ir daugelis kitų jo savybių rodiklių labai priklauso nuo naudojamų bitumų kokybės (Котлярский 2008; Горелышева, Штромберг 2009; Kim *et al.* 2005; Cho, Bahia 2005), taip pat nuo naudojamų mineralinių medžiagų savybių (Веренько 2008). Siekiant asfaltinių mišinių (AM) ir asfaltbetonio (AB) tam tikrų

(projektinių ar norminiais dokumentais numatytų) savybių, labai svarbu parinkti AM tinkamas mineralines medžiagas ir bitumą.

Jongvon, Sandhyeok (2006) darbe parodyta, kad asfaltbetonio kokybę reikia vertinti pagal požymius, modeliuojančius jo būklę kelių dangoje. Asfaltbetonis turi atitikti reikalavimus, keliamus jo fiziniams ir mechaniniams rodikliams (nuo kurių gana daug priklauso jo funkcionavimo kelių dangoje trukmė).

Svarbus kelių dangos kokybės rodiklis jos asfaltbetonio vienodumas pagal sudėtį ir fizinius bei mechaninius rodiklius. Įrodyta (Jongvon, Sandhyeok 2006; Подагелъ 1989), kad nuo AB sudėties ir struktūros priklauso ne tik rodikliai E_{AB} ir $R_l^{(a)}$, bet ir jo atsparumas nuovargiui $N^{(a)}$, todėl, parenkant AB sudėtį, galima valdyti AB dangos irties procesą.

Nustatyta (Sivilevičius, Petkevičius 2002; Jongvon, Sandhyeok 2006), kad užtikrinant optimalius AB sudėtį ir jo tankio koeficientą K_d bei KDK reikalingą stiprį K_s ir reikalingą pradinį dangos lygumą Y_{pr} , bus garantuotas reikiamas AB atsparumas tempimui lenkiant $R_l^{(a)}$ ir reikiamas dangos lygumas ją eksploatuojant iki profilaktinio remonto.

Atliktų darbų apžvalga rodo, kad asfaltbetonį, sudarytą iš skirtingo stambumo mineralinių medžiagų grūdelių ir juos sujungiančio į visumą rišiklio – bitumo, tyrė daugelis įvairių šalių mokslininkų. Daugelis jų įrodė, kad, eksploatuojant AB dangą ir KDK, blogėja AB komponentų (ir paties asfaltbetonio) savybės, todėl, laikui bėgant, mažėja asfaltbetonio geba priešintis transporto priemonių apkrovų ir klimato bei kitų aplinkos veiksnių poveikiui. Visgi asfaltbetoniui naudojant geresnės kokybės medžiagas, AB danga ir KDK būna stipresnės ir atsparesnės aplinkos veiksnių poveikiui, o jų funkcionavimo trukmė būna ilgesnė.

AB savybės, charakterizuotos šiais svarbiais rodikliais, aptartos daugelyje darbų: tampros moduliui (Li *et al.* 1999; Gardoni *et al.* 2007), atsparumu nuovargiui (Подагелъ 1989; Danil, Kim 2001; Hartman, Gilchrist 2005; Li, Metcalf 2004), standartiniais fiziniais ir mechaniniais rodikliais (Подагелъ 1989; Веренько 2008; Poberts *et al.* 2002; Čygas 1997), priklauso nuo jo sudėties ir struktūros. Minėtos savybės (visos kartu) charakterizuoja potencines asfaltbetonio galimybes priešintis poveikiams eksploatuojant dangą bei charakterizuoja AB dangos funkcionavimo trukmę, tačiau iki šiol vis dar nepateikta priklausomybių tarp asfaltbetonio savybių ir AB dangos funkcionavimo trukmės. Esant įvairioms dangos funkcionavimo sąlygoms (vietinis klimatas, eismo intensyvumas ir sudėtis, gruntų geologinės ir hidrologinės sąlygos ir kt.) optimalios būna įvairios AB sudėtys (Sivilevičius, Petkevičius 2002; Lundstrom *et al.* 2004; Рыбьев 2008), pradedant smėlio ir baigiant lietuviu asfaltbetoniu. Dangos funkcionavimo trukmė ir patikimumas priklauso ne tik nuo asfaltbetonio sudėties, bet ir nuo jo sutankinimo laipsnio, pradinių medžiagų, naudotų konstrukciniams sluoksniams įrengti,

kokybės, sluoksnių storio bei kitų veiksnių. Daugelis mokslininkų pažymi (Baxpax 2002; Sivilevičius, Petkevičius 2002; Čygas 1997), kad labai sunku gana tiksliai prognozuoti asfaltbetonio funkcionavimo trukmę kelio dangos konstrukcijoje, priklausomai nuo jo sudėties ir fizinių bei mechaninių ar kitų jo savybių. Atlikus šių darbų apžvalgą, negalima tiksliai nustatyti pagrindinių veiksnių, lemiančių asfaltbetonio dangos būklę, įtakos bei pateikti efektyvias dangos būklės pagerinimo priemones. Daugelyje apžvelgtų darbų nurodyta, kad svarbiausias kelių dangos kokybės rodiklis – jos lygumas, pagal kurio leistinąją vertę tikslinga prognozuoti AB dangos ir KDK racionalią funkcionavimo trukmę, priklauso nuo AB sudėties ir fizinių bei mechaninių rodiklių, tačiau šį teiginį patvirtinančių tyrimų iki šiol atlikta labai mažai.

1.6. Pirmojo skyriaus išvados ir darbo uždavinių formulavimas

1. Lietuvos kelių AB dangos priežiūros ir taisymo didžiausios problemos susijusios su daugiaašių STP daugėjimu. Lietuvos keliai pagal dangos lygumą, KDK stiprį ir kitus rodiklius nėra pritaikyti didelių gabaritų STP. Bendrame automobilių sraute daugėjant STP, didėja automagistralių ir kitų svarbiausių automobilių kelių AB dangos ir KDK ardymo poveikis bei dangos irties intensyvumas.

2. Kelių dangos irtis – natūralus procesas, priklausantis nuo daugelio veiksnių, kurių dauguma yra atsitiktiniai, todėl jie negali būti labai tiksliai išmatuoti ir įvertinti. Visus kelių dangos irčiai turinčius įtakos veiksnius ištirti ir sumodeliuoti dar niekam nėra pavykę.

3. Nuo kelių AB dangos suirties masto priklauso dangos lygumas – svarbiausia jos eksploatacinė charakteristika. Kelių dangos lygumas ir jos paviršiaus bei gilesnių sluoksnių irties greitis lemia dangos funkcionavimo trukmę. Naudojantis dangos suirties masto rodikliu, galima gana tiksliai suprognozuoti dangos funkcionavimo trukmės likutinę vertę

4. Atlikti tyrimai parodė, kad kelių dangos būklė turi būti tikrinama nuolat (pavasariį ir rudenį), kad būtų galima objektyviau ir tiksliau nustatyti kelių AB dangos ir KDK remonto darbų kasmetines apimtis. Dėl kintančių eismo sąlygų Lietuvos automobilių kelių dangos ir KDK tarpremontiniai laikotarpiai turėtų būti periodiškai kas keleri metai tikslinami.

5. Eksploatuojamos kelių dangos lygumas, būklė ir funkcionavimo trukmė priklauso nuo KDK stiprio. KDK būklei ir funkcionavimo trukmei įtaką turi ne tik važiuojančių transporto priemonių poveikis, bet ir aplinkos veiksniai: klimato, hidrologiniai ir hidrogeologiniai.

6. Kadangi automobilių kelių AB dangą ir KDK veikia labai daug nuolat kintančių veiksnių, iki šiol pasaulyje nesukurta universali AB dangos ir KDK būklės prognozės metodika, kurią taikant būtų galima tiksliai prognozuoti jų būklę ateityje.

7. Daugelio šalių mokslininkų atliktuose tyrimuose įrodyta, kad, prognozuojant AB dangos ir KDK būklę, svarbiausiu rodikliu turi būti imamas kelių dangos lygumas, todėl leistinojo dangos lygumo rodiklį reikia naudoti prognozuojant AB dangos ir KDK realią funkcionavimo trukmę.

8. Pastaraisiais metais daugelio užsienio šalių mokslininkai kūrė naujus metodus AB struktūrai ir savybėms pagerinti, tačiau juos taikant AB savybes galima pagerinti tik labai nedideliame asfaltinio mišinio (AM) ir asfaltbetonio kiekiui laboratorijoje. Kaip pagerinti AM savybes, jį gaminant pramoniniu būdu, neaišku iki šiol.

9. Daugelis tyrėjų teigia, kad dangos lygumas labai priklauso nuo asfaltbetonio sudėties ir fizinių bei mechaninių rodiklių. Visgi šį teiginį patvirtinančių tyrimų iki šiol atlikta labai mažai.

Darbo tikslui pasiekti reikia išspręsti šiuos uždavinius:

1. Išanalizuoti automobilių kelių AB dangos ir KDK savybes bei būklę veikiančius veiksnius ir priežastis, lemiančius dangos ir KDK funkcionavimo trukmę.

2. Atlikti tyrimus ir pasiūlyti metodiką kelių AB dangos būklei ir savybėms vertinti.

3. Ištirti Lietuvos automagistralių AB dangos lygumo, suirties masto ir funkcionavimo trukmės rodiklius.

4. Nustatyti automagistralių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio komponentinės sudėties ir fizinių bei mechaninių rodiklių setį.

5. Nustatyti automagistralių AB dangos lygumo, suirties masto ir funkcionavimo (iki remonto) trukmės leistinas vertes.

6. Nustatyti automagistralių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio fizinių bei mechaninių rodiklių ir tankio koeficiento leistinas vertes bei komponentinės sudėties rodiklių racionalias vertes.

Teoriniai tyrimai dangos būklės ir savybių rodiklių racionaliosioms vertėms nustatyti

Skyriuje apibūdintos asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos funkcionavimo sąlygos, būklė ir savybės, pateiktas grafinis jų sieties modelis. Nustatyti AB dangos bei KDK tarpremontiniai laikotarpiai ir pateiktas AB dangos bei KDK savybių kitėjimo laikui bėgant grafinis modelis. Pateikti dangos asfaltbetonio savybių rodiklių ir jų komponentinės sudėties rodiklių sieties matematiniai ir grafiniai modeliai. Pateikti AB dangos būklės ir savybių rodiklių racionaliųjų verčių nustatymo metodai.

Skyriaus tematika paskelbti keturi autoriaus straipsniai (Petkevičius *et al.* 2006; Petkevičius *et al.* 2008; Петкявичюс, Лауринавичюс 2009; Petkevičius *et al.* 2009).

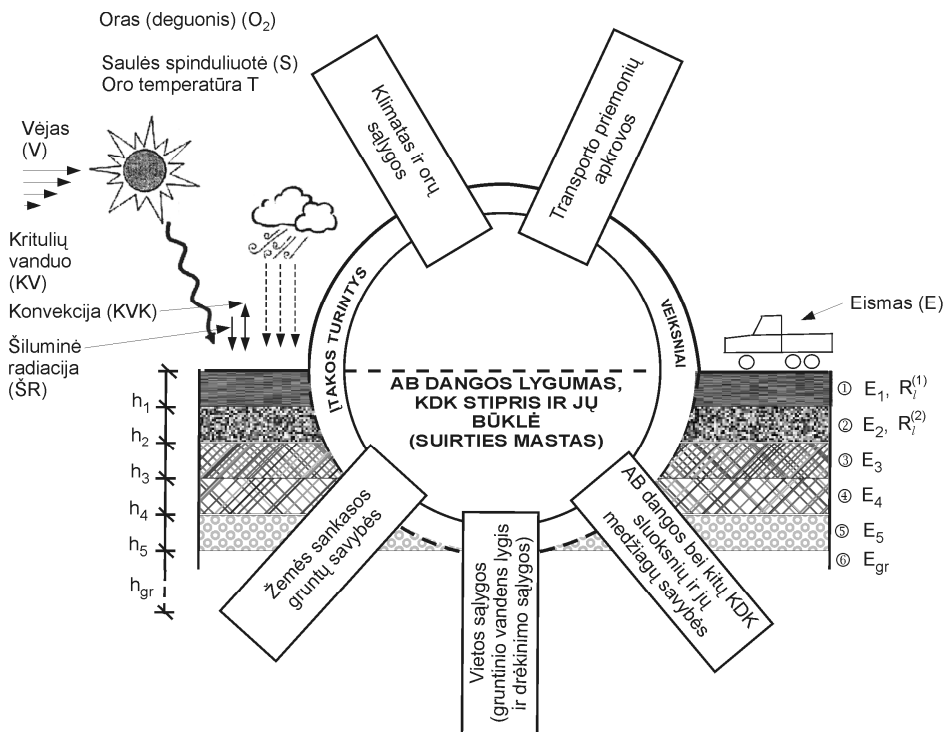
2.1. Asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos funkcionavimo sąlygos, būklė ir savybės

AB danga ir KDK funkcionuoja konkrečiomis (vietinėmis) sąlygomis, kurios priklauso nuo šių veiksnių: dangos bei KDK sluoksnių medžiagų ir žemės sankasos (ŽS) gruntų savybių, šių sluoksnių storio ir jų sutankinimo lygio, klimato veiksnių, transporto priemonių apkrovų bei nuo vietos sąlygų (gruntinio vandens lygio (GVL), vietovės drėkinimo sąlygų), AB dangos ir KDK savybių (dangos lygumo ir suirties masto, KDK stiprio ir kt.). 2.1 paveiksle parodytas anksčiau sukurtas (Sivilevičius 2003) modelio pagrindu mūsų patobulintas AB dangos bei KDK funkcionavimo sąlygoms ir jų savybėms bei būklei įtakos turinčių veiksnių sisties modelis. Šis modelis įvertina visus AB dangos lygumui, KDK stipriui ir jų būklei ženklų poveikį darančius veiksnius.

Paveiksle visų rodiklių ($E_1 - E_5$, $h_1 - h_5$ ir E_{gr}) vertės, išskyrus rodiklį h_{gr} , nustatomos iš norminių dokumentų, parinkus KDK medžiagas ir žinant vietovės gruntą. Rodiklio h_{gr} vertė nustatoma iš žinomos priklausomybės.

2.1 paveiksle pateikti veiksniai nėra pastovūs (determinuoti). Jų veikimo pobūdis yra atsitiktinis, todėl jų poveikio vertės kitėja atsitiktinai (stochastiškai), neviršydamos tam tikrų ribų. Vieni šių veiksnių yra periodinio pobūdžio: jų vertės periodiškai kartojasi per parą (ryte, dieną, vakare ir naktį), taip pat metų sezonais (pavasarij, vasarą, rudenį ir žiemą). Šie veiksniai – tai oro temperatūra ir saulės spinduliuotė. Kiti veiksniai kitėja (tam tikrose ribose) visiškai atsitiktinai (daugumos jų vertės kitėja pagal normalųjį dėsnį): vėjas (jo greitis); kritulių kiekis; transporto priemonių apkrovos; AB dangos ir kitų KDK sluoksnių kokybės rodikliai (storis ir sutankinimo koeficientas); kelio dangos asfaltbetonio sudėtis, fiziniai ir mechaniniai bei kiti kokybės rodikliai; KDK nerišliųjų sluoksnių medžiagų granulimetrinė sudėtis ir kiti kokybės rodikliai; žemės sankasos gruntų granulimetrinė sudėtis, drėgnis ir kiti kokybės rodikliai. Dalis veiksnių pastovūs (nekitėja arba kitėja labai mažai): deguonies kiekis (procentinė dalis) ore, gruntinio vandens lygis. Vienas svarbus veiksnys, veikiantis šaltuoju laikotarpiu – gruntų įšalo gylis, kitėja priklausomai nuo atstumo iki jūros (šiuo atveju – Baltijos jūros), sniego dangos storio, taip pat šaltojo sezono (žiemos) vidutinės neigiamos ir žemiausios neigiamos temperatūros ir kitų veiksnių.

Daugelis aptartų veiksnių AB dangos lygumui, KDK stipriui ir jų būklei turi sudėtingą poveikį – labai dažnai AB dangą ir KDK vienu metu veikia keletas skirtingų veiksnių, todėl kiekvieno jų poveikį nustatyti labai sudėtinga. AB dangos ir KDK būklę blogina kelių veiksnių, veikiančių tuo pačiu metu, bendrasis poveikis: AB dangą ir KDK vienu metu veikiant klimato bei orų veiksniams ir transporto



2.1 pav. AB dangos lygumui, KDK stipriui ir jų būklei įtakos turinčių veiksnių sistės modelis: ①–⑤ – KDK sluoksniai (① – AB dangos viršutinis ir ② – AB dangos apatinis sluoksniai; ③ – AB pagrindo sluoksnis; ④ – skaldos (SK) arba žvyro (ŽV) pagrindo sluoksnis; ⑤ – smėlio (SM) ar kitos medžiagos apsauginis šalčiui atsparus sluoksnis); ⑥ – žemės sankasos (ŽS) gruntas; E_1 – E_5 ir h_1 – h_5 – atitinkamai KDK nurodytų sluoksnių tampros moduliai ir sluoksnių storiai; E_{gr} ir h_{gr} – atitinkamai ŽS grunto tampros modulis ir aktyviosios zonos ekvivalentinis storis

Fig. 2.1. Model of correlation dependences of factors affecting the roughness of AC pavement, RPC strength and their status: RPC layers (wearing layer of AC pavement and base layer of AC pavement; AC base layer; break stone or gravel base layer; frost blanket layer of sand or other material); soil of earth embankment; elastic modules and thickness of RPC layers; elastic module and equivalent thickness of the soil of earth embankment and active zone

priemonių apkrovoms, bendrasis neigiamas (ardomasis) poveikis gali būti daug žalingesnis negu veikiant kiekvienam veiksniai atskirai. Pavyzdžiui, vasarą, kai yra aukšta oro temperatūra ($t > +30\text{ }^{\circ}\text{C}$), AB danga įšyla iki $t > +50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dėl šios priežasties labai sumažėja KDK stipris, ir transporto priemonių apkrovų poveikis AB dangai ir KDK būna daug stipresnis negu to paties dažnio ir dydžio apkrovų poveikis AB dangai ir KDK žiemą. Tuo pačiu metu AB danga, veikiamą oro tem-

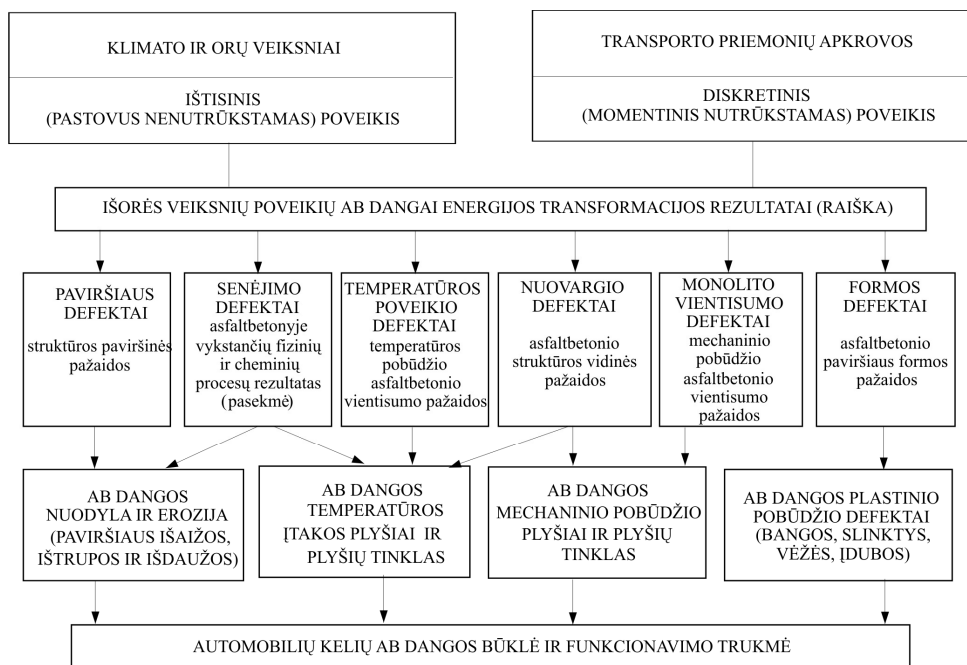
peratūros, deguonies ir saulės spinduliuotės, labai intensyviai senėja, todėl dangos irties procesas taip pat labai suintensyvėja. AB dangos senėjimo procesas, dėl oro sąlyčio su danga vykstant konvekcijos (KVK) (šilumos mainų) ir šiluminės radiacijos (ŠR) procesams, dar labiau suintensyvėja. Iš dangos asfaltbetonio daug intensyviau garuoja lakios bitumo frakcijos – alyvos. Šio proceso metu bitumo grupinė sudėtis pasikeičia – dalis smulų tampa asfaltenais, o dalis alyvų – smalomis, todėl procentinė asfaltenų dalis padidėja, o alyvų sumažėja. Šiam procesui intensyviai vykstant 3–5 metus, dangos asfaltbetonio atsparumas gniuždymui labai padidėja, o elastingumas ir atsparumas tempimui sumažėja. Dangos asfaltbetonis iš tampraus, elastingo ir plastiško gali tapti trapus – dėl šios priežasties AB danga gali pradėti trūkinėti. Šaltuoju metų laikotarpiu (esant neigiamai oro ir AB dangos temperatūrai) AB dangos irtį dėl nuovargio (transporto priemonių apkrovų daugkartinio poveikio) labai suintensyvina oro temperatūros pokyčiai iš teigiamos į neigiamą ir iš neigiamos į teigiamą, nes danga patiria irties (dėl vandens ir šalčio įtakos) poveikį: AB porose (tuštymėse) esantis vanduo užšaldamas didina savo tūrį ir ardo dangos asfaltbetonį.

2.2 pav. pateikta schema rodo, kurie veiksniai ir veiksmų deriniai daro poveikį AB dangos būklei ir funkcionavimo trukmei.

AB danga iki remonto funkcionuoja kur kas trumpiau negu visa KDK. Laikui bėgant, dėl 2.2 pav. nurodytų veiksmų poveikio, kitėja šie AB dangos kokybės rodikliai: blogėja lygumas, didėja vėžėtumas ir suirties mastas bei kt.

AB dangos ir KDK būklę apibūdina šie jų rodikliai:

- *AB dangos būklę*: dangos lygumo Y rodikliai (plačiausiai naudojamas rodiklis – lygumas pagal indeksą IRI Y_{IRI} , m/km); dangos vėžėtumo rodikliai (dažniausiai naudojamas rodiklis – vėžės gylis H_v , mm) dangos defektingumo rodikliai (patogiausias rodiklis – dangos suirties mastas D_D , išreikštas suirusios dangos ploto dalimi, %); dangos nuodylos rodikliai (patogus naudoti rodiklis, išreikštas jos nuodyla, h_n , mm); transporto priemonių ratų sankibos su danga koeficientas ϕ , išreikštas vieneto dalimis; dangos sluoksnių (viršutinio ir apatinio) asfaltbetonio šie rodikliai: atsparumo tempimui lenkiant rodiklis $R_l^{(a)}$, MPa; likutinis resursas (nuovargio rodiklis N_c), nuovargio ciklais; atsparumo šlyčiai rodiklis R_{sl} , MPa, ir kt.;
- *KDK būklę*: kelio konstrukcijos (KK) tampros modulis E_K , MPa; kelio konstrukcijos stiprio koeficientas K_{st} ; dangos ir KDK defektingumo rodikliai (patogiausias rodiklis – suirties mastas D_K , išreikštas suirusios dangos ir KDK ploto dalimi, %) ir kt.



2.2 pav. AB dangos būklei ir funkcionavimo trukmei įtakos turinčių veiksnių bei jų derinių poveikių ir pasekmių rezultatų sistemos scheminis modelis

Fig. 2.2. Diagrammatic model of the impacts and consequences of factors and their combinations affecting the status and service life of AC pavement

AB dangos ir KDK svarbiausios savybės apibūdina jų gebą ilgą laiką (AB dangai laiką $T_D \geq 6-8$ metus, KDK laiką $T_K \geq 8-10$ metų) priešintis transporto priemonių apkrovų ir aplinkos veiksnių (tarp jų – klimato ir orų veiksnių) poveikiui ir šiuos poveikius atlaikyti, nesuardžius AB ir kitų KDK sluoksnių medžiagų struktūros ar kitaip nepakeitus šių medžiagų savybių:

- *AB dangos savybės apibūdinamos taip:* dangos pradinio, pasiekiamo įrengus dangą, lygumo blogėjimo rodikliu ΔY_{IRI} , išreiškiamu dangos lygumo pablogėjimu, m/km (vidutiniškai) per metus; dangos irties D_D didėjimo rodikliu ΔD_D , išreiškiamu suyrančios dangos per metus ploto % (suirusios dangos ploto padidėjimu, absoliučiais defektų ploto %, vidutiniškai per metus); dangos nuodylos greičio rodikliu Δh_n , išreiškiamu dangos nuodyla, mm per metus; dangos vėžetumo H_v didėjimo rodikliu ΔH_v , išreiškiamu dangos vėžės gylio padidėjimu, mm (vidutiniškai) per metus; transporto priemonių ratų su danga sankibos

blogėjimo rodikliu $\Delta\varphi$, išreiškiamu sankibos koeficiento φ vertės sumažėjimu, vieneto dalimis (vidutiniškai per metus); dangos asfaltbetonio atsparumo nuovargiui rodiklio pradinės vertės $N_c^{(pr)}$ mažėjimo rodikliu ΔN_c , nuovargio ciklais (vidutiniškai per metus); dangos asfaltbetonio atsparumo tempimui lenkiant rodiklio pradinės vertės $R_l^{(pr)}$ mažėjimo rodikliu ΔR_l , MPa (vidutiniškai per metus); dangos asfaltbetonio atsparumo šlyčiai rodiklio pradinės vertės $R_{sl}^{(pr)}$ mažėjimo rodikliu ΔR_{sl} , MPa (vidutiniškai per metus); AB dangos kiekvieno sluoksnio tampros modulio pradinės vertės $E_{AB}^{(pr)}$ mažėjimo rodikliu ΔE_{AB} , MPa (vidutiniškai per metus) ir kt.

- *Nestandžios (stangrios) KDK eksploatacinės savybės apibūdinamos taip:* kelio konstrukcijos (KK) stiprio koeficiento pradinės vertės $K_{st}^{(pr)}$ mažėjimo rodikliu ΔK_{st} , vieneto dalimis (vidutiniškai per metus); KK tampros modulio pradinės vertės $E_K^{(pr)}$ mažėjimo rodikliu ΔE_K , MPa (vidutiniškai per metus); AB dangos ir KDK irties D_K didėjimo rodikliu ΔD_K , išreiškiamu suirusios dangos ir KDK ploto padidėjimu (absoliučiais defektų ploto %, vidutiniškai per metus) ir kt.

Žinant pradines rodiklių D_D , D_K , Y_{IRI} , H_v , h_n , N_c , R_l , R_{sl} , E_{AB} , φ , K_{st} , E_K vertes $D_D^{(pr)}$, $D_K^{(pr)}$, $Y_{IRI}^{(pr)}$, $H_v^{(pr)}$, $h_n^{(pr)}$, $N_c^{(pr)}$, $R_l^{(pr)}$, $R_{sl}^{(pr)}$, $E_{AB}^{(pr)}$, $\varphi^{(pr)}$, $K_{st}^{(pr)}$, $E_K^{(pr)}$ ($D_D^{(pr)} = 0$; $D_K^{(pr)} = 0$; $H_v^{(pr)} = 0$; $h_n^{(pr)} = 0$) vertes, jos nustatomos atlikus tyrimus arba žinomos iš anksčiau atliktų tyrimų gautų rezultatų, taip pat žinant šių rodiklių leistinas vertes $D_D^{(l)}$, $D_K^{(l)}$, $Y_{IRI}^{(l)}$, $H_v^{(l)}$, $h_n^{(l)}$, $N_c^{(l)}$, $R_l^{(l)}$, $R_{sl}^{(l)}$, $E_{AB}^{(l)}$, $\varphi^{(l)}$, $K_{st}^{(l)}$, $E_K^{(l)}$ (metams bėgant nurodytų rodiklių vertės blogėja – jų leistinosios vertės paimamos iš norminių dokumentų, jeigu kurio nors rodiklio (ar kelių rodiklių) leistinosios vertės (leistinųjų verčių) norminiuose dokumentuose nėra, šios vertės nustatomos atlikus specialiuosius tyrimus) ir žinant nurodytų rodiklių savybių blogėjimo vidutines vertes ΔD_D , ΔD_K , ΔY_{IRI} , ΔH_v , Δh_n , ΔN_c , ΔR_l , ΔR_{sl} , ΔE_{AB} , $\Delta\varphi$, ΔK_{st} , ΔE_K (jos nustatomos iš specialiųjų tyrimų rezultatų), pagal mūsų siūlomas formules nustatomi AB dangos ir KDK tarpremontiniai laikotarpiai, išreikšti metais, kurių metu (tekmėje) laiduojamos nurodytų rodiklių leistinosios vertės:

$$T_D^{(D)} = \frac{D_D^{(l)} - D_D^{(pr)}}{\Delta D_D} = \frac{D_D^{(l)}}{\Delta D_D}, \quad (2.1)$$

$$T_K^{(D)} = \frac{D_K^{(l)} - D_K^{(pr)}}{\Delta D_K} = \frac{D_K^{(l)}}{\Delta D_K}, \quad (2.2)$$

$$T_D^{(Y)} = \frac{Y_{IRI}^{(l)} - Y_{IRI}^{(pr)}}{\Delta Y_{IRI}}, \quad (2.3)$$

$$T_D^{(H)} = \frac{H_v^{(l)} - H_v^{(pr)}}{\Delta H_v} = \frac{H_v^{(l)}}{\Delta H_v}, \quad (2.4)$$

$$T_D^{(h)} = \frac{h_n^{(l)} - h_n^{(pr)}}{\Delta h_n} = \frac{h_n^{(l)}}{\Delta h_n}, \quad (2.5)$$

$$T_D^{(N)} = \frac{N_c^{(pr)} - N_c^{(l)}}{\Delta N_c}, \quad (2.6)$$

$$T_D^{(R_1)} = \frac{R_l^{(pr)} - R_l^{(l)}}{\Delta R_l}, \quad (2.7)$$

$$T_D^{(R_2)} = \frac{R_{sl}^{(pr)} - R_{sl}^{(l)}}{\Delta R_{sl}}, \quad (2.8)$$

$$T_D^{(E)} = \frac{E_{AB}^{(pr)} - E_{AB}^{(l)}}{\Delta E_{AB}}, \quad (2.9)$$

$$T_D^{(\varphi)} = \frac{\varphi^{(pr)} - \varphi^{(l)}}{\Delta \varphi}, \quad (2.10)$$

$$T_K^{(K)} = \frac{K_{st}^{(pr)} - K_{st}^{(l)}}{\Delta K_{st}}, \quad (2.11)$$

$$T_K^{(E)} = \frac{E_K^{(pr)} - E_K^{(l)}}{\Delta E_K}. \quad (2.12)$$

Priklausomybėse (2.1)–(2.12) pateikti šie AB dangos T_D ir KDK T_K tarpremontinių laikotarpių žymenys:

$T_D^{(D)}$, $T_D^{(Y)}$, $T_D^{(H)}$, $T_D^{(h)}$, $T_D^{(N)}$, $T_D^{(R_1)}$, $T_D^{(R_2)}$, $T_D^{(E)}$, $T_D^{(\varphi)}$ – AB dangos tarpremontinių laikotarpių vertės, užtikrinant šias nurodytų rodiklių (formulės 2.1, 2.3–2.10) leistinąsias vertes – atitinkamai, $D_D^{(l)}$, $Y_{IRI}^{(l)}$, $H_v^{(l)}$, $h_n^{(l)}$, $N_c^{(l)}$, $R_l^{(l)}$, $R_{sl}^{(l)}$, $E_{AB}^{(l)}$ ir $\varphi^{(l)}$;

$T_K^{(D)}$, $T_K^{(K)}$, $T_K^{(E)}$ – nestandžios (stangrios) KDK tarpremontinių laikotarpių vertės, užtikrinant šias rodiklių (formulės 2.2, 2.11, 2.12) leistinąsias vertes – atitinkamai, $D_K^{(l)}$, $K_{st}^{(l)}$ ir $E_K^{(l)}$.

Laikantis apskaičiuotų AB dangos T_D (formulės 2.1, 2.3–2.10) ir nestandžios KDK T_K (formulės 2.2, 2.11, 2.12) leistinųjų tarpremontinių laikotarpių (jų neviršijant) $T_D \leq [T_D]$ ir $T_K \leq [T_K]$, taip pat bus užtikrintos ir formulėse (2.1)–(2.12) pateiktų rodiklių leistinosios vertės.

2.2. Asfaltbetonio dangos bei jos konstrukcijos eksploatacinė būklė ir tarpremontiniai laikotarpiai

Nustatant AB dangos ir KDK būklę, patogiausi šie rodikliai:

- AB dangos būklei $Y_{IRI}^{(l)}$, ΔY_{IRI} , $D_D^{(l)}$, ΔD_D , $H_v^{(l)}$, ΔH_v (taip pat kiti 2.1 poskyryje nurodyti rodikliai);
- KDK būklei – $E_K^{(l)}$, $K_{st}^{(l)}$, $D_K^{(l)}$, ΔD_K (jie aptarti 2.1 poskyryje).

Nustatant AB dangos ir KDK tarpremontinių laikotarpių leistinąsias vertes, siūlome naudoti pateiktas formules (2.1)–(2.4) ir (2.11) bei (2.12). Atskirais atvejais, turint rodiklių $h_n^{(pr)}$, Δh_n , $h_n^{(l)}$, $N_c^{(pr)}$, ΔN_c , $N_c^{(l)}$, $R_l^{(pr)}$, ΔR_l , $R_l^{(l)}$, $R_{sl}^{(pr)}$, ΔR_{sl} , $R_{sl}^{(l)}$, $E_{AB}^{(pr)}$, ΔE_{AB} , $E_{AB}^{(l)}$, $\varphi^{(pr)}$, $\Delta \varphi$, $\varphi^{(l)}$ vertes, AB dangos tarpremontinių laikotarpių vertes, apskaičiuotas iš formulių (2.1), (2.3) ir (2.4), galima patikrinti ir prireikus patikslinti naudojantis formulėmis (2.5)–(2.10).

Kelių dangos (KD) funkcionavimo trukmė T_D būna ne mažesnė už numatytą racionalią jos funkcionavimo trukmę $T_D^{(r)}$ ($T_D \geq T_D^{(r)}$) tik tuo atveju, kai numatyto laikotarpio pabaigoje jos faktinis lygumas $Y_{IRI}^{(f)}$ būna ne blogesnis už leisti-

nąjį jos lygumą $Y_{IRI}^{(f)}$ ($Y_{IRI}^{(f)} \leq Y_{IRI}^{(l)}$). Laikui bėgant, KD, funkcionuojančios T metų, lygumas nuolat ir nenutrūkstamai blogėja (lygumo rodiklio $Y_{IRI}^{(f)}$ vertės kasmet padidėja vidutiniškai verte ΔY_{IRI}). Praėjus tam tikram laikotarpiui (keletriems ar keliolikai metų) KD faktinio lygumo rodiklio vertė $Y_{IRI}^{(f)}$ padidėja nuo pradinės vertės $Y_{IRI}^{(f)} = Y_{IRI}^{(pr)}$ iki jo leistinosios ribinės vertės $Y_{IRI}^{(f)} = Y_{IRI}^{(l)}$ ir didėja toliau $Y_{IRI}^{(f)} > Y_{IRI}^{(l)}$ – tuo momentu pasibaigia KD racionali funkcionavimo trukmė $T_D^{(r)}$ ir būtina dangą nedelsiant suremontuoti. Suremontavus dangą, pagerinamas jos lygumas: lygumo rodiklio vertė sumažinama nuo vertės $Y_{IRI}^{(f)} = Y_{IRI}^{(l)}$ iki vertės $Y_{IRI}^{(f)} = Y_{IRI}^{(l)} - \Delta Y_{IRI}^{(r)}$, t. y. KD lygumas pagerinamas verte $\Delta Y_{IRI}^{(r)}$ (lygumo pagerinimo verte, atlikus dangos remontą).

Suremontavus dangą ir pagerinus jos lygumą tiek, kad būtų $Y_{IRI}^{(f)} < Y_{IRI}^{(l)}$, KD galima vėl eksploatuoti iki remonto, kai vėl $Y_{IRI}^{(f)}$ vertė padidės iki $Y_{IRI}^{(f)} = Y_{IRI}^{(l)}$, t. y. iki kito (i -tojo) jos remonto, esant KD funkcionavimo trukmei $T_D^{(i)}$. KD funkcionavimo trukmė iki 1-ojo jos remonto $T_D^{(1)}$ priklauso nuo pradinio jos lygumo $Y_{IRI}^{(pr)}$ ir nuo to, kokia yra dangos lygumo blogėjimo rodiklio ΔY_{IRI} vertė. Šio rodiklio ΔY_{IRI} vertės priklauso nuo transporto priemonių eismo intensyvumo N (ypač nuo sunkiųjų transporto priemonių (STP) eismo intensyvumo), nuo KD ir kitų KDK sluoksnių storio, sutankinimo laipsnio, sluoksnių medžiagų savybių, KDK stiprio ir kitų veiksnių. KD funkcionavimo trukmė iki 2-ojo $T_D^{(2)}$ ir kitų (vėliau atliekamų) jos remontų priklauso nuo dangos lygumo pagerinimo (po remonto) rodiklio $\Delta Y_{IRI}^{(r)}$ vertės (išlyginimo efekto) ir nuo remonto savitumų (KD lygumo gerinimo metodo, naudojamų remontui medžiagų, taikomų technologijų, naudojamų mechanizmų ir kt.). Kuo labiau pagerinamas KD lygumas Y_{IRI} (kuo didesnė būna rodiklio $\Delta Y_{IRI}^{(r)}$ vertė), tuo ilgesnė būna dangos funkcionavimo trukmė T_D .

Išanalizavus savo eksperimentinių tyrimų, atliktų Lietuvos automagistralėse ir kituose valstybinės reikšmės automobilių keliuose, rezultatus, siūlome kelių AB dangos lygumo kitėjimo, metams bėgant ir KD periodiškai remontuojant (su kaskart mažėjančia arba nekintančia KD tarpremontinio laikotarpio T_D trukme), tris charakteringus (praktikoje dažnai pasitaikančius) grafinius modelius (2.3 pav.):

- *KD lygumo nuoseklaus blogėjimo, jį eksploatuojant, ir jo pagerinimo (rodiklio $Y_{IRI}^{(f)}$ vertės sumažinimo), periodiškai (kas keleri ar keliolika metų) dangą remontuojant, bet nesustiprinant KDK (KDK viršuje nepaklojant naujo AB dangos viršutinio sluoksnio), kai KDK nepakankamai stipri ($K_{st} < 1,0$), modelį (2.3 pav. a dalis);*
- *KD lygumo nuoseklaus blogėjimo, dangą eksploatuojant, ir jo pagerinimo, periodiškai dangą remontuojant ir prireikus sustiprinant KDK (norint užtikrinti $K_{st} > 1,0$), kai KDK pakankamai stipri ($K_{st} \geq 1,0$), modelį (2.3 pav. b dalis);*
- *KD lygumo nuoseklaus blogėjimo, dangą eksploatuojant, ir jo pagerinimo, periodiškai dangą remontuojant, bet nesustiprinant KDK, kai KDK nepakankamai stipri ($K_{st} < 1,0$), atveju, kai, laikui bėgant, periodiškai mažinamos dangos leistinojo lygumo $Y_{IRI}^{(l)}$ vertės, modelį (2.3 pav. c dalis).*

Pateiktame grafiniame modelyje (2.3 pav.) nurodyti šie žymenys:

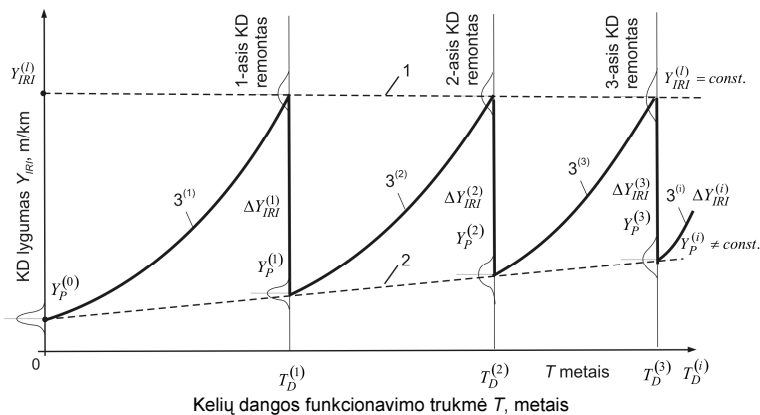
$Y_{IRI}^{(l)}$ ir Y_p – leistinojo ir pradinio dangos lygumo vertės ($Y_p^{(0)}, Y_p^{(1)}, Y_p^{(2)}, Y_p^{(3)}$ ir $Y_p^{(i)}$ – pradinio KD lygumo vertės: atitinkamai – įrengus dangą ir po 1-ojo, 2-ojo, 3-iojo, ..., i -tojo jos remonto); 1 – dangos leistinojo lygumo $Y_{IRI}^{(l)}$ nekintamą vertę ($Y_{IRI}^{(l)} = const$) žyminti linija ((a) ir (b) dalyse); 2 – dangos pradinio lygumo vertės $Y_p^{(0)}, Y_p^{(1)}, Y_p^{(2)}, Y_p^{(3)}, \dots, Y_p^{(i)}$ jungianti linija; $\Delta Y_{IRI}^{(1)}, \Delta Y_{IRI}^{(2)}, \Delta Y_{IRI}^{(3)}, \dots, \Delta Y_{IRI}^{(i)}$ – dangos lygumo pagerinimo po 1-ojo, 2-ojo, 3-iojo, ..., i -tojo jos remonto absoliučios vertės; $3^{(1)}, 3^{(2)}, 3^{(3)}, \dots, 3^{(i)}$ – dangos lygumo blogėjimo tarpremontinių laikotarpių, atitinkamai, pirmojo $T_D^{(1)}$, antrojo $T_D^{(2)}$, trečiojo $T_D^{(3)}$, i -tojo $T_D^{(i)}$ metu kreivės;

$T_D^{(1)} > T_D^{(2)} > T_D^{(3)} > \dots > T_D^{(i)}$; $Y_p^{(i)} > \dots > Y_p^{(3)} > Y_p^{(2)} > Y_p^{(1)} > Y_p^{(0)}$; $\Delta Y_{IRI}^{(1)} > \Delta Y_{IRI}^{(2)} > \Delta Y_{IRI}^{(3)}, \dots, \Delta Y_{IRI}^{(i)}$ (a) dalyje);

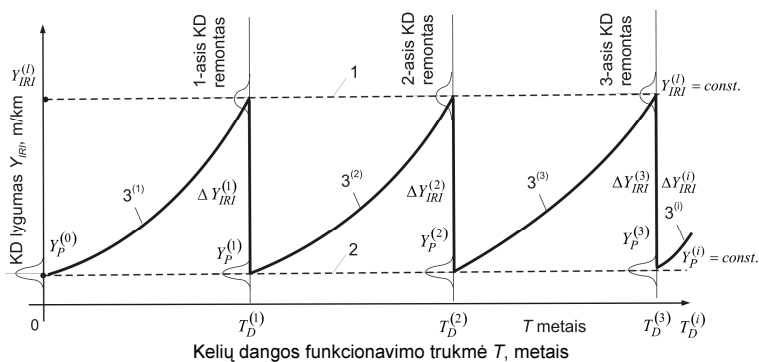
$T_D^{(1)} = T_D^{(2)} = T_D^{(3)} = \dots = T_D^{(i)} = const$; $Y_p^{(0)} = Y_p^{(1)} = Y_p^{(2)} = Y_p^{(3)} = \dots = Y_p^{(i)} = const$; $\Delta Y_{IRI}^{(1)} = \Delta Y_{IRI}^{(2)} = \Delta Y_{IRI}^{(3)} = \dots = \Delta Y_{IRI}^{(i)} = const$. (b) dalyje);

$Y_{IRI}^{(l)}, Y_{IRI}^{(1)}, Y_{IRI}^{(2)}, Y_{IRI}^{(3)}, \dots, Y_{IRI}^{(i)}$ – dangos leistinojo lygumo vertės, atitinkamai, tarpremontiniais laikotarpiais: pirmuoju $T_D^{(1)}$, antruoju $T_D^{(2)}$,

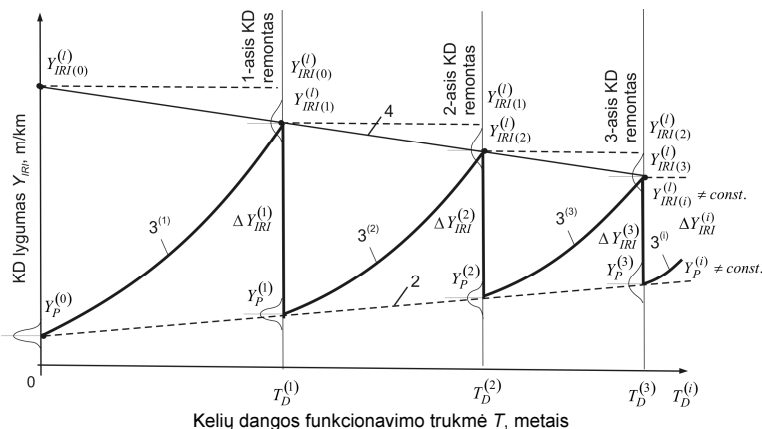
a)



b)



c)



2.3 pav. Kelių dangos lygumo blogėjimo, ją eksploatuojant, ir jo pagerinimo, periodiškai dangą remontuojant, modeliai (a), b) ir c) atvejai)

Fig. 2.3. Models of deterioration of road pavement roughness during exploitation and its improvement by periodic repairs; cases (a), (b) and (c)

trečiuoju $T_D^{(3)}$, ..., i -tuoju $T_D^{(i)}$; 4 – dangos lygumo leistinašias vertes $Y_{IRI}^{(l)}$ (joms pakitus nuo $Y_{IRI(0)}^{(l)}$ iki $Y_{IRI(3)}^{(l)}$ ir iki $Y_{IRI(i)}^{(l)}$) jungianti linija; $T_D^{(1)} > T_D^{(2)} > T_D^{(3)} > \dots > T_D^{(i)}$; $Y_p^{(i)} > \dots > Y_p^{(3)} > Y_p^{(2)} > Y_p^{(1)} > Y_p^{(0)}$; $Y_{IRI(0)}^{(l)} > Y_{IRI(1)}^{(l)} > Y_{IRI(2)}^{(l)} > Y_{IRI(3)}^{(l)} > \dots > Y_{IRI(i)}^{(l)}$ (c) dalyje)).

Pateikto modelio atvejį (2.3 pav., a) siūlome taikyti prognozuojant KD funkcionavimo trukmę tada, kai transporto priemonių eismo intensyvumas $N \leq 10$ projektinių automobilių (PA) per parą ir kai eismo intensyvumo didėjimas nėra didelis (rodiklio $Y_{IRI}^{(l)}$ vertės, laikui bėgant, nemažinamos, o išlieka pastovios ($Y_{IRI}^{(l)} = const.$), tačiau, stingant lėšų, neracionalu stiprinti KDK, todėl, laikui bėgant, pradinio dangos lygumo Y_p vertės didėja ($Y_p^{(0)} < Y_p^{(1)} < Y_p^{(2)} < Y_p^{(3)} < \dots < Y_p^{(i)}$). Kai KDK stiprio rodiklis K_{st} mažas ($K_{st} < 1,0$), laikui bėgant, sunku dangą suremontuoti taip, kad jos lygumas būtų ne blogesnis už jos lygumą, pasiektą įrengus AB dangą ir visą KDK – jeigu tai pavyksta pasiekti, tai labai trumpam – ne ilgesniam kaip 1 metų laikotarpiui, nes vėliau KD lygumas pradeda labai sparčiai blogėti.

Pateikto modelio antrasis atvejis (2.3 pav., b) taikytinas prognozuojant KD funkcionavimo trukmę tada, kai transporto priemonių eismo intensyvumas $N > 10$ projektinių automobilių (PA) per parą ir kai eismo intensyvumo didėjimas yra didelis, tačiau gana ilgą laikotarpį (keliolika ar keliasdešimt metų) norminiuose dokumentuose galioja tos pačios KD leistinojo lygumo vertės ($Y_{IRI}^{(l)} = const.$). Esant didelėms sunkiųjų transporto priemonių eismo intensyvumo N ir jo didėjimo vertėms, labai dažnai ekonomiškai tikslinga atliekant KD remontą sustiprinti KDK (įrengiant ploną viršutinį AB dangos sluoksnį) net ir tais atvejais kai KDK momentinis stipris dar yra pakankamas ($K_{st} \geq 1,0$), tačiau artimas kritiniam ($K_{st}^{(kr)} = 1,0$), kai prireikia skubiai padidinti KDK stiprį.

Pateikto modelio trečiasis atvejis (2.3 pav., c) taikytinas prognozuojant KD funkcionavimo trukmę tada, kai pradinis transporto priemonių eismo intensyvumas N nėra didelis, tačiau numatomas didelis eismo intensyvumo didėjimas, o transporto priemonių eismo sraute dominuoja lengvieji automobiliai, todėl, pasikeitus kelio kategorijai iš žemesnės į aukštesnę, padidėja reikalavimai KD lygumui (KD leistinojo lygumo $Y_{IRI}^{(l)}$ vertės, laikui bėgant, periodiškai mažėja ($Y_{IRI(0)}^{(l)} > Y_{IRI(1)}^{(l)} > Y_{IRI(2)}^{(l)} > Y_{IRI(3)}^{(l)} > \dots > Y_{IRI(i)}^{(l)}$). Esant nurodytai padėčiai, tam tik-

rą laiką ne visada tikslinga stiprinti KDK net ir tais atvejais, kai jos stipris nepakankamas ($K_{st} < 1,0$), tačiau kai jo vertės yra artimos 1,0 (kai $K_{st} \geq 0,95$). Šis modelis taip pat taikytinas tada, kai stinga lėšų KDK stiprinti ir turimos lėšos pirmiausia skiriamos tiems keliams, kurių KDK stipris nepakankamas ($K_{st} < 1,0$), tačiau jais vyksta intensyvus eismas (rodiklio N vertės didelės), o transporto priemonių sraute dominuoja sunkieji automobiliai.

Taikant pateikto modelio (2.3 pav.) pirmąjį, antrąjį ir trečiąjį (a, b ir c) atvejus galimi ir kiti automobilių kelių funkcionavimo sąlygų ir transporto priemonių eismo automobilių keliais variantai, tačiau, imant skirtingus šio pateikto modelio elementus ir prognozuojant KD funkcionavimo trukmę, pasiūlytą modelį galima naudoti daugumai pasitaikančių AB dangos ir KDK funkcionavimo sąlygų atvejų.

Numatyta (projektinė) KDK funkcionavimo trukmė T_K užtikrinama ir pasi-
ekiama tik tais atvejais, kai jos faktinis tampros modulis $E_K^{(f)}$ būna ne mažesnis už jos projektinį tampros modulį $E_K^{(pr)}$ ($E_K^{(f)} \geq E_K^{(pr)}$) arba kai jos faktinis stipris pagal $K_{st}^{(f)}$ būna ne mažesnis už jos projektinį stiprį pagal $K_{st}^{(pr)}$ ($K_{st}^{(f)} \geq K_{st}^{(pr)}$), o $E_K^{(pr)}$ būna ne mažesnis už reikiamą KDK tampros modulį $E_K^{(r)}$, nustatytą skaičiavimais, t. y. ($E_K^{(pr)} \geq E_K^{(r)}$) (arba kai rodiklis $K_{st}^{(pr)}$ būna ne mažesnis už reikiamą KDK stiprio koeficientą $K_{st}^{(r)}$, nustatytą skaičiavimais, t. y. $K_{st}^{(pr)} \geq K_{st}^{(r)}$) – tada būna išpildytos sąlygos: $T_K^{(E_f)} \geq T_K^{(E_p)} \geq T_K^{(E_r)}$ ir $T_K^{(K_f)} \geq T_K^{(K_p)} \geq T_K^{(K_r)}$ (būtina sąlyga keliams su AB danga $K_{st} = \frac{E_K^{(pr)}}{E_K^{(r)}} \geq 1,0$).

KDK faktinio tampros modulio $E_K^{(f)}$ vertės, laikui bėgant ir didėjančios KDK faktinei funkcionavimo trukmei $T_K^{(f)}$, mažėja: pradžioje lėtai, o vėliau vis greičiau. Sumažėjus KDK faktinio tampros modulio $E_K^{(f)}$ vidutinei vertei $\bar{E}_K^{(f)}$, jo standartinis nuokrypis σ_{E_f} dažniausia padidėja. Didėjančiam transporto priemonių eismo intensyvumui, KDK reikiamo tampros modulio $E_K^{(r)}$ vertė didėja. Kai, laikui bėgant, faktinio mažiausio KDK tampros modulio $E_K^{(f_{\min})}$ mažėjanti momentinė vertė, dažniausia užtikrinama su tikimybe $P = 90 - 99,9 \%$, susilygina su reikiamo tampros modulio $E_K^{(r)}$ didėjančia KDK verte ($E_K^{(f_{\min})} = E_K^{(r)}$) ir mažėja to-

$E_{K(2)}^{(f_2)\min}$ – atitinkamai vidutinis ir mažiausias KDK faktiniai tampros moduliai: pradiniai (1-ojo KDK tarpremontinio laikotarpio pradžioje) $\bar{E}_K^{(f_0)}$ ir $E_K^{(f_0)\min}$; praėjus $T_K^{(1)}$ metų (1-ojo KDK tarpremontinio laikotarpio pabaigoje) $\bar{E}_{K(T_1)}^{(f_1)}$, $E_{K(T_1)}^{(f_1)\min}$; pradiniai (2-ojo KDK tarpremontinio laikotarpio pradžioje, atlikus 1-ąjį kapitalinį KDK remontą) $\bar{E}_{K(1)}^{(f_1)}$, $E_{K(1)}^{(f_1)\min}$; praėjus $T_K^{(2)}$ metų (2-ojo KDK tarpremontinio laikotarpio ($T_K^{(2)} - T_K^{(1)}$) pabaigoje) $\bar{E}_{K(T_2)}^{(f_2)}$, $E_{K(T_2)}^{(f_2)\min}$; pradiniai (3-iojo tarpremontinio laikotarpio pradžioje, atlikus 2-ąjį kapitalinį KDK remontą) $\bar{E}_{K(2)}^{(f_2)}$, $E_{K(2)}^{(f_2)\min}$; $\sigma_{E_f^{(0)}}$, $\sigma_{E_f^{(T)}}$, $\sigma_{E_f^{(1)}}$, $\sigma_{E_f^{(2)}}^{(T)}$, $\sigma_{E_f^{(2)}}$ – atitinkamai KDK tampros modulių standartiniai nuokrypiai – laikotarpių pradžioje ir po T_K metų: pradinis (1-ojo KDK tarpremontinio laikotarpio pradžioje) $\sigma_{E_f^{(0)}}$; praėjus $T_K^{(1)}$ metų (1-ojo KDK tarpremontinio laikotarpio pabaigoje) $\sigma_{E_f^{(T)}}$; pradinis (2-ojo KDK tarpremontinio laikotarpio pradžioje) $\sigma_{E_f^{(1)}}$; praėjus $T_K^{(2)}$ metų (2-ojo tarpremontinio laikotarpio ($T_K^{(2)} - T_K^{(1)}$) pabaigoje) $\sigma_{E_f^{(2)}}^{(T)}$; pradinis (3-iojo KDK tarpremontinio laikotarpio pradžioje) $\sigma_{E_f^{(2)}}$.

Pagal modelį (2.4 pav.) KDK (tam tikro, sudarančio keliasdešimt (25–40) metų, laikotarpio metu) gali būti tiek kartų (n) kapitališkai suremontuota, kiek kartų (baigiantis tarpremontiniam laikotarpiui) tai bus pagrįsta techniškai ir kiek tai ekonomiškai apsimokės. Po tam tikro laiko, n -tojo tarpremontinio laikotarpio pabaigoje, gali atsitikti taip, kad transporto priemonių eismo intensyvumas kelyje išaugs tiek, kad prireiks kelio kategoriją pakeisti aukštesne kategorija. Aukštinant kelio kategoriją, dažniausia nepakanka padidinti KDK stiprį, o prireikia keisti kelio plano ir išilginio profilio parametrus, pakeisti kitus kelio geometrinius elementus: kelio važiuojamosios dalies plotį (eismo juostų plotį ir (arba) jų skaičių), kelkraščių plotį ir kt. (pagal galiojančių norminių dokumentų reikalavimus). Esant nurodytai padėčiai, reikia atlikti kelio rekonstrukciją. Po rekonstrukcijos kelio eksploatacinės charakteristikos pasikeičia iš esmės, todėl pasibaigia senojo kelio funkcionavimo trukmė. Visuotinai teigiama, kad rekonstruotas kelias – tai visiškai naujas kelias, nepriklausomai nuo to, kad visada stengiamasi panaudoti kuo dau-

giau senojo kelio konstrukcijos ar kitų (pavyzdžiui, vandens nuleidimo sistemos ar kitų) jos elementų ar įrenginių.

Taikant modelį (2.4 pav.) praktikoje, kai prognozuojama nestandžios KDK funkcionavimo trukmė T_K ir numatoma racionali vertė $T_K^{(r)}$, galimi įvairūs automobilių kelių funkcionavimo sąlygų ir transporto priemonių eismo bei jo didėjimo automobilių keliuose variantai, todėl faktinių tampros modulių mažėjimo $\bar{E}_K^{(f)} = f_1(T_K^{(1)})$, $E_K^{(f)\min} = f_2(T_K^{(1)})$, $\bar{E}_K^{(f)} = f_3(T_K^{(2)})$, $E_K^{(f)\min} = f_4(T_K^{(2)})$, $\bar{E}_K^{(f)} = f_5(T_K^{(3)})$, $E_K^{(f)\min} = f_6(T_K^{(3)})$, ..., $\bar{E}_K^{(f)} = f_7(T_K^{(i)})$, $E_K^{(f)\min} = f_8(T_K^{(i)})$, ..., $\bar{E}_K^{(f)} = f_{13}(T_K^{(n)})$, $E_K^{(f)\min} = f_{14}(T_K^{(n)})$ grafikai (kreivės) atitinkamai pirmuoju (nuo 0 iki $T_K^{(1)}$), antruoju (nuo $T_K^{(1)}$ iki $T_K^{(2)}$), trečiuoju (nuo $T_K^{(2)}$ iki $T_K^{(3)}$), ..., i -tuoju (nuo $T_K^{(i-1)}$ iki $T_K^{(i)}$), ..., n -tuoju (paskutiniu galimu) (nuo $T_K^{(n-1)}$ iki $T_K^{(n)}$) tarpremontiniais laikotarpiais gali turėti labai įvairų (rodiklio $E_K^{(f)}$ verčių didesnio ar mažesnio mažėjimo) pobūdį, o reikalingų tampros modulių didėjimo $E_{K(1)}^{(r)} = f_9(T_K^{(1)})$, $E_{K(2)}^{(r)} = f_{10}(T_K^{(2)})$, $E_{K(3)}^{(r)} = f_{11}(T_K^{(3)})$, ..., $E_{K(i)}^{(r)} = f_{12}(T_K^{(i)})$, ..., $E_{K(n)}^{(r)} = f_{15}(T_K^{(n)})$ grafikai (kreivės) atitinkamai pirmuoju (nuo 0 iki $T_K^{(1)}$), antruoju (nuo $T_K^{(1)}$ iki $T_K^{(2)}$), trečiuoju (nuo $T_K^{(2)}$ iki $T_K^{(3)}$), ..., i -tuoju (nuo $T_K^{(i-1)}$ iki $T_K^{(i)}$), ..., n -tuoju (paskutiniu galimu) (nuo $T_K^{(n-1)}$ iki $T_K^{(n)}$) tarpremontiniais laikotarpiais taip pat gali turėti skirtingą (rodiklio $E_K^{(r)}$ verčių kiek didesnio ar mažesnio didėjimo) pobūdį. Nuo rodiklių $E_K^{(f_0)\min}$, $E_{K(1)}^{(f_1)\min}$, $E_{K(2)}^{(f_2)\min}$, ..., $E_{K(i)}^{(f_i)\min}$, ..., $E_{K(n)}^{(f_n)\min}$ verčių (atitinkamais tarpremontiniais laikotarpiais) mažėjimo pobūdžio ir nuo rodiklių $E_{K(1)}^{(r)}$, $E_{K(2)}^{(r)}$, $E_{K(3)}^{(r)}$, ..., $E_{K(i)}^{(r)}$, ..., $E_{K(n)}^{(r)}$ verčių (šiais laikotarpiais) didėjimo pobūdžio tiesiogiai priklauso šių (1-ojo, 2-ojo, 3-iojo, ..., i -tojo, ..., n -tojo (paskutinio galimo)) tarpremontinių laikotarpių vertės. Racionali šių tarpremontinių laikotarpių trukmė $T_K^{(r)}$ priklauso nuo rodiklių $E_K^{(r)}$ ir $E_K^{(f)\min}$ būtinųjų verčių: $E_K^{(r)} = [E_K^{(r)}]$ ir $E_K^{(f)\min} = [E_K^{(r)}]$; $[E_K^{(r)}]$ – KDK reikalingo tampros modulio būtinoji vertė

KDK tarpremontinio laikotarpio pabaigoje (ši vertė reglamentuojama norminiuose dokumentuose arba pagrindžiama ekonominiais skaičiavimais – atskirais laikotarpiais, vienodo reikšmingumo ir vienodo eismo intensyvumo automobilių kelių ji gali būti skirtinga). Esant sąlygai $E_K^{(f)\min} < [E_K^{(r)}]$, reikia nedelsiant kapitališkai suremontuoti KDK. Todėl akivaizdu, kad, priklausomai nuo aptartų KDK funkcionavimo sąlygų, ekonominio tikslingumo ir kitų nurodytų veiksnių, tos pačios KDK atskirų tarpremontinių laikotarpių trukmė gali būti vienoda, tačiau gali ir gana gerokai (keleriais metais) skirtis. Pateiktas KDK stiprio kitėjimo grafinis modelis (2.4 pav.) yra universalus, todėl jį siūlome naudoti visų automobilių kelių, turinčių AB dangą, nestandžios KDK funkcionavimo trukmei $T_K^{(r)}$ prognozuoti. Prognozei reikalingi (iš ankstesnės patirties) KDK faktinio tampros modulio $E_K^{(f)\min}$ ir reikalingo tampros modulio $E_K^{(r)}$ didėjimo grafikai (2.4 pav.).

Automobilių kelių AB dangos ir nestandžios KDK racionaliai funkcionavimo trukmei, atitinkamai $T_D^{(r)}$ ir $T_K^{(r)}$, prognozuoti taip pat gali būti naudojami kelių AB dangos ir KDK būklės blogėjimo, laikui bėgant, grafiniai modeliai, rodantys AB dangos ir KDK suirties masto D didėjimą nuo dangos ir KDK įrengimo momento iki tol, kai šis rodiklis, išreikštas dangos ar KDK suirusio ploto %, pasiekia iš anksto nustatytas racionalias ribines vertes, atitinkamai $D_D^{(r)}$ ir $D_K^{(r)}$, kai nedelsiant reikia atlikti dangos profilaktinį arba KDK kapitalinį remontus.

2.3. Dangos asfaltbetonio ir asfaltbetonio dangos savybių rodiklių racionaliosios vertės

Svarbiausias AB dangos kokybės rodiklis – jos lygumas priklauso nuo KDK stiprio ir nuo asfaltbetonio sudėties, struktūros, fizinių ir mechaninių bei kitų jo kokybės rodiklių. Eksploatuojant AB dangą, atsiranda įvairių pažaidų ir jos lygumas pradeda blogėti.

Pakankamo AB dangos stiprio ir ilgalaikės funkcionavimo trukmės sąlygos užtikrinamos šiomis dangos savybėmis:

- jos patvarumu – gebėjimu ilgą laiką priešintis daug kartų pasikartojančioms susisiekimo priemonių apkrovoms ir dėl to atsirandantiems tempimo įtempiams ir tempimo deformacijoms;
- jos atsparumu šlyčiai – gebėjimu priešintis daug kartų pasikartojančių transporto priemonių apkrovų sukeltoms horizontaliosioms jėgoms;
- jos atsparumu pleišėjimui (plyšiams) – gebėjimu priešintis temperatūros pokyčių sukeltiems (ypač staiga šąlant) dangos įtempiams;

- jos atsparumu dilimui – gera bitumo sankiba su mineralinių medžiagų grūdeliais ir šių grūdelių gebėjimu priešintis (atsparumu) nuodylai;
- jos atsparumu senėjimui – ilgalaikiu rišiklio pradinių savybių išlaikymu;
- jos atsparumu erozinei irčiai – dangos vientisumo (monolitiškumo), esant daugkartiniam vandens ir šalčio poveikiui, išlaikymu.

Negarantuojant nurodytų sąlygų, danga labai greitai pradeda irti ir praranda stiprį bei lygumą.

Svarbiausi AB dangos ir KDK būklę charakterizuojantys rodikliai yra AB atsparumas tempimui lenkiant $R_l^{(a)}$, dangos konstrukcinių sluoksnių AB tampros modulis E_{AB} bei AB atsparumas nuovargiui $N^{(a)}$.

Asfaltbetonio rodiklių $R_l^{(a)}$, E_{AB} ir $N^{(a)}$ vertės nustatomos iš formulių (Petkevičius, Sivilevičius 2000):

$$R_l^{(a)} = R_0 a f_c \varphi_b \left[1 - \left(\frac{P_0(1+b)}{b+P_0} \right)^{2/3} \right], \quad (2.13)$$

$$E_{AB} = \frac{b a^{(1)} \varphi_b (1-P_0)}{b+P_0} \left(\frac{1}{E_M} + \frac{b}{3E_0 \varphi_c} \right), \quad (2.14)$$

$$N^{(a)} = \left(\frac{\varepsilon_b^{(\max)} E^{(a)} b}{3\sigma_a} \right)^n, \quad (2.15)$$

čia: R_0 , E_0 – rišiklio (rišamosios medžiagos) kohezinis stipris ir tampros modulis (esant nustatytos trukmės trumpalaikiai apkrovai); E_M – kietųjų grūdelių tampros modulis; P_0 – kompozicinės medžiagos tarpgrūdėlinis tuštymėtumas; $f_c = 1 + V_1/V(C-1)$ ir $\varphi_c = 1 + V_1/V(C^{(1)}-1)$ – funkcijos, charakterizuojančios rišiklio savybių adsorbciniuose solvatinuose sluoksniuose pasikeitimo įtaką kompozicinės medžiagos ribiniam atsparumui tempiant ir jos tampros moduliui; V_1/V – adsorbuoto rišiklio santykinis (visame jo tūryje) kiekis; $C = R_1/R_0$; $C^{(1)} = E_1/E_0$, R_1 ir E_1 – adsorbuoto rišiklio vidutinis (visame jo tūryje), atitinkamai, kohezinis stipris ir tampros modulis; b – bitumo kiekis, vieneto dalimis (pagal tūrį); a , $a^{(1)}$ – daugikliai, esantys rodiklių b , b_0 ir P_0 funkcijos: b_0 – optimalus bitumo kiekis, vieneto dalimis (pagal tūrį); φ_b – daugiklis (funkcija), mineralinių medžiagų grūdelių kontakto vietoje, priklausantis nuo bitumo plėvelės mažiausio ir vidutinio storių santykio; $\varepsilon_b^{(\max)}$ – bitumo plėvelių didžiausia

leistina tamprioji santykinė deformacija, esant vienkartiniai apkrovai; σ_a – tempimo įtempių lenkiant amplitudė; n – nuovargio koeficientas, $n = 4,0 - 6,3$.

Funkcijas f_c ir φ_c galima nustatyti iš formulės:

$$f_c = 1 + \frac{\omega m}{b}(C - 1), \quad \varphi_c = 1 + \frac{\omega m}{b}(C^{(1)} - 1), \quad (2.16)$$

čia: m – mineralinių miltelių santykinis kiekis, vieneto dalimis (apskaičiuojamas įvertinant mineralinių medžiagų visą tūrį); ω – koeficientas, priklausantis nuo bitumo savybių ir nuo mineralinių miltelių dispersiškumo (smulkumo) bei kilmės, $\omega = 0,5 - 0,9$.

Optimalų bitumo kiekį galima nustatyti iš formulės:

$$B = A(S_1 \gamma)^\alpha, \quad (2.17)$$

čia: S_1, γ – mineralinės medžiagos, atitinkamai, lyginamasis paviršius, cm^2/g ir vidutinis tankis, g/cm^3 ; $A = 0,021 - 0,024$; $\alpha = 0,28 - 0,30$ – koeficientai, priklausantys nuo mineralinių medžiagų ir bitumo savybių. Bitumo kiekiui nukrypus nuo jo optimalios vertės, asfaltbetonio kokybės rodiklių $R_l^{(a)}$ ir $E^{(a)}$ vertės gali pablogėti – formulėse (2.13 ir 2.14) tai įvertinta daugikliais a ir $a^{(1)}$.

Atvejams, kai bitumo kiekis sudaro 4,0–9,0 % asfaltbetonio masės, buvo sudarytos empirinės priklausomybės rodiklių a ir $a^{(1)}$ vertėms nustatyti:

$$a = \begin{cases} \frac{b}{b_0}, \\ \left(\frac{b_0 - P_0}{b - 0,03} \right)^{1/3}, & \text{kai } b > b_0 \text{ ir } P_0 < 0,03; \\ 1, \end{cases} \quad (2.18)$$

$$a^{(1)} = \begin{cases} \left(\frac{b}{b_0} \right)^{2/3}, \\ \left(\frac{b_0 - P_0}{b - 0,03} \right)^{2/3}, & \text{kai } b > b_0 \text{ ir } P_0 < 0,03. \\ 1, \end{cases} \quad (2.19)$$

Pasirinkdami reikiamos kokybės mineralines medžiagas ir bitumą bei, pasinaudoję formulėmis (2.13)–(2.19), modeliuodami AB sudėtį, gauname rodiklių $R_l^{(a)}$, E_{AB} ir $N^{(a)}$ reikiamas vertes ir galima prognozuoti AB dangos būklę ateityje (po 1, 2, ..., n metų).

Rusijoje (Рыбьев 2008; ОДН 218.046–01) nustatyta, kad, esant įvairioms temperatūroms, asfaltbetonio funkcionavimo sąlygas dangoje gerai modeliuoja šie jo kokybės rodikliai: atsparumas gniuždymui $+50^\circ$, 0° , -10°C temperatūrose – R_{50} , R_0 , R_{-10} ; tampros modulis E_{AB} , atsparumas tempimui lenkiant $R_l^{(a)}$, atsparumas nuovargiui $N^{(a)}$. AB erozinį atsparumą, t. y. jo atsparumą vandens bei šalčio poveikiui, iš dalies modeliuoja asfaltbetonio bandinių šie rodikliai: vandens įgerties rodiklis W , jų brinkimo rodiklis B_r , vandenyje įmirkusių bandinių atsparumas gniuždymui $+20^\circ\text{C}$ temperatūroje R_v ir atsparumo vandens poveikiui koeficientas K_v .

Vakarų Europos šalyse įsitikinta, kad asfaltbetonio gebėjimą funkcionuoti dangoje modeliuoja šie jo rodikliai: pastovumas S (*Marshall stability*), plastiškumas F (*Marshall flow*), tuštymėtumas V_a (*Marshall volume of air voids*) pagal Maršalą (TRA ASFALTAS 08) bei atsparumas nuovargiui $N^{(a)}$.

Iki šiol dar nėra tikslių priklausomybių tarp AB dangos funkcionavimo trukmės ir asfaltbetonio fizinių bei mechaninių rodiklių. Standartuose nustatyti reikalavimai asfaltbetonio fiziniams ir mechaniniams rodikliams dažniausia nebūna pakankamai pagrįsti, todėl juos reikia tikslinti, atsižvelgiant į konkrečias AB dangos funkcionavimo sąlygas.

Jeigu asfaltbetonio kokybės rodiklio vertės netelpa į tiksliai nustatytas normas (būna didesnės arba mažesnės), tai AB dangos būklė tiek pablogės, kad jai funkcionuojant trumpiau nei numatyta, reikės atlikti dangos profilaktinį arba KDK kapitalinį remontą.

Nustatant asfaltbetonio kokybės rodiklių K atitiktį techniniams reikalavimams, būna trijų tipų nelygybės su vienpusėmis arba dvipusėmis ribomis (apatinė mažiausia T_m ir viršutinė didžiausia T_d):

$$K \leq T_d \text{ (rodikliams } R_0, B_r \text{)} \quad (2.20)$$

$$K \geq T_m \text{ (rodikliams } R_v, R_{50}, K_v, R_l^{(a)}, E_{AB}, K_d, N^{(a)}, S \text{)}, \quad (2.21)$$

$$T_m \leq K \leq T_d \text{ (rodikliams } F, V_a, W, CA, FA, MF, B, B/MF \text{)}, \quad (2.22)$$

čia: K_d – AB sutankinimo rodiklis (koeficientas) (*density coefficient*); CA , FA , MF , B – atitinkamai grūdelių, stambesnių kaip 2 mm (skaldos frakcijos) (*Coarse aggregate (CA)*), 0,09–2 mm stambumo (smėlio frakcijos) (*Fine aggregate (FA)*),

smulkesnių kaip 0,09 mm (mineralinių miltelių frakcijos) (*Mineral filler (MF)*) ir bitumo B kiekiai asfaltbetonyje, masės %; S , F , V_a , W – asfaltbetonio, atitinkamai, pastovumas (*Marshall stability*), plastiškumas (*Marshall flow*) ir tušty-mėtumas (*Marshall volume of air voids*) pagal Maršalą, taip pat vandens įgertis.

Įrodyta, kad nuo asfaltbetonio sudėties ir struktūros, taip pat nuo AB struktūrą apibūdinančių rodiklių V_a , CA , FA , MF , B , B/MF , K_d bei nuo asfaltinių mišinių gamybai naudojamų pradinių medžiagų kokybės priklauso rodiklių W , B_r , K_v , R_v , R_{50} , R_{-10} , R_0 , S , F , $N^{(a)}$, $R_l^{(a)}$, E_{AB} vertės (Подарель 1989; Радзишевски 1989; Бахрах 2008; Kim *et al.* 2003) ir eksploatuojamos AB dangos būklė (Peffekoven 1974; Petkevičius, Podagėlis 2000; Бахрах 2008; Seo *et al.* 2007; Рыбьев 2008).

Daugelyje darbų (Petkevičius, Podagėlis 2000; Kim *et al.* 2003; Butkevičius 2007) įrodyta, kad nuo asfaltbetonio sudėties ir struktūros priklauso ne tik jo rodiklių $R_l^{(a)}$ ir E_{AB} vertės, bet ir jo atsparumas nuovargiui $N^{(a)}$.

Rusijoje, kitose Rytų bei Vakarų Europos šalyse ir JAV vieningai nustatyta, kad asfaltbetonio būtinąsias savybes pagal funkcionavimo dangoje sąlygas atspindi jo atsparumas nuovargiui $N^{(a)}$ – tai visoms nurodytoms šalims priimtinas rodiklis, todėl jis turėtų būti svarbiausiu kriterijumi nustatant AB optimalią sudėtį.

Daugelio mokslininkų darbais (Подарель 1989; Petkevičius, Podagėlis 2000; Kim *et al.* 2003; Butkevičius 2007; Petkevičius, Sivilevičius 2008) įrodyta, kad didžiausią atsparumą nuovargiui turi optimalios komponentinės sudėties asfaltbetonis, turintis ir kitų geriausių savybių bei užtikrinantis geriausią AB dangos būklę, vertinamą AB dangos suirties masto rodikliu D_D ar kitais artimais rodikliais.

Akivaizdu, kad parenkant AB sudėtį, galima valdyti AB dangos irties ir įtempių susidarymo bei koncentracijos dangos medžiagoje ir dangos asfaltbetonio deformacinių bei reologinių savybių kitėjimo procesą.

Darbuose (Подарель 1989; Petkevičius, Podagėlis 2000; Petkevičius, Sivilevičius 2008) pateiktas modelis, rodantis asfaltbetonio atsparumo nuovargiui priklausomybę nuo jo mechaninių rodiklių $R_l^{(a)}$ ir R_v bei nuo jo sudėties:

$$N^{(a)} = R_l^{(a)1,12} \cdot R_v^{1,25} \cdot 10^3, \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned} \ln N^{(a)} = & 11,51 + 0,437X_1 - 0,326X_1^2 - 0,292X_1^3 + 0,351X_2 - \\ & 0,764X_2^2 + 0,074X_2X_3 + 2,002X_3 - 0,872X_3^2 - 1,214X_3^3, \end{aligned} \quad (2.24)$$

čia: $N^{(a)}$ – asfaltbetonio atsparumas nuovargiui, išreikštas ciklinių apkrovų skaičiumi iki medžiagos suirties; R_v – įmirkusio vandenyje AB bandinio atsparumas

gniuždant $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūroje, MPa; X_1, X_2, X_3 – AB komponentai: stambesni kaip 5 mm grūdėliai CA (skaldos frakcija), smulkesni kaip 0,071 mm grūdėliai MF (mineralinių miltelių frakcija) ir bitumas B .

Buvo nustatyta (Подгаель 1989), kad didžiausią AB dangos funkcionavimo trukmę, veikiant ciklinei apkrovai iki asfaltbetonio suirties $T = 11$ metų, užtikrina šios komponentinės sudėties asfaltbetonis: $CA = 47,8$ masės %; $MF = 10,38$ masės % ir $B = 6,81$ masės %. Siekiant garantuoti AB dangos funkcionavimo trukmę $T \geq 8,5$ metų (atlikti tyrimai (Petkevičius, Sivilevičius 2008) parodė, kad tai reali AB dangos funkcionavimo trukmė), būtina užtikrinti, kad gaminamų asfaltinių mišinių komponentinė sudėtis būtų nustatytą leistinųjų ribų (2.1 lentelė).

2.1 lentelė. AB dangos funkcionavimo trukmę $T \geq 8,5$ metų užtikrinanti, veikiant ciklinei apkrovai, dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio sudėtis (Petkevičius, Podagėlis 2000)
Table 2.1. Composition of asphalt concrete in the wearing layer of pavement ensuring service life of AC pavement for $T \geq 8.5$ years under cyclic load (Petkevičius, Podagėlis 2000)

Asfaltbetonio komponentai	Komponento kiekis, masės %			
	racionalus	leistinasis didžiausias	leistinasis mažiausias	leistinoji sklaida
Stambesni kaip 2 (5) mm grūdėliai CA	64,0 (47,5)	71,5 (55,0)	56,5 (40,0)	15,0
0,09–2 (0,071–5) mm stambumo grūdėliai FA	24,5 (42,5)	34,0 (52,0)	15,0 (33,0)	19,0
Smulkesni kaip 0,09 (0,071) mm grūdėliai MF	11,5 (10,0)	13,5 (12,0)	9,5 (8,0)	4,0
Bitumas B	6,9	7,3	6,5	0,8

Siekiant garantuoti AB dangos funkcionavimo trukmę $T \geq 8,5$ metų, būtina užtikrinti ir reikiamą asfaltbetonio vienodumą, kurį galima išreikšti leistinąja sklaida δ , leistiniuju komponentų (CA, FA, MF, B) vidutinės vertės nuokrypiu nuo racionalios (projektinės) jo vertės Δ_{leist} bei komponentų leistiniuju vidutiniu kvadratinu nuokrypiu σ_{leist} .

Rodiklio δ vertes galima nustatyti taip:

$$\delta = T_d - T_m, \quad (2.25)$$

čia: T_d ir T_m – asfaltbetonio komponento kiekio didžiausia T_d ir mažiausia T_m leistinoji vertė (2.1 lentelė).

Žinant leistinąją atsitiktinio dydžio x patekimo į normalaus skirstinio intervalą, ribojamą zonomis T_m ir T_d , tikimybę $P(T_m < x < T_d)$, kai $P \geq P_{leist}$, galima nustatyti rodiklius Δ_{leist} ir σ_{leist} :

$$P(T_m < x < T_d) = F(t_2) - F(t_1) = F(t), \quad (2.26)$$

$$t_1 = \frac{(\Delta_{leist} + X_p) - T_m}{\sigma_{leist}}, \quad t_2 = \frac{T_d - (\Delta_{leist} + X_p)}{\sigma_{leist}}, \quad (2.27)$$

čia: $F(t)$ – Laplaso funkcija, kurios vertės nustatomos naudojantis matematinės statistikos lentelėmis; X_p – komponento kiekio projekcinė (racionali) vertė, dažniausia sutampanti su ribinių leistinųjų verčių aritmetiniu vidurkiu:

$$X_p = \frac{T_m + T_d}{2}. \quad (2.28)$$

Esant tikimybei $P = 99,73\%$, galima nustatyti rodiklių Δ_{leist} ir σ_{leist} tarpusavio priklausomybę (Petkevičius, Podagėlis 2000):

$$\Delta_{leist} = \delta - 6\sigma_{leist}, \quad \sigma_{leist} = \frac{\delta - \Delta_{leist}}{6}, \quad \Delta_{leist} = Z_p \sigma_{leist}, \quad (2.29)$$

čia: Z_p – normalaus skirstinio rodiklis, jo vertės nustatomos iš matematinės statistikos lentelių, $Z_p = 0,674$.

Rodiklių δ , Δ_{leist} ir σ_{leist} vertės, pasiūlytos darbe (Petkevičius, Sivilevičius 2008), pateiktos 2.2 lentelėje.

Darbe (Petkevičius, Sivilevičius 2008) nurodyta, kad užtikrinant nurodytų ribų asfaltbetonio sudėtį ir vienodumą (2.1 ir 2.2 lentelės), bus garantuota AB dangos funkcionavimas, veikiant ciklinei automobilių ratų apkrovai, trukmė $T \geq 8,5$ metų. Siekiant garantuoti didžiausią asfaltbetonio atsparumą nuovargiui, šią AB nurodytų ribų sudėtį reikėtų laikyti racionali.

2.2 lentelė. Rodiklių δ , Δ_{leist} ir σ_{leist} vertės

Table 2.2. Permissible values of indices δ , Δ_{leist} and σ_{leist}

Rodiklių žymuo	Stambesni kaip 2(5) mm grūdėliai CA	0,09–2(0,071–5) mm stambumo grūdėliai FA	Smulkesni kaip 0,09 (0,071–5) mm grūdėliai MF	Bitumas B
δ	15,00	19,00	4,00	0,80
Δ_{leist}	1,50	1,90	0,40	0,08
σ_{leist}	2,25	2,85	0,60	0,12

Darbe (Petkevičius, Sivilevičius 2008) nustatyta asfaltbetonio, pagaminto iš 3–10 ir 10–20 mm stambumo granitinės skaldos, iš 0–3 mm stambumo granitinių išlakų, aktyvintųjų mineralinių miltelių ir B 70/100 markės bitumo, racionali sudėtis ir leistinasis jo sudėties vienodumas. Toks asfaltbetonis rekomenduojamas Lietuvos ir kaimyninių šalių pasienio su Lietuva teritorijų automobilių kelių, esančių didesnės kaip vidutinės drėgmės zonoje, dangos viršutiniams sluoksniams įrengti (2.3 lentelė).

2.3 lentelė. Kelių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio racionali sudėtis (Petkevičius, Sivilevičius 2008)

Table 2.3. Rational composition of the wearing layer of road pavement (Petkevičius, Sivilevičius 2008)

Asfaltbetonio komponentai	Komponento kiekis, masės %			
	Racionali sudėtis	Leistinasis didžiausias T_d	Leistinasis mažiausias T_m	Leistinoji sklaida δ
Stambesni kaip 2 (5) mm grūdėliai <i>CA</i>	58,0 (41,5)	62,0 (45,5)	54,0 (37,5)	8,0
0,09–2 (0,071–5) mm stambumo grūdėliai <i>FA</i>	29,0 (47,0)	35,0 (53,0)	23,0 (41,0)	12,0
Smulkesni kaip 0,09 (0,071) mm grūdėliai <i>MF</i>	13,0 (11,5)	15,0 (13,5)	11,0 (9,5)	4,0
Bitumas <i>B</i>	6,2	6,8	5,6	1,2

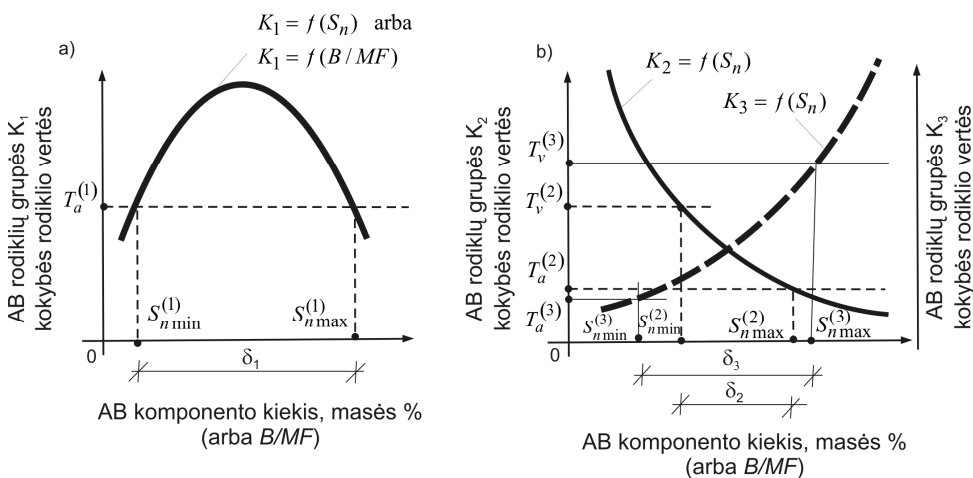
Palyginus 2.1 ir 2.3 lentelėse pateiktas Lietuvos automagistralėms ir kitiems didelio eismo intensyvumo automobilių keliams siūlomas viršutinio sluoksnio asfaltbetonio racionalias komponentines sudėtis ir siūlomas komponentų kitėjimo leistinąsias ribas, matoma, kad jos skiriasi gana nedaug. Tiriant automagistralių AB dangą (Petkevičius, Sivilevičius 2008), jos ruožų, kurių viršutinio sluoksnio asfaltbetonyje būtų komponento *CA* > 45,5 masės % ir bitumo *B* > 6,8 masės % tiesiog nebuvo rasta, nes įrengiant AB dangą, buvo taupomos brangios medžiagos granitinė skalda ir bitumas, įdedant šių medžiagų į asfaltinį mišinį mažiau nei buvo nustatyta AB projektinėje sudėtyje, todėl 2.1 lentelėje pateikta asfaltbetonio sudėtis, nustatyta laboratorinėmis sąlygomis, tikrai laiduoja didžiausią AB dangos funkcionavimo trukmę didelio eismo intensyvumo (ypač sunkiųjų transporto priemonių (STP)) automobilių keliuose.

Turint automagistralių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio leistinąją sudėtį, nustatomos šių fizinių ir mechaninių jo rodiklių pagal Maršalą leistinosios vertės: pastovumo *S*, plastiškumo *F*, tuštymetumo V_A , taip pat pastovumo ir plas-

tiškumo santykio (Marshall quotient $Q = \frac{S}{F}$, KN/mm). Šie rodikliai Lietuvoje jau taikomi nuo 1995 metų, tačiau pagrįstos leistinosios jų vertės iki šiol dar nenustatytos. Nustatant šių asfaltbetonio kokybės rodiklių leistinąsias vertes, tikslinga išsiaiškinti, kaip jie susiję su AB dangos realia funkcionavimo trukme (arba su dangos lygumo Y_{IRI} ir dangos lygumo blogėjimo rodiklio ΔY_{IRI} vertėmis, nes šios vertės lemia AB dangos realią funkcionavimo trukmę).

Išlaikant optimalius asfaltbetonio sudėtį, sutankinimo rodiklį (koeficientą) K_d bei užtikrinant reikiamą nestandžios KDK stiprį, įvertinamą stiprio koeficientu K_{st} , ir reikiamą pradinį dangos lygumą $Y_{IRI}^{(0)}$, bus laiduotas reikiamas asfaltbetonio atsparumas tempimui lenkiant $R_l^{(a)}$ ir reikiamas dangos lygumas Y_{IRI} ją eksploatuojant ne trumpiau kaip nustatytą (realų) norminį tarpremontinį laikotarpį.

Nustatant asfaltbetonio racionalias sudėtis ir jų komponentų kitėjimo racionalias ribas, siūlome naudotis (2.25)–(2.29) formulėmis. Nustačius optimalią asfaltbetonio sudėtį ir jo komponentų kitėjimo leistinąsias ribas arba šiuos AB kokybės rodiklius paėmus iš 2.1 ir 2.2 lentelių, reikia nustatyti asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių pagal Maršalą S , F ir V_A leistinąsias vertes. Nustatant nurodytų rodiklių leistinąsias vertes, siūlome pasinaudoti mūsų pateiktomis asfaltbetonio kokybės rodiklių ir jo komponentinės sudėties rodiklių CA , MF , B , FA ir B/MF sieties schemomis (2.5 ir 2.6 pav.).



2.5 pav. AB fizinių ir mechaninių rodiklių pagal Maršalą (K_1 , K_2 ir K_3) verčių ir jo komponentinės sudėties rodiklių (sandų) S_n verčių sieties (koreliacinių priklausomybių) schemas

Fig. 2.5. Schemes of correlation dependences between the Marshall values (K_1 , K_2 and K_3) of physical and mechanical properties of AC and S_n values of its composition

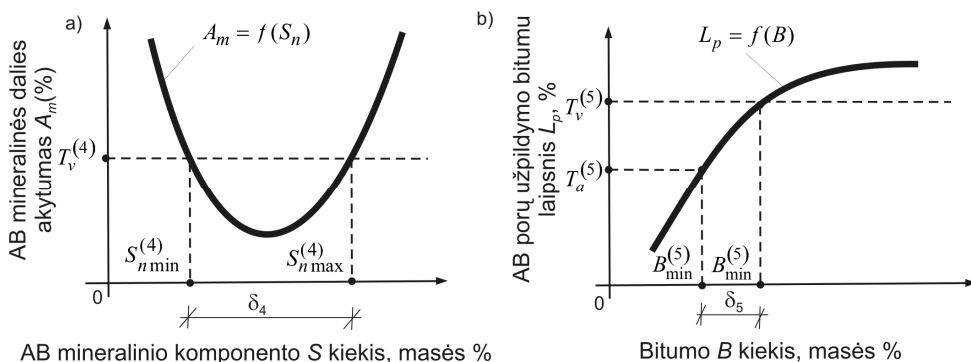
2.5 pav. pateikti šie žymenys: a) asfaltbetonio rodiklių grupės K_1 kokybės rodikliams stabilumui S ir sutankinimo koeficientui K_d ; b) AB rodiklių grupių K_2 ir K_3 kokybės rodikliams: K_2 – tuštymėtumo rodikliui V_a , K_3 – plastiškumui F ; panaudoti žymenys: $T_a^{(1)}$, $T_a^{(2)}$, $T_a^{(3)}$ – rodiklių grupių K_1 , K_2 ir K_3 AB kokybės rodiklio verčių apatinė leistinoji riba; $T_v^{(2)}$ ir $T_v^{(3)}$ – rodiklių grupių K_2 ir K_3 AB kokybės rodiklio verčių viršutinė leistinoji riba; δ_1 , δ_2 , δ_3 – AB rodiklių grupių K_1 , K_2 ir K_3 kokybės rodiklių AB komponentinės sudėties rodiklių S_n (arba B/MF) verčių kitėjimo racionalios leistinosios ribos. K_2 grupės rodiklis V_a – fizinis rodiklis K_3 , grupės rodiklis F – mechaninis, o K_1 grupės – mechaninis (S) ir fizinis (K_d).

2.5 pav. pateiktomis priklausomybėmis su AB komponentų S_n kiekių vertėmis (ir su B/MF verte) susieti ir kiti AB dangos ir netgi nestandžios KDK kokybės rodikliai:

- paveikslo a) dalyje pateikta priklausomybė – AB atsparumo tempimui lenkiant $R_l^{(a)}$, jo tampros modulio E_{AB} ir jo atsparumo nuovargiui $N^{(a)}$ vertės, taip pat asfaltbetonio vidutinis tankis ρ_a ir jo mineralinės dalies vidutinis tankis ρ_m ; KDK tampros modulis E_K ir jos stipris, išreikštas jos stiprio koeficiento K_{st} verte;
- paveikslo b) dalyje pateikta priklausomybė $K_2 = f(S)$ – AB dangos lygumo Y_{IRI} (m/km) vertės su viršutinio sluoksnio asfaltbetonio komponento CA kiekiu (masės %);
- paveikslo b) dalyje pateikta priklausomybė $K_3 = f(S)$ – AB dangos lygumo Y_{IRI} (m/km) vertės su viršutinio sluoksnio asfaltbetonio komponento FA kiekiu (masės %).

2.5 pav. pateiktos charakteringos priklausomybės nustatytos atlikus mūsų ir kitų autorių (Peffekoven 1974; Подагель 1989; Радзишевски 1989; Čygas 1997; Taha *et al.* 2002; Рыбьев 2008) tyrimų duomenų analizę. Visapusiškai analizuojant viršutinio sluoksnio asfaltbetonio kokybę reikia nustatyti asfaltbetonio kokybės rodiklių – jo mineralinės dalies akytumo A_m (%) bei jo porų užpildymo bitumu laipsnio Lp (%) ir jo komponentinės sudėties rodiklių S_n verčių sietį. Ši sietis pateikta mūsų pasiūlytose charakteringose schemose (2.6 pav.).

2.6 pav. pateiktos šios priklausomybės: a) AB mineralinės dalies akytumo A_m (%) ir AB mineralinių komponentų S_n , t. y. CA , FA , MF verčių (masės %) sieties; b) AB porų užpildymo bitumu laipsnio Lp (%) ir bitumo B kiekio (masės %)



2.6 pav. AB kokybės rodiklių A_m bei L_p verčių ir jo komponentinės sudėties rodiklių S_n verčių sieties (koreliacinių priklausomybių) schemas

Fig. 2.6. Schemes of correlation dependences between AC quality indices A_m and L_p and S_n values of its composition

sieties. Pateikti žymenys: $T_v^{(5)}$ ir $T_a^{(5)}$ – AB porų užpildymo bitumu laipsnio L_p (%) viršutinė $T_v^{(5)}$ ir apatinė $T_a^{(5)}$ leistinosios ribos.

Atliktuose tyrimuose (Peffekoven 1974) nurodytos šios rekomenduojamos rodiklių $T_a^{(5)}$ ir $T_v^{(5)}$ vertės: $T_a^{(5)} = 75 \%$; $T_v^{(5)} = 82 \%$, o ribiniu atveju gali būti $T_v^{(5)} \leq 85 \%$, t. y. rodiklio L_p vertės turėtų būti $L_p = 75 - 82 \%$, o ribiniu atveju – $L_p = 75 - 85 \%$. Šiuose tyrimuose rekomenduojama, kad viršutinio sluoksnio asfaltbetoniui reikia garantuoti nurodytas rodiklio L_p ribas, o rodiklio A_m kitėjimo leistinosios ribos nenurodytos, tik rekomenduojama, kad viršutinio sluoksnio AB rodiklio A_m kitėjimo apatinė leistinoji riba būtų $A_m \geq 17 - 18 \%$. Kituose tyrimuose (Радовский, Сердюк 1997) nurodyta, kad rodiklio A_m viršutinė leistinoji riba $A_m \leq 21 \%$. Nurodyti tyrimai (Peffekoven 1974; Радовский, Сердюк 1997) parodė, kad rodiklio A_m kitėjimo leistinosios ribos dar tiksliai nenustatytos.

Mūsų atlikti tyrimai parodė, kad, priklausomai nuo dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio komponento bitumo B verčių kitėjimo (masės %), pagal 2.6 pav. a) dalyje pateiktą išraišką, taip pat kitėja automagistralių AB dangos lygumas (pagal rodiklį IRI) Y_{IRI} .

Pasinaudojus 2.5 ir 2.6 pav. pateiktomis asfaltbetonio kokybės verčių kitėjimo charakteringomis priklausomybėmis ir žinant AB fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą, taip pat kitų AB kokybės rodiklių, kitėjimo leistinąsias ribas T_a ir T_v , galima nustatyti AB komponentinės sudėties rodiklių (sandų) S_n kitė-

jimo racionalias ribas $S_{n\min}$ ir $S_{n\max}$ bei šių rodiklių S_n verčių kitėjimo leistinės sklaidos rodiklio δ racionalias vertes (iš mūsų siūlomų formulių):

$$\delta_1 = S_{n\max}^{(1)} - S_{n\min}^{(1)}, \quad (2.30)$$

$$\delta_2 = S_{n\max}^{(2)} - S_{n\min}^{(2)}, \quad (2.31)$$

$$\delta_3 = S_{n\max}^{(3)} - S_{n\min}^{(3)}, \quad (2.32)$$

$$\delta_4 = S_{n\max}^{(4)} - S_{n\min}^{(4)}, \quad (2.33)$$

$$\delta_5 = B_{n\max}^{(5)} - B_{n\min}^{(5)}, \quad (2.34)$$

čia: $S_{n\max}^{(1)}$, $S_{n\max}^{(2)}$, $S_{n\max}^{(3)}$, $S_{n\max}^{(4)}$ – asfaltbetonio komponento (sando) S_n kiekio kitėjimo didžiausia leistinoji vertė, kai AB kokybės rodiklių kitėjimo grafinė išraiška atitinka rodiklių grupių K_1 , K_2 , K_3 kokybės rodiklių ir rodiklio A_m kitėjimo pobūdį; $B_{n\max}^{(5)}$ – bitumo B kiekio kitėjimo (masės %) didžiausia vertė, kai rodiklio Lp kitėjimo grafinė išraiška atitinka priklausomybės $Lp = f(B)$ kitėjimo pobūdį; $S_{n\min}^{(1)}$, $S_{n\min}^{(2)}$, $S_{n\min}^{(3)}$, $S_{n\min}^{(4)}$, $B_{n\min}^{(5)}$ – asfaltbetonio komponento (sando) S_n kiekio ir bitumo B kiekio mažiausios leistinės vertės, kai AB rodiklių grupių K_1 , K_2 , K_3 kokybės rodiklių ir rodiklių A_m bei Lp grafinės išraiškos atitinka 2.5 ir 2.6 pav. pateiktų jų priklausomybių kitėjimo pobūdį; $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5$ – AB rodiklių grupių K_1 , K_2 ir K_3 kokybės rodiklių ir rodiklių A_m bei Lp verčių leistinės sklaidos δ vertės.

Žinant rodiklių $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5$ vertes ir jas užtikrinant asfaltinių mišinių gamybos bei AB dangos įrengimo metu), galima valdyti automobilių kelių AB dangos būklę, reguliuoti jos irties procesą ir garantuoti pakankamai ilgą (ne mažesnę kaip 8 metai) AB dangos funkcionavimo trukmę.

Apibendrinus pateiktus atliktų tyrimų rezultatus teigiame, kad mūsų ir daugelio kitų autorių tyrimais įrodyta, jog tarp dangos asfaltbetonio ir AB dangos savybių, kurias parodo šio asfaltbetonio ir dangos kokybės rodikliai, yra glaudi sietis. Kuo geresnės asfaltinio mišinio, naudojamo kelių dangai įrengti, savybės (optimali komponentinė sudėtis, naudojamų medžiagų kuo geresnės savybės ir kt.) ir kuo geresni jas išreiškiantys kokybės rodikliai (fiziniai bei mechaniniai rodikliai pagal Maršalą ir kt.), tuo geresni būna dangos asfaltbetonio, esant tinkamai dangos įrengimo technologijai, kokybės rodikliai (fiziniai bei mechaniniai rodikliai pagal Maršalą, asfaltbetonio sutankinimo koeficientas ir kt.) ir asfaltbetonio dangos

kokybės rodikliai (geresnis dangos lygumas, stabilesnis dangos sluoksnio storis bei kt.).

Kuo geresnės kokybės medžiagos (skalda, atsijos bei mineraliniai milteliai ir bitumas) naudojamos asfaltiniams mišiniams gaminti, tuo geresni pasiekiami šių mišinių fiziniai bei mechaniniai rodikliai ir tuo geresnės kokybės gaunami asfaltbetoniniai, o kuo blogesnės kokybės naudojamos pradinės medžiagos šiems mišiniams gaminti, tuo blogesnės kokybės gaunami asfaltiniai mišiniai ir asfaltbetoniniai. Šie tyrimai taip pat parodė, kad, esant optimaliai (ar bent artimai optimaliai) asfaltinių mišinių komponentinei sudėčiai, iš įvairios kokybės (labai geros, geros ar prastos) pradinių medžiagų pagaminti asfaltiniai mišiniai pasiekia savo geriausias (kurias jie gali pasiekti) savybes ir gaunami geriausi jų fiziniai bei mechaniniai ir kiti kokybės rodikliai.

2.4. Antrojo skyriaus išvados

1. AB dangos ir KDK funkcionavimo trukmė priklauso nuo daugelio veiksnių: dangos bei KDK sluoksnių medžiagų ir žemės sankasos gruntu savybių, jų sluoksnių storio ir jų sutankinimo lygio, klimato veiksnių, transporto priemonių apkrovų bei nuo vietos sąlygų (gruntinio vandens lygio ir vietovės drėkinimo sąlygų), taip pat nuo AB dangos lygumo.
2. AB dangos ir KDK irtį skatina ir būklę blogina kelių veiksnių, veikiančių tuo pačiu metu, bendrasis poveikis: AB dangą ir KDK vienu metu veikiant klimato bei orų veiksniams ir transporto priemonių apkrovoms, bendrasis ardymo poveikis gali būti daug žalingesnis nei veikiant kiekvienam veiksniai atskirai. Patogiausias objektyvus kelių AB dangos būklės vertinimo rodiklis VGTU mokslininkų pasiūlytas dangos suirties masto rodiklis D_D .
3. AB dangos ir KDK svarbiausios savybės parodo dangos ir KDK gebą priešintis transporto priemonių apkrovų ir aplinkos veiksnių poveikiui ir šiuos poveikius atlaikyti, nesuardžius AB ir kitų sluoksnių medžiagų struktūros ar kitaip nepakeitus šių medžiagų savybių, tai: AB dangos lygumo blogėjimo, jos irties didėjimo, jos nuodylos greičio, jos vėžetumo didėjimo ir kiti rodikliai, asfaltbetonio atsparumo nuovargiui, jo atsparumo tempimui lenkiant, jo atsparumo šlyčiai ir kiti rodikliai; KDK stiprio mažėjimo, jos irties didėjimo ir kiti rodikliai.
4. Nustačius AB dangos ir KDK svarbiausias savybes apibūdinančių kokybės rodiklių vertes ir panaudojus mūsų pasiūlytas formules (2.1)–(2.12), galima prognozuoti AB dangos ir KDK realią funkcionavimo trukmę.

5. Pagal pasiūlytus kelių dangos lygumo blogėjimo, ją eksploatuojant, grafinius modelius (2.3 pav.) galima suprognozuoti realią AB dangos, o pagal mūsų pasiūlytą nestandžios KDK stiprio mažėjimo, ją eksploatuojant, grafinį modelį (2.4 pav.) – realią KDK funkcionavimo trukmę.
6. Priklausomai nuo KDK funkcionavimo sąlygų (transporto priemonių eismo intensyvumo, jų srauto sudėties ir kt.) kitėjimo, ekonominio tikslingumo ir kitų veiksnių laikui bėgant, tos pačios KDK atskirų tarpremontinių laikotarpių trukmė gali būti vienoda, tačiau gali ir ženkliai (keleriais metais) skirtis.
7. Naudojant geriausios kokybės mineralines medžiagas ir bitumą, Lietuvos automagistralių AB dangai skirta šių mišinių optimali sudėtis ir jų komponentų kiekių kitėjimo leistinosios ribos jau nustatytos. Kitiems keliams su AB danga, turint reikiamos kokybės mineralines medžiagas ir bitumą bei pasinaudojus siūlomomis formulėmis (2.13)–(2.22), modeliuojant asfaltbetonio sudėtį, galima gauti reikiamas rodiklių $R_l^{(a)}$, $E^{(a)}$ ir $N^{(a)}$ vertes ir prognozuoti AB dangos būklę po 1, 2, ..., n metų.
8. Geriausias kelių AB dangos lygumas, ją įrengus ir ją eksploatuojant, bei kuo ilgesnė jos funkcionavimo trukmė, pasiekiami susiejus asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių pagal Maršalą S , F , V_a ir kitų svarbių AB kokybės rodiklių vertes su AB dangos lygumu pagal IRI Y_{IRI} , o dangos funkcionavimo trukmės nustatytas vertes panaudojus nustatant AB kokybės rodiklių leistinąsias vertes.

Kelių dangos eksploatacinės būklės ir dangos asfaltbetonio savybių eksperimentiniai tyrimai

Šiame skyriuje atlikti tyrimai automobilių kelių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos būklės bei savybių nustatymo metodikai patobulinti. Aptarta metodika dangos asfaltbetonio sudėčiai ir fiziniams bei mechaniniams ir kitiems rodikliams nustatyti, taip pat metodika, skirta tyrimo duomenims apdoroti ir išanalizuoti. Ištirti šie automagistralių asfaltbetonio dangos būklės ir savybių rodikliai: nustatytos lygumo, išmatuoto 3 ir 4 m ilgio kartelėmis, rodiklių vertės, lygumo pagal tarptautinį indeksą IRI rodiklio Y_{IRI} (m/km) vertės, dangos suirties masto D_D vertės, dangos vėžtumo rodiklių vertės. Atlikti dangos asfaltbetonio sudėties bei savybių rodiklių tyrimai: nustatyta asfaltbetonio komponentinė sudėtis (komponentų CA , FA , MF ir B kiekiai, masės %), fiziniai bei mechaniniai rodikliai pagal Maršalą pastovumas S , plastiškumas F ir tuštymėtumas V_a , taip pat dangos sutankinimo laipsnis (koeficientas) K_d . Atlikti dangos asfaltbetonio (AB) komponentinės sudėties rodiklių ir AB savybių rodiklių verčių sieties tyrimai.

Taip pat atlikta automagistralių dangos asfaltbetonio ir asfaltbetonio dangos bei jos konstrukcijos savybių rodiklių sisties analizė: dangos lygumo Y_{IRI} ir jos suirties masto D_D , dangos asfaltbetonio fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą, dangos sutankinimo koeficiento K_d , dangos asfaltbetonio komponentinės sudėties rodiklių CA , FA , MF , B (masės %), taip pat dangos funkcionavimo trukmės T_D verčių sisties analizė. Pateiktos šios sisties koreliacinės ir regresinės priklausomybės daugeliu atvejų rodo, kad analizuojami rodikliai glaudžiai tarpusavyje susiję.

Skyriaus tematika paskelbta dešimt autoriaus straipsnių (Петкявичюс Э.; Петкявичюс Р. 2004; Петкявичюс Р.; Петкявичюс Э. 2005; Petkevičius E., Petkevičius R. 2005; Petkevičius *et al.* 2005; Подагелис *et al.* 2006; Петкявичюс Э., Петкявичюс Р. 2006; Petkevičius *et al.* 2006; Petkevičius *et al.* 2007; Petkevičius *et al.* 2008; Petkevičius *et al.* 2009).

3.1. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos eksploatacinės būklės tyrimų metodika

Tiriant automobilių kelių AB dangos eksploatacinę būklę, taikomi šie du labiausiai paplitę būdai: turint modernią šiuolaikę įrangą (lazerinį profilografą DYNATEST 5051 RSP ir mobilią laboratoriją RST-28), dangos lygumo rodiklio Y_{IRI} , jos suirties masto rodiklio D_D , jos vėžtumo ir kitų rodiklių vertes operatyviai galima nustatyti naudojant šią įrangą; neturint modernios ir brangios tyrimų įrangos (Lietuvoje šią įrangą turi tik Transporto ir kelių tyrimų institutas (TKTI)), automobilių kelių AB dangos būklę galima nustatyti naudojant šiuos prietaisus: dangos lygumui – 3 ar 4 m ilgio kartelę; vėžtumui – 2 m ilgio kartelę; dangos suirties mastui D_D – ratelio tipo matuoklį arba 50 m ilgio matavimo juostą ir 15–25 m ilgio ruletę (taikoma šio darbo pirmajame skyriuje pateikta (1.1) formulė).

Automagistralių AB dangos eksploatacinės būklės tyrimai pradėti 1999 m. Buvo matuojamas dangos lygumas 3 ir 4 m ilgio kartele, dangos vėžtumas 2 m ilgio kartele ir naudojant 1.1 formulę nustatytas dangos suirties mastas D_D . Tyrimai buvo tęsiami tuose pačiuose pasirinktuose 103 automagistralių dangos bandymų ruožuose su skirtingos būklės danga (nesuirusia danga – $D_D < 1\%$, nedaug suirusia danga – $D_D = 1–3\%$, geros būklės danga – $D_D = 3–5\%$, pakankamos būklės danga – $D_D = 5–8\%$, patenkinamos būklės danga – $D_D = 8–12\%$, ribinės (kritinės) būklės danga – $D_D = 12–16\%$, nepatenkinamos būklės danga – $D_D = 16–20\%$, blogos būklės danga – $D_D = 20–25\%$, labai blogos būklės dan-

ga – $D_D = 25 - 30$ % ir visai blogos būklės danga – $D_D > 30$ %. Kelyje „Vilnius–Kaunas“ (A1) atsitiktiniu būdu (naudojant atsitiktinių skaičių lenteles) buvo parinkti (su įvairios būklės danga) 25 AB dangos, esančios kraštinėje eismo juostoje, ruožai, automagistralėje „Kaunas–Klaipėda“ (A1) – 35 tokios AB dangos ruožai ir automagistralėje „Vilnius–Panevėžys“ (A2) – 43 analogiškos AB dangos ruožai. Bandymų ruožai buvo parinkti taip, kad kiekviename kelyje jų skaičius būtų $n \geq 25$. Esant tokiam bandymų ruožų skaičiui, gana tiksliai (kiekviename kelyje) įvertinama AB dangos būklė.

Automagistralių AB dangos būklė pasirinktuose ruožuose buvo ištirta 1999 m., 2001 m., 2003 m., 2005 m. ir 2007 m. Bėgant metams ir suremontuojant labiausiai suirusios AB dangos bandymų ruožus, būdavo parenkami nauji labai suirusios dangos ruožai.

Bandymų ruožai parinkti taip, kad ruožo viduje jo AB dangos suirties mastas ir pobūdis skirtųsi nedaug.

Susiskirsčius automagistralės į charakteringus ruožus su artimu TP eismo intensyvumu, vienodomis KDK ir vienodomis geometrinėmis charakteristikomis, charakteringuose ruožuose parinkti bandymų ruožai. Taip pat nustatėme bandymų ruožų ilgį bei numatėme, po kiek bandymų kiekviename ruože reikia atlikti. Siekdami įvertinti ilgai funkcionuojančius kelių dangos (KD) ruožus bei nustatyti ilgalaikio dangos funkcionavimo be suirties priežastis, tyrėme ilgalaikius, ne mažiau kaip 10 metų funkcionuojančius dangos ruožus, o kai tokių ruožų nebuvo, tai tyrėme funkcionuojančius ne mažiau kaip 6–8 metus jos ruožus. Kiekviename charakteringame kelio ruože dažniausiai parinkome po du bandymų ruožus (išimties atvejis – po vieną): viename ruože suirtimi buvo pažeista ne daugiau kaip 10 % dangos ploto, o kitame – pažaidos sudarė daugiau kaip 10 % dangos ploto. Parenkant bandymų ruožus, pažeistos dangos plotą nustatėme vizualiai (apytiksliai). Skirstant bandymų ruožus į mažiau suirusios dangos, kai dangos suirties mastas $D_D \leq 10$ %, ir į labiau suirusios dangos, kai jos suirties mastas $D_D \geq 10$ %, kriterijumi parinkta suirties masto D_D vertė $D_D = 10$ % todėl, kad tyrimais (Sivilevičius, Petkevičius 2002) nustatyta, jog, esant suirties lygiui $D_D > 10$ %, reikia atlikti dangos remontą.

Nustatydami AB dangos būklę ilgame kelio charakteringame ruože, kai kelio vienos krypties kraštinės eismo juostos plotis $B = 3,75$ m, šį visą kelio ruožą padalijome į elementarius bandymų ruožus, kurių kiekvieno dangos plotas $S_{AB} \geq 150$ m². Tyrimus atlikome taikydami matematinės statistikos metodus. Pirmiausia kiekvienam keliui nustatėme elementarių AB dangos bandymų ruožų skaičių n :

$$n = \frac{t^2 s^2}{\Delta^2}, \quad (3.1)$$

čia t – reikšmingumo koeficientas, priklausantis nuo priimtų tikimybių, kuria remiantis vertinama kelių būklė: kai $P = 95 \%$, $t = 1,96$; kai $P = 99,73 \%$, $t = 3$ (esant dvipusiam nustatomo parametro apribojimui); s – matuojamo parametro imties standartinis nuokrypis; Δ – bandymų (matavimų) absoliuti paklaida, rodanti matavimų tikslumą.

Nustatant kelių dangos būklę, rekomenduojama kiekviename kelyje atlikti $n \geq 20$ būtinųjų matavimų (Апестин 2007). Mes, tirdami kelių dangos eksploatacinius rodiklius, pasirinkome, kad kiekviename kelyje būtų ištirta $n \geq 25$ elementariųjų dangos ruožų. Tų rodiklių, kuriuos sunku nustatyti (asfaltbetonio sudėtis, fiziniai ir mechaniniai rodikliai ir kt.), matavimų ir bandymų elementariajame dangos ruože skaičių n ėmėme kuo mažesnę ($n = 5$).

Nustatant AB dangos bandymų ruožų ilgį, įvertinome tai, kad svarbiausia kelių dangos charakteristika – jos lygumas.

Tyrimus atlikome bandymų ruožų kraštinėje (dešinėje) automobilių važiavimo juostoje, kuria važiuoja sunkieji daugiausia automobiliai, t. y. ten, kur dangos funkcionavimo sąlygos yra sunkiausios.

Nustačius bandymų ruožų ribas, kiekviename bandymų ruože nustatėme matavimų vietas. Jas nenuplaunamais dažais apvedėme apskritimu, kurio spindulys $r = 5 - 10$ cm. Šios vietos nutolusios 0,75–1,00 m nuo kelio dangos briaunos (labiausiai tikėtinoje vietoje, kuria važiuoja daugiausia automobilių) kraštinėje (dešinėje) automobilių važiavimo juostoje. Jos parinktos tuose elementariuose kelių dangos ruožuose, kurių dangos suirties mastas D_D artimas viso bandymų ruožo dangos suirties mastui, nustatytam ruožo vizualios apžiūros metu. Bandymų ruože atliekant tyrimus, šiose matavimų vietose pirmiausia nustatėme AB dangos lygumą 3 ir 4 m ilgio kartele ir dangos suirties mastą, taip pat buvo išgręžti AB dangos viršutinio sluoksnio ėminiai ir nustatomi asfaltbetonio fiziniai ir mechaniniai rodikliai pagal Maršalą: pastovumas S , plastiškumas F ir tuštymėtumas V_a , taip pat sutankinimo rodiklis K_d . Žurnale užrašėme matavimo vietų Nr. ir koordinates, skaitiklyje nurodydami matavimų vietos atstumą iki kilometrą žyminčio ar kito kelio ženklų, o vardiklyje – atstumą iki kelio dangos briaunos (metrais).

Kelių dangai suirus tiek, kad jos suirties mastas D_D pasiekia vertes $D_D \geq 15 \%$, atliekami KDK stiprio tyrimai, nes abejojama, ar šio stiprio pakanka (Апестин 2007). Tai praktiškai sutampa su tyrimais (Sivilevičius, Petkevičius 2002), kuriuose rekomenduojama atlikti KDK remontą, sumažėjus jos stipriui, kai KDK suirties mato D_K vertės būna $D_K \geq 20 \%$. Kai $D_K \geq 15 \%$, tirti dangos konstrukciją, o kai $D_K \geq 20 \%$ ją stiprinti būtina todėl, kad, esant tokioms jos suirties mato vertėms, labai sumažėja net STP, kurių charakteristikos artimos projektiniam automobiliui, važiavimo keliu greitis.

Nustatant kelių dangos lygumą pagal tarptautinį indeksą IRI Y_{IRI} (m/km), šis rodiklis pateikiamas kiekvienam 50 m ilgio eismo juostos ruožui, todėl priėmėme, kad ilgiausias bandymų ruožas turėtų neviršyti 100 metrų.

Nustatant kelių dangos lygumą 3 ar 4 m ilgio kartele bei dangos suirties masę D_D , tirti ilgus (100 m ilgio) kelių dangos ruožus nepatogu, todėl buvo atlikti metrologiniai tyrimai ir buvo nustatytas mažiausias pakankamas šiems tyrimams AB dangos bandymų ruožo ilgis (mažiausias kelių dangos elementariojo ruožo ilgis L_e). Pirmiausia nustatėme, kad, matuojant kelių dangos lygumą kartele, gaunamas matavimų tikslumas $\Delta_s \leq 10\%$.

Darbuose (Medeišis 1998; Vekteris *et al.* 2000) nurodyta, kad kiekvienas matavimas (arba matuojamasis) dydis (LST 1518:1998) gali būti nustatytas tik ribotu tikslumu, priklausančiu nuo prietaisų tikslumo, matavimo sąlygų, metodo ir kitų priežasčių. Visada egzistuoja tam tikras verčių intervalas, kurio ribose tikėtinas rezultato nuokrypis į didesnių ar mažesnių verčių pusę. Jis vadinamas neapibrėžties intervalu. Skaičius, rodantis, kokio dydžio nuokrypis nuo matavimo rezultato yra tikėtinas, vadinamas absoliučiąja matavimo paklaida. Teigiami ir neigiami nuokrypiai nuo matavimo rezultato dažniausiai praktikoje pasitaikančiais atvejais yra vienodai tikėtini, todėl galima teigti, kad absoliuti paklaida lygi pusei neapibrėžties intervalo (Medeišis 1998). Matuodami kelių dangos lygumą 3 ir 4 m ilgio kartele, nustatėme, kad rezultato neapibrėžties intervalas sudaro 0,1 mm (atliekant matavimus kartele, dangos lygumą įmanoma įvertinti ne mažesne kaip 0,1 mm padalos verte), o absoliuti matavimo paklaida, atitinkamai 0,05 mm. Absoliučios

paklaidos Δ_x ir išmatuoto dydžio x verčių santykis $\Delta_s = \frac{\Delta_x}{x}$ vadinamas santykine matavimo paklaida. Šios paklaidos vertės apibūdina matavimų tikslumą. Naudojantis 3.1 lentelės duomenimis, nustatėme, kad Lietuvos automagistralėse matuojant AB dangos lygumą 3 ar 4 m ilgio kartele, matavimų tikslumas, išreikštas paklaida Δ_s , yra toks, kaip pateiktas 3.2 lentelėje.

Pasinaudojus 3.1 lentelės duomenimis nustatytos šios statistinės automagistralių AB dangos lygumo (matuojant 3 ir 4 m ilgio kartele) charakteristikos (dangos lygumo vidutinė vertė (aritmetinis vidurkis) $\bar{x}$ ir standartinis nuokrypis s , išreikšiami mm):

Automagistralėje „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) ($n = 43$):

$$\bar{x} = 0,53 \text{ mm}; s = 0,24 \text{ mm (kartelė, kurios ilgis } l = 3 \text{ m)};$$

$$\bar{x} = 0,61 \text{ mm}, s = 0,26 \text{ mm (kartelė, kurios ilgis } l = 4 \text{ m)}.$$

Lietuvos automagistralėse (A1 ir A2) ($n = 103$):

$$\bar{x} = 0,83 \text{ mm}, s = 0,25 \text{ mm (kartelė, kurios ilgis } l = 3 \text{ m)};$$

$$\bar{x} = 0,90 \text{ mm}, s = 0,36 \text{ mm (kartelė, kurios ilgis } l = 4 \text{ m)}.$$

3.1 lentelė. Lietuvos automagistralių kraštinėse važiavimo juostose mūsų ištirtų AB dangos būklės rodiklių statistinės charakteristikos

Table 3.1. Statistical characteristics of investigated indices of AC pavement in the marginal lanes of Lithuanian primary distributors

Dangos būklės rodiklis	Automagistralės Vilnius–Ukmergė–Panevėžys (A2) bandymų ruožų skaičius $n = 43$			Lietuvos automagistralių (A1) ir (A2) bandymų ruožų skaičius $n = 103$		
	$\bar{x}$	s	$V, \%$	$\bar{x}$	s	$V, \%$
$Y_{\max}, \text{ mm (kartelė } l = 3 \text{ m)}$	1,29	0,55	42,8	1,62	0,57	35,4
$Y, \text{ mm}$	0,53	0,24	44,9	0,83	0,25	30,3
$Y_{\max}, \text{ mm (kartelė } l = 4 \text{ m)}$	1,50	0,68	45,5	1,88	0,86	45,5
$Y, \text{ mm}$	0,61	0,26	43,1	0,90	0,36	40,0
$H_{\max}, \text{ mm (kraštinė vėžė)}$	4,23	2,57	60,8	7,17	5,14	71,8
$H_a, \text{ mm}$	1,96	1,08	54,8	3,46	2,55	73,8
$H_{\max}, \text{ mm (vidinė vėžė)}$	2,58	1,40	54,3	6,59	4,79	72,6
$H_a, \text{ mm}$	1,92	1,40	73,1	3,23	2,30	71,3
$D_D, \%$	11,68	15,27	130,7	9,06	11,56	127,6
$D_n, \%$ (dėl nuovargio)	8,51	14,37	168,8	5,29	9,89	187,0
$D_e, \%$ (dėl erozijos)	2,14	5,91	275,7	2,52	5,50	218,4
$D_t, \%$ (dėl temper. plyšių)	1,03	1,39	135,1	1,25	1,48	118,8

Pastaba. 3.1 lentelėje pateikti šie žymenys: $Y_{\max}$ – didžiausia prošvaisa po 3 ir 4 m kartele; Y – prošvaisa po 3 ir 4 m ilgio kartele; $H_{\max}$ – didžiausia prošvaisa vėžėje po 2 m ilgio kartele; H_a – vidutinė prošvaisa po 2 m ilgio kartele: $H_a = \frac{S_p}{b}$, mm; S_p – prošvaisos po 2 m ilgio kartele plotas, mm²; b – vėžės plotis, mm; D_n – dangos suirties, susidariusios dėl AB nuovargio, mastas; D_e – dangos suirties, susidariusios dėl AB erozijos, mastas; D_t – dangos suirties, susidariusios dėl AB pleišėjimo, esant atšalimo greičiui $v_{AB} \geq -(6-10)^\circ\text{C/val.}$; $\bar{x}$ – aritmetinis vidurkis; s – standartinis nuokrypis; V – variacijos koeficientas.

Iš pateiktų rodiklio Δ_s verčių matoma, kad 90 % atvejų automagistralių AB dangos lygumo matavimų duomenų tikslumas, vertinamas paklaida Δ_s , yra $\Delta_s \leq 10-11 \%$, o 95 % atvejų – $\Delta_s \leq 12-16 \%$, todėl su 90 % tikimybe, pakankama technikoje, imame leistinąjį matavimo tikslumą $\Delta_{s_{leist}} \leq 10 \%$.

Atliekant mažiausio (elementariojo) bandymų ruožo nustatymo tyrimus, pasinaudojome Rusijos mokslininkų atliktais tyrimais, kurie parodė, kad vairuotojo reakcijos laikas yra 0,8–1,0 s, todėl, važiuodamas keliu, vairavimo veiksmus jis atlieka tikrai jausdamas 1 s laiko trukmę ir laiko pokyčius kelyje suvokia laiko trukmės

3.2 lentelė. Lietuvos automagistralių AB dangos lygumo matavimų (3 ir 4 m ilgio kartele) tikslumo, išreikšto matavimų paklaida Δ_s , vertės

Table 3.2. Values of correctness (expressed in measuring error Δ_s) of AC pavement roughness measurements (using 3 and 4 m long staffs) in the Lithuanian primary distributors

Matavimų paklaidos Δ_s didžiausių verčių $\Delta_{s \max}$ laidavimo patikimumas P , %	Matavimų paklaidos Δ_s didžiausios vertės $\Delta_{s \max}$	
	matuojant 3 m ilgio kartele	matuojant 4 m ilgio kartele
50,00	6,02	5,55
84,13	8,62	9,26
90,00	9,80	10,87
95,00	11,90	16,13

dalimis, ne mažesnėmis kaip 1 s. Vairuotojas, važiuojantis automagistrale 108 km/val. greičiu, per 1 s nuvažiuoja 33,33 m ir valdo situaciją bei gali atlikti veiksmus (pradėti stabdyti automobilį, pradėti atlikti posūkį ir kt.) tik kiekviename elementariajame kelio ruože $L_e \geq 33,33$ m. Todėl, atliekant tyrimus, ėmėme mažiausią elementarųjį kelių dangos ruožą $L_e^{(\min)} \geq 33-35$ m.

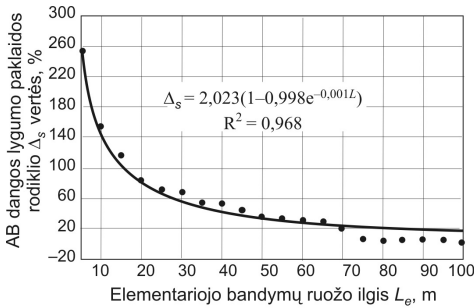
Mūsų atlikti tyrimai (3.1 pav.) parodė, kad nebūtina tirti visą (35–105 m ilgio) elementarųjį kelių dangos ruožą, o galima tirti tik tam tikrą jo dalį. Būtinoji tirti bandymų ruožo dalis, ruožo ilgiui mažėjant nuo $L = 105$ m iki $L = 35$ m, esant leistinajam matavimų tikslumui $\Delta_s^{(I)} \leq 10$ %, didėja nuo $0,75 L$ iki $0,9 L$, todėl mažiausias bandymų ruožo ilgis $L_{\min} \geq 0,9 L \geq 0,9 \cdot 33 \geq 29,7$ m ≈ 30 m. Atliekant automagistralių AB dangos lygumo, jos vėžetumo ir suirties masto tyrimus, buvo parenkami $L = 30-50$ m ilgio, daugeliu atvejų $L = 40$ m, ir $B = 3,75$ m pločio dangos kraštinės, t. y. dešinės, eismo juostos bandymų ruožai. Elementariųjų bandymų ruožų bendrasis skaičius $n = 103$.

Tyrimai parodė (3.1 pav.), kad abiem (a ir b) atvejais gaunami labai artimi kelių dangos lygumo matavimo rezultatai, todėl įrodyta, kad, matuojant kelių dangos lygumą kartele, pakanka išmatuoti kelio eismo juostos kraštinėje vėžėje (labiausiai tikėtinoje vietoje, kuria važiuoja daugiausiai automobilių) AB dangos lygumą.

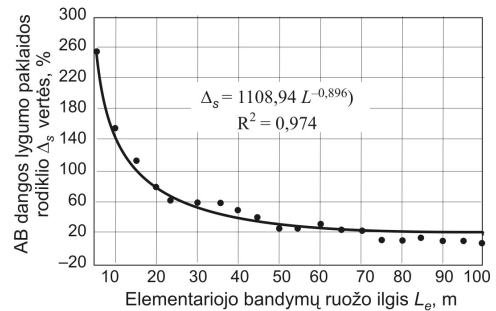
Išsamiai išanalizavus tyrimų duomenis, pateikiama 3.3 lentelė ir 3.2 pav., kuriuose parodyta, kokią AB dangos bandymų ruožo dalį reikia tirti, siekiant gauti norimą dangos lygumo matavimų kartele duomenų tikslumą Δ_s (%).

Pasinaudojus 3.3 lentelės, 3.2 pav. ir A priedo duomenimis ir siekiant tam tikro (mums priimtino) kelių AB dangos lygumo matavimų kartele duomenų tikslumo Δ_s , galima pasirinkti kelio kraštinės eismo juostos elementariojo bandymų ruožo racionalų ilgį L_e .

a) imti su didžiausia paklaida matavimų duomenys, eksperimentą atlikus esant trimis kartelės padėtimis

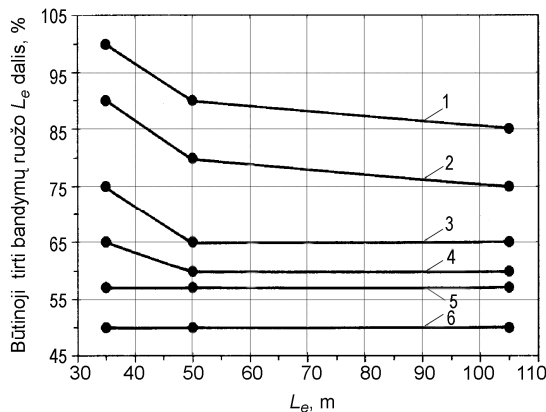


b) imti su didžiausia paklaida matavimų duomenys, eksperimentą atlikus esant vienai kartelės padėčiai (kartelė dedama kraštinėje vėžėje)



3.1 pav. Automobilių kelių elementariojo bandymų ruožo ilgio L_e ir AB dangos lygumo paklaidos dydžio Δ_s , matuojant kartele, sietis, kai bandymų ruožo ilgis $L_e \leq 105$ m

Fig. 3.1. Correlation dependence between the length of elementary experimental road sector L_e and error Δ_s of AC pavement roughness (measured with a staff) when the length of the experimental sector is $L_e \leq 105$ m



3.2 pav. Kelių dangos bandymų ruožo ilgio L_e ir būtinios tirti ruožo dalies, kai matavimo rezultatų tikslumas $\Delta_{s_{leist}}$ įvairus, sietis: 1 – $\Delta_{s_{leist}} \leq 5$ %; 2 – $\Delta_{s_{leist}} \leq 10$ %;

3 – $\Delta_{s_{leist}} \leq 15$ %; 4 – $\Delta_{s_{leist}} \leq 20$ %; 5 – $\Delta_{s_{leist}} \leq 25$ %; 6 – $\Delta_{s_{leist}} \leq 30$ %

Fig. 3.2. Correlation dependence between the length of experimental road pavement sector L_e and mandatory for investigation part of the sector at different correctness of measuring results $\Delta_{s_{leist}}$: 1 – $\Delta_{s_{leist}} \leq 5$ %; 2 – $\Delta_{s_{leist}} \leq 10$ %; 3 – $\Delta_{s_{leist}} \leq 15$ %;

4 – $\Delta_{s_{leist}} \leq 20$ %; 5 – $\Delta_{s_{leist}} \leq 25$ %; 6 – $\Delta_{s_{leist}} \leq 30$ %

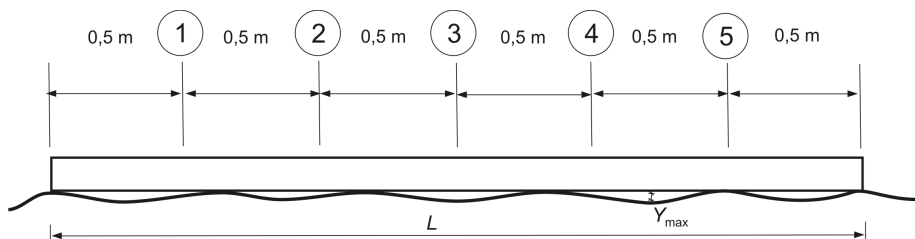
3.3 lentelė. Kelių dangos elementariojo bandymų ruožo ilgio L_e ir būtiniosios tirti šio ruožo dalies, esant įvairiam matavimų kartele duomenų tikslumui $\Delta_{s_{leist}}$, sietis

Table 3.3. Correlation dependence between the length of elementary experimental road sector L_e and the mandatory for investigation part of the sector for the data of different correctness $\Delta_{s_{leist}}$ obtained by measuring with a staff

Kelių dangos bandymų ruožo ilgis L_e , m	Būtinoji tirti ruožo L_e dalis, %, kai matavimų duomenų tikslumas $\Delta_{s_{leist}} \leq a$, %, kai a					
	5	10	15	20	25	30
35	100	90	75	65	57	50
50	90	80	65	60	57	50
105	85	75	65	60	57	50

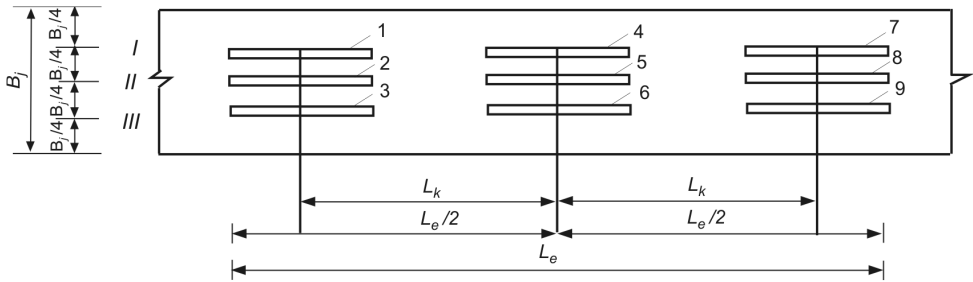
3.2. Metodika tyrimams atlikti ir duomenims apdoroti

Parinkus Lietuvos automagistralių AB dangos elementariusius bandymų ruožus (jų ilgį ir šių ruožų skaičių) taip, kaip nurodyta šio skyriaus 3.1 poskyryje, tirti AB dangos eksploataciniai rodikliai (lygumas Y , vėžetumas $H_{\max}$, H_a ir suirties mastas D_D), asfaltbetonio (AB) sutankinimo rodiklis K_d ir AB fiziniai bei mechaniniai rodikliai pagal Maršalą: pastovumas S , plastiškumas F , tuštytumas V_a . Automagistralių AB dangos ir jos konstrukcijos tyrimų metu buvo atlikti šie darbai: išgręžus dangos asfaltbetonio ėminius, buvo nustatyta asfaltbetonio komponentinė sudėtis ir fiziniai bei mechaniniai rodikliai ir AB dangos lygumas, matuojant 3 ir 4 m ilgio kartele (3.3 ir 3.4 pav.), buvo įvertintas (pagal TKTI tyrimų duomenis) šių ruožų dangos lygumas pagal tarptautinį indeksą IRI Y_{IRI} , matuojant prietaisu DYNATEST 5051 RSP, taip pat dangos suirties mastas D_D .



3.3 pav. Matavimų vietų po 3 ar 4 m ilgio kartele schema: skaičiai 1–5 žymi matavimų po kartele vietas; taip pat matuojama didžiausia prošvaista po kartele $Y_{\max}$

Fig. 3.3. Scheme of measuring sites using 3 and 4 m long staffs: numbers 1–5 mark the measuring points under staffs; the largest clearance $Y_{\max}$ under the staff also was measured

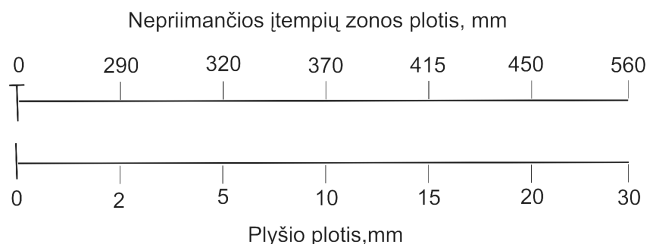


3.4 pav. Kartelės padėjimo vietų automagistralės kraštinėje eismo juostoje schema:
 L_e – elementariojo AB dangos ruožo, kuriame atliekami matavimai, ilgis; L_k – atstumas tarp kartelės padėjimo (išilgine kelio kryptimi) vietų centrų; B_l – eismo juostos plotis; $B_l/4$ – atstumas tarp kartelės padėjimo (skersine kelio kryptimi) vietų centrų; I, II, III – kartelės padėjimo padėties; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 – kartelės padėjimų vietos

Fig. 3.4. Scheme of staff placing points in the marginal lane of primary distributor:
 L_e – length of the elementary sector of AC pavement where measurements were carried out; L_k – distance between the centres of staff placing points (along the road); B_l – lane width; $B_l/4$ – distance between the centres of staff placing points (across the road); I, II, III – staff positions; 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 – staff placing points

Atliekant matavimus 3 ir 4 m ilgio kartele, buvo naudojami metaliniai ir mediniai matuokliai. Šie matuokliai taip pat buvo naudojami nustatant vėžtumo rodiklius (vėžės gylį) $H_{\max}$ ir H_a 2 m ilgio kartele. Kadangi nustatyta, kad, siekiant dangos lygumo matavimo duomenų tikslumo $\Delta_{s_{leist}} \leq 10\%$, pakanka išmatuoti AB dangos lygumą kraštinėje (dešinėje) dešinės (kraštinės) eismo juostos vėžėje (3.4 pav., III-ioji kartelės padėjimo padėtis: 3-ioji, 6-oji ir 9-oji kartelės padėjimų vietos), tolesniuose tyrimuose naudotos šios nurodytos (3-ioji, 6-oji ir 9-oji) kartelės padėjimų vietos. Nurodytose kartelių judėjimų vietose (3-ioji, 6-oji ir 9-oji), ties padėjimo vietos viduriu, 2 m ilgio kartele buvo išmatuoti AB dangos vėžtumo rodikliai $H_{\max}$ ir H_a . Visi eksperimentinių tyrimų duomenys buvo apdoroti matematinės statistikos metodais. Kiekviename iš 103 bandymų ruožo, pagal šio darbo 1 skyriuje išdėstytą metodiką (1.1 formulė), naudojantis šio skyriaus 3.5 pav., buvo nustatytas AB dangos suirties mastas D_D , išreiškiamas %. AB dangos, nepriimančios įtempių, zonos, priklausomai nuo AB dangoje susidariusio plyšio, pločio grafikas (3.5 pav.) sudarytas pasinaudojus Rusijos mokslininkų duomenimis.

Apdorojus eksperimentinių tyrimų rezultatus, buvo nustatytos priklausomybės tarp AB dangos suirties masto D_D ir jos lygumo Y , tarp AB dangos funkcionavimo trukmės T_D ir tarp rodiklio D_D , tarp rodiklių T_D ir Y ir kitos.



3.5 pav. Kelių AB dangos plyšio pločio įtaka dangos zonos, nepriimančios įtempių, pločiui

Fig. 3.5. Influence of the width of crack in AC road pavement on the width of pavement zone unresisting to strain

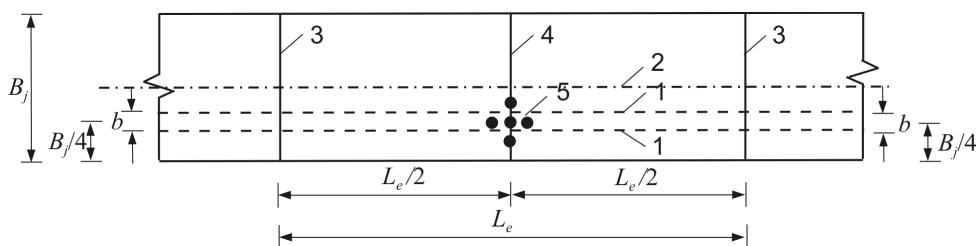
Buvo išanalizuotos Lietuvos automagistralių AB dangos ruožų eksploatacinės sąlygos ir išanalizuoti svarbiausi dangos asfaltbetonio kokybės bei AB dangos eksploataciniai rodikliai. Taip pat buvo išanalizuotos automagistralių AB dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio faktinės komponentinės sudėties ir fiziniai bei mechaniniai rodikliai pagal Maršalą (pastovumas S , plastiškumas F ir tuštymėtumas V_a). Buvo nustatyta automagistralių AB dangos suirties masto D_D verčių priklausomybė nuo jų dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio komponentinės sudėties, taip pat šio asfaltbetonio komponentinės sudėties ir fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą verčių sietis.

Nustatant automagistralių AB dangos bei asfaltbetonio kokybės rodiklių ir kitas statistines charakteristikas: aritmetinį vidurkį $\bar{x}$, standartinę nuokrypį s ir variacijos koeficientą V (%), šioms charakteristikoms apskaičiuoti buvo naudotos žinomos formulės (Čekanavičius, Murauskas 2000), taip pat, siekiant nustatyti ištirtų rodiklių tarpusavio sietį, buvo taikomi koreliacinės regresinės analizės metodai (Гмурман 2000; Крмеп 2000).

Asfaltbetonio ėminiai buvo gręžiami ties pasirinkto elementariojo ruožo L_e viduriu automagistralių kraštinės eismo juostos kraštinėje vėžėje (transporto priemonių dešinės pusės ratų labiausiai tikėtinoje riedėjimo zonoje – šioje zonoje labai nudilus (dėl transporto priemonių ratų poveikio) AB danga, todėl ši nuodylos zona labai gerai matoma plika akimi (3.6 pav.). Asfaltbetonio ėminiai buvo gręžiami pagal 3.7 paveiksle pateiktą principinę schemą.

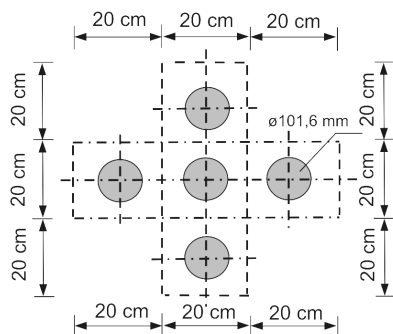
Firmos „Strassentest“ nemobilia (nešiojama) gręžimo mašina išgręžus automagistralių AB dangos ėminius, VGTU Kelių katedros mokslo laboratorijoje buvo nustatyta šių ėminių viršutinio sluoksnio asfaltbetonio komponentinė sudėtis ir fiziniai bei mechaniniai rodikliai pagal Maršalą ir AB sutankinimo koeficientas K_d . Iš viso buvo išgręžti 36 ėminių blokai (viename ėminių bloke – 5 ėminiai, 3.7 pav.). Kiekviename automagistralių ruože („Vilnius–Kaunas“ (A1), „Kaunas–Klaipėda“ (A1), „Vilnius–Panevėžys“ (A2) buvo išgręžta po 12 ėminių blokų (2

blokai su puikios ir labai geros būklės danga – $D_D \leq 3\%$; 2 blokai su geros ir pakankamos būklės danga – $D_D = 3-8\%$; 2 blokai su patenkinamos būklės danga – $D_D = 8-12\%$; 2 blokai su ribinės (kritinės) būklės danga – $D_D = 12-16\%$; 2 blokai su nepatenkinamos ir blogos būklės danga – $D_D = 16-25\%$; 2 blokai su labai blogos ir visai blogos būklės danga – $D_D > 25\%$. Iš viso buvo išgręžta 180 ėminių.



3.6 pav. Asfaltbetonio ėminių gręžimo vietų automagistralių dangoje schema:
 L_e – elementariojo AB dangos bandymų ruožo ilgis; B_j – eismo juostos plotis; b – automobilių dešinės pusės ratų riedėjimo labiausiai tikėtinos juostos plotis, $b = 0,5 - 1,0$ m; 1 – automobilių dešinės pusės ratų riedėjimo labiausiai tikėtinos zonos ribos; 2 – eismo juostos ašies linija; 3 – elementariojo AB dangos bandymų ruožo ribos; 4 – bandymų ruožo vidurį žyminti linija; 5 – AB ėminių gręžimo vietos

Fig. 3.6. Scheme of AC drill-sampling points in the road pavement: L_e – length of elementary experimental sector of AC pavement; B_j – lane width; b – width of the probable lane under the right side wheels of motor vehicles, $b = 0,5 - 1,0$ m; 1 – probable boundaries of the zone under the right side wheels of motor vehicles; 2 – lane axis line; 3 – boundaries of the elementary experimental sector of AC pavement; 4 – median line of the experimental sector; 5 – drilling points for AC sampling



3.7 pav. Asfaltbetonio ėminių gręžimo vietų automagistralių dangoje principinė schema
Fig. 3.7. Principal scheme of drill sampling of AC in road pavement

Gauti tyrimų duomenys buvo apdoroti kompiuterine programa *Microsoft Excel* ir statistinės duomenų analizės „STATGRAPHICS plus 5.0“ programų pake-tu (taip pat specializuotos statistinės analizės programa „STATGRAPHICS centu-rion, version XV“) šia seka:

1. Remiantis turimų duomenų variacinių eilučių duomenimis buvo nustatomi aritmetinių vidurkių $\bar{x}_1$ ir paslinktų standartinių nuokrypių s_1 įverčiai.
2. Esant reikšmingumo kriterijaus Z_α lygiui $Z_\alpha = 2,7$, buvo išimami labai išsiskiriantys duomenys, esant mažesnei nei 0,7 % tikimybei, kad jie pri-klauso nagrinėjamai generalinei visumai.
3. Likusių po išbrokavimo duomenų variacinių eilučių duomenims buvo nu-statomi aritmetinių vidurkių $\bar{x}$ ir nepaslinktų standartinių nuokrypių s įverčiai.
4. Kadangi atliekant tyrimus buvo ir mažesnių imčių n nei $n = 25 - 30$, sklaidos charakteristikoms apie imčių vidurkius $\bar{x}$ naudojome pataisytus (nepaslinktus) dispersijų s^2 įverčius ir pataisytus standartinių nuokrypių s įverčius (Гмурман 2000). Šios charakteristikos naudotos nagrinėjamų ro-diklių sklaidai vertinti.
5. Pagal aritmetinio vidurkio $\bar{x}$ ir standartinio nuokrypio s vertes nustatėme tiriamų rodiklių variacijos koeficientų V vertes, kurias naudojome rodik-lių, turinčių skirtingus matavimo vienetus, verčių sklaidai palyginti.
6. Kiekvienai variacinei duomenų eilutei buvo nustatomos asimetrijos G_1 ir eksceso G_2 rodiklių vertės, kurias naudojant buvo tikrinama hipotezė ar tiriamo AB dangos ar asfaltbetonio kokybės rodiklio vertės pasiskirsčiu-sios pagal Gauso (normalųjį) skirstinį. Kai $|G_1| \leq 3s_{G_1}$ ir $|G_2| \leq 5s_{G_2}$, normalaus skirstinio hipotezė nepaneigiama ir galima teigti, kad tyrimų duomenys jį atitinka (Кремеп 2000). Jeigu ši sąlyga netenkinama, hipote-zė atmetama arba laikoma abejotina. Standartinių nuokrypių s_{G_1} ir s_{G_2} vertės apskaičiuojamos pagal (Гмурман 2000) darbe pateiktas formules. Kadangi aptartas kriterijus yra apytikris, jį tikslinga naudoti tik esant ne-didelėms imtims, kai $n \leq 20$.
7. Taip pat imtims buvo apskaičiuojamos ir labiau apibendrintų kriterijų ver-tės: Kolmogorovo kriterijaus λ ir Pirsono kriterijaus χ^2 (Кремеп 2000; Гмурман 2000; Martinėnas 2002). Naudojant šiuos kriterijus, vertintas ti-riamų kokybės rodiklių empirinių skirstinių artimumas normaliajam teo-riniam skirstiniui. Šiam tikslui kiekvienu atveju nustatytos kriterijų λ ir χ^2 kritinės vertės $\lambda_{0,7}$ ir $\chi^2_{0,95}$.

8. Sujungiant atskiras duomenų grupes, buvo tikrinama, ar joms priklausančių atskirų kokybės rodiklių generaliniai vidurkiai skiriasi nedaug ar labai skiriasi – tikrinta pagal Stjudento kriterijų (Айвазян, Мхитарян 2001; Martinėnas 2002): rezultatams gerokai skiriantis, duomenų grupės nebuvo jungiamos. Lyginant skirtingo dydžio grupes (imtis), atskirų kokybės rodiklių priklausymas (pagal šių rodiklių vienodumą) tai pačiai generalinei visumai tikrintas naudojant Bartleto kriterijų (Айвазян 2001). Šių kokybės rodiklių, paimtų iš skirtingų duomenų grupių, priklausymas (pagal vienodumą) tai pačiai generalinei visumai taip pat tikrintas pagal Fišerio kriterijų (Гмурман 2000): kiekvienoje duomenų grupėje buvo nu-

statoma dispersija, o, nustatant kriterijų $F = \frac{s_1^2}{s_2^2}$, skaitiklyje visada įrašo-

ma didesnę (iš lyginamų dispersijų s_1^2 ir s_2^2) dispersijos vertę, todėl kriterijaus F vertės visada būna $F \geq 1,0$.

9. Naudojant analizei regresines priklausomybes, siekiama nustatyti, kurio kintamojo (arba kurių kintamųjų) įtaka tiriamajam rodikliui didžiausia. Pritaikius regresinės analizės modelį (Čekanavičius, Murauskas 2000) ir nustačius regresijos kreivę, būtina patikrinti šios kreivės adekvatumą, kad ji atitiktų turimus statistinius duomenis (Čekanavičius, Murauskas 2004). Tikrinama regresijos lygties verčių $\hat{y}_i$ sklaida apie vidurkį $\bar{y}$ (regresijos dispersija) su statistinių verčių y_i sklaida regresijos kreivės atžvilgiu (likutinė dispersija). Jeigu sklaida regresijos kreivės atžvilgiu daug mažesnė, reiškia, kad kreivė gana gerai atspindi statistinius duomenis. Šiam adekvatumui patikrinti taip pat taikomas Fišerio kriterijus F : jeigu $\frac{F}{F_{kr}} \geq 1,0$, tai regresijos modelis yra adekvatus. Kitas labai svarbus statis-

tinės analizės rodiklis, rodantis regresijos priklausomybių patikimumą – dispersijos (determinacijos) koeficientas R^2 . Šis koeficientas rodo, koku kintamųjų skaičiumi (kuria kintamųjų, pateiktų modelyje, dalimi) galima paaiškinti analizuojamo kokybės rodiklio pokyčius, taikant pasirinktą modelį. Jis lygus koreliacijos koeficiento R kvadratui R^2 ir parodo, kurią dalį, išreikštą % (arba vieneto dalimis), nagrinėjamo kokybės rodiklio sklaidos paaiškina mūsų nustatyta regresijos lygtis. Rodiklio R^2 vertės kinta nuo 0 iki 1 – kuo jo vertė artimesnė 1, tuo tiksliau parinkta regresijos kreivė atitinka tyrimų duomenis. Regresinės analizės metu skaičiuojami ir parenkami šie rodikliai: regresijos kreivės modelis, koreliacijos koeficientas R , dispersijos (determinacijos) koeficientas R^2 , parametrai:

Fišerio kriterijus F ir reikšmingumo lygis P . Regresijos modelis parenkamas iš daugelio gautų modelių su didžiausia R^2 verte. Norint detaliau ištirti, kurio veiksnio įtaka nagrinėjamo kokybės rodiklio pokyčiams didžiausia, taikytas daugiaregresis metodas. Taikomas regresinis modelis, įvertinantis keleto veiksnių įtaką. Kai determinacijos koeficiento R^2 vertė būna gana didelė ir kai parametro F vertė $F > 1,0$, taikomas modelis adekvatus. Kai nagrinėjamo veiksnio parametras $P < 0,05$, šio veiksnio (argumento) sietis su nagrinėjamu kokybės rodikliu (funkcija) yra stipri. Siekiant nustatyti kiekvieno veiksnio (kintamojo) įtaką nagrinėjamam kokybės rodikliui, taikomas daugiaregresis metodas su standartizuotais regresijos koeficientais. Kuo didesnė standartizuoto regresijos koeficiento prie kintamojo (argumento) vertė, tuo šio kintamojo (veiksno) didesnė įtaka nagrinėjamam kokybės rodikliui (funkcijai). Regresijos koeficientai standartizuojami, vertinant analizuojamų veiksnių (argumentų) įtaką pagal etaloną – jų sklaidos rodiklį – standartinį nuokrypį s .

Keturių atitikties kriterijų G_1 , G_2 , λ ir χ^2 naudojimas leido gana išsamiai patikrinti hipotezę apie eksperimentinių duomenų atitiktį normaliajam skirstiniui. Atitikties kriterijų F ir R^2 taikymas leido tinkamai patikrinti hipotezę apie pasirinktų regresijos priklausomybių adekvatumą – atitiktį turimiems statistiniams duomenims. Parametrų F ir P bei standartizuotų regresijos koeficientų naudojimas daugiaregresėje analizėje leido nustatyti veiksnus, kurių įtaka kiekvienam nagrinėjamam rodikliui (jo kitéjimui) yra stipri, t. y. leido nustatyti tų veiksnių (kintamųjų) reikšmingumą.

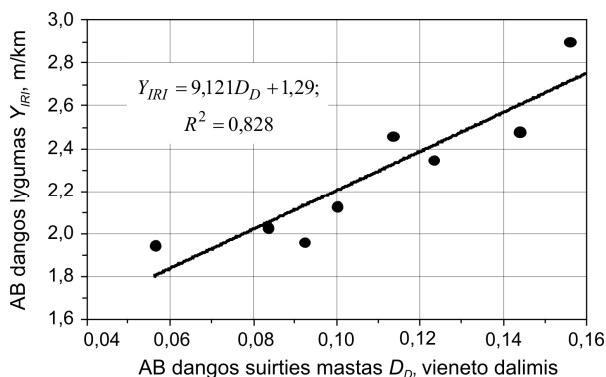
Nustatant automagistralių AB dangos lygumo Y duomenų, gautų atlikus matavimus kartele, su šios dangos lygumo duomenimis, gautais atlikus matavimus lazeriniu profilografu DYNATEST 5051 RSP (TKTI duomenys) pagal tarptautinį indeksą IRI Y_{IRI} , sietį, priklausomybė tarp duomenų buvo nustatyta lyginant matavimus, atliktus tais pačiais metais ir tose pačiose vietose, o atliktų matavimų datos skyrėsi ne daugiau kaip 1 mėnesiu (30 dienų). Automagistralių dangos lygumo matavimai buvo atliekami vasarą, dažniausia liepos ir rugpjūčio mėnesiais. Atlikus automagistralių AB dangos suirties masto D_D tyrimus, taip pat buvo nustatyta rodiklių D_D ir Y_{IRI} regresinė priklausomybė.

3.3. Automagistralių asfaltbetonio dangos eksploatacinių rodiklių analizė

Atlikus tyrimus pagal 3.2 poskyryje pateiktą metodiką, išanalizuoti automagistralių AB dangos būklės ir eksploataciniai rodikliai. Atliktų tyrimų rezultatai, apdoroti matematinės statistikos metodais ir grafiškai, pateikti paveiksluose.

Tyrimai parodė, kad automagistralių AB dangos suirties mastas D_D glaudžiai susijęs su AB dangos lygumu Y_{IRI} (3.8 pav.). Glaudi rodiklių D_D ir Y_{IRI} sietis leido pagal kritinę lygumo vertę $Y_{IRI}^{(kr)}$ nustatyti leistinąją suirties masto vertę $D_D^{(l)}$ (3.8 pav.). Rodiklio D_D vertė $D_D^{(l)}$ naudojama kaip kriterijus, nustatant, kada tikslinga skirti asfaltbetonio dangos (profilaktinį) remontą. Lietuvos automagistralių asfaltbetonio dangai nustatyta, kad $D_D^{(l)} = 8 \%$, kai $Y_{IRI}^{(kr)} = 2,0$ m/km, pagal 2-ąją (vidutinę) priežiūros lygį (KPV PN-05).

Atliekant specialųjį eksperimentą, automagistralių „Vilnius–Kaunas–Klaipėda“ (A1) bei „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) 103 elementariuose 30–50 m ilgio ir 3,75 m pločio kraštinės važiavimo juostos bandymų ruožuose buvo tiriami: dangos lygumas 3,0 m ilgio kartele – rodikliai $\bar{Y}_{3\max}$ ir $\bar{Y}_3$, mm; dangos lygumas 4,0 m ilgio kartele – rodikliai $\bar{Y}_{4\max}$ ir $\bar{Y}_4$, mm; dangos vėžėtumas – kraštinės vėžės rodikliai $H_{\max}$ ir H_a , mm; S , mm²; dangos vėžėtumas – vidinės vėžės rodikliai $H_{\max}$ ir H_a , mm; S_{pr} , mm²; dangos suirties mastas – rodikliai D_D , D_n , D_e , D_t , %.



3.8 pav. Automagistralių AB dangos suirties masto ir jos lygumo sietis

Fig. 3.8. Correlation dependence between the level of disintegration and roughness of road AC pavement

Pateikti žymenys: $\bar{Y}_{\max}$ – dangos lygumo matavimų 3 m arba 4 m ilgio kartele didžiausių verčių ruože aritmetinis vidurkis, mm, kai tyrimų skaičius $n = 9$; $\bar{Y}$ – dangos lygumo matavimų 3 m arba 4 m ilgio kartele visų verčių ruože aritmetinis vidurkis, mm, kai $n = 45$ (3 m ilgio kartelė) ir kai $n = 63$ (4 m ilgio kartelė); $H_{\max}$ – dangos vėžtumo matavimų 2 m ilgio kartele didžiausioji vertė, mm; H_a – dangos vėžtumo matavimų 2 m ilgio kartele vidutinė vertė, mm; S_{pr} – vėžtumo deformuotos dangos skersiniame profilyje po kartele (prošvaisos) plotas, mm²; D – dangos suirties mastas, atitinkamai visas D_D , nuovargio suirties D_n , erozijos suirties D_e , temperatūros plyšių D_t , %.

Atlikus šių rodiklių skaičiavimus kiekviename kelyje, t. y. „Vilnius–Kaunas“ (A1), „Kaunas–Klaipėda“ (A1) bei „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2), buvo nustatytos statistinės charakteristikos: aritmetinis vidurkis $\bar{x}$, standartinis nuokrypis s ir variacijos koeficientas V .

Tyrimų rezultatai parodė, kad AB dangos vienodumas keliuose „Vilnius–Kaunas“ (A1), „Kaunas–Klaipėda“ (A1), „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) skiriasi nedaug (3.1 lentelė).

Atlikus matavimus 2005 m. kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) tirtuose ruožuose, AB dangos suirties mastas D_D įvairavo nuo 0 iki 14,0 %. Nuovargio suirties ir suirties dėl dangos konstrukcijos nepakankamo stiprio dalis sudarė 14,8 %, erozijos suirties dalis – 3,7 %, o temperatūros plyšių – 81,5 %.

Automagistralės „Kaunas–Klaipėda“ (A1) tirtuose ruožuose AB dangos suirties mastas D_D įvairavo nuo 0 iki 39,8 %. Nuovargio suirties ir suirties dėl dangos konstrukcijos nepakankamo stiprio dalis sudarė 39,9 %, erozijos suirties dalis – 40,5 %, o temperatūros plyšių – 19,6 %. Automagistralės „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) tirtuose ruožuose AB dangos suirties mastas D_D svyravo nuo 0 iki 61,3 %. Nuovargio suirties ir suirties dėl dangos konstrukcijos nepakankamo stiprio dalis sudarė 55,5 %, erozijos suirties dalis – 22,6 %, o temperatūros plyšių – 21,9 %.

Kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) 2007 m. tirtuose ruožuose suirties mastas D_D įvairavo nuo 0 iki 17,7 %. Nuovargio suirties ir suirties dėl dangos konstrukcijos nepakankamo stiprio dalis sudarė 24,2 %, erozijos suirties dalis – 2,5 %, o temperatūros plyšių – 73,3 %. Automagistralės „Kaunas–Klaipėda“ (A1) tirtuose ruožuose suirties mastas D_D įvairavo nuo 0 iki 48,2 %. Nuovargio suirties ir suirties dėl dangos konstrukcijos nepakankamo stiprio dalis sudarė 45,1 %, erozijos suirties dalis – 37,3 %, o temperatūros plyšių – 17,6 %.

Taip pat nustatyta, kad kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) ir automagistralės „Kaunas–Klaipėda“ (A1) charakteringas gana didelis vėžtumas. AB dangos iš-

matuoto vėžtumo didžiausios aritmetinių vidurkių vertės blogiausiuose ruožuose buvo šios: kelyje „Vilnius–Kaunas“ (A1) $\bar{H}_{\max} = 24,3$ mm, o automagistralėje „Kaunas–Klaipėda“ (A1) $\bar{H}_{\max} = 29,0$ mm.

Analizė parodė, kad svarbiausiuose Lietuvos magistraliniuose keliuose dominuoja ši dangos suirtis: suirtis dėl temperatūros plyšių ir nuovargio suirtis bei suirtis dėl kelių dangos konstrukcijos nepakankamo stiprio.

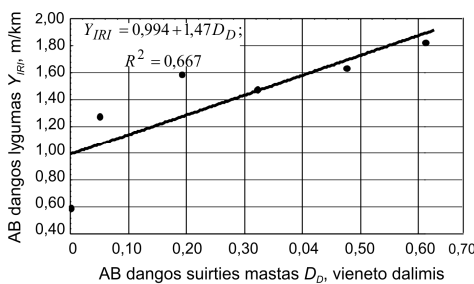
Tyrimų rezultatai parodė, kad Lietuvos automagistralių AB dangos lygumo ir iš dalies – vėžtumo rezultatai tenkina normalųjį (Gauso) dėsnį (3.1 lentelė).

Automagistralės „Vilnius–Panevėžys“ (A2) dangos suirties masto D_D ir jos dangos lygumo Y , dangos funkcionavimo trukmės T ir jos lygumo Y bei suirties masto D_D koreliacijos ir regresijos priklausomybės pateiktos 3.9–3.11 pav. ir B priede. Pateikti rezultatai rodo, kad tarp daugumos tiriamų kelių dangos parametrų yra gana glaudi koreliacinė sietis (determinacijos koeficientų R^2 vertės įvairuoja nuo $R^2 = 0,67$ iki $R^2 = 0,90$) ir tik tarp dangos vėžtumo rodiklių $H_{\max}$, H_a , S ir jos lygumo Y ši sietis yra silpnesnė ($R^2 = 0,28 - 0,62$).

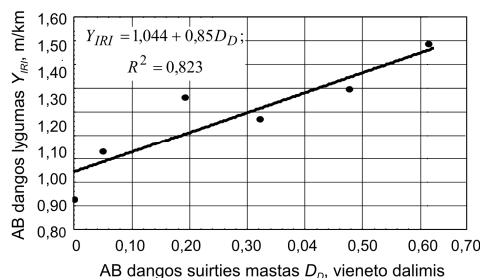
Panaudojus 3.9–3.11 pav. ir B priede pateiktas automagistralės „Vilnius–Panevėžys“ (A2), automagistralės „Kaunas–Klaipėda“ (A1) ir kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) AB dangos eksploatacijos rodiklių koreliacijos regresijos priklausomybes, galima sunorminti šiuos automagistralių AB dangos eksploatacinės būklės rodiklius:

- dangos leistinąjį lygumą $Y_{IRI}^{(l)}$;
- dangos leistinąjį lygumą $Y^{(l)}$, matuojant 3 m ir 4 m ilgio kartele $Y_3^{(l)}$ ir $Y_4^{(l)}$;

a) 1999 m. duomenimis



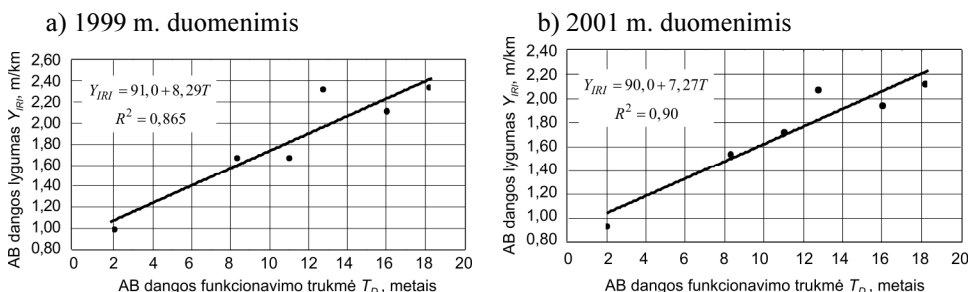
b) 2001 m. duomenimis



3.9 pav. Automagistralės „Vilnius–Panevėžys“ (A2)

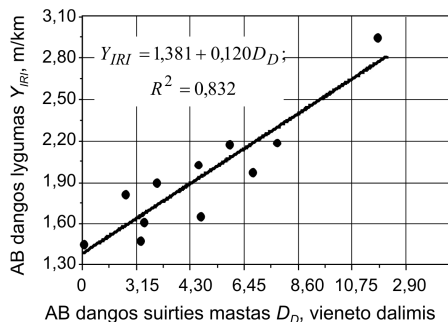
AB dangos lygumo Y_{IRI} ir suirties masto D_D sietis

Fig. 3.9. Correlation dependence between AC pavement roughness Y_{IRI} and disintegration level D_D in the primary distributor “Vilnius–Panevėžys” (A2)



3.10 pav. Automagistralės „Vilnius–Panevėžys“ (A2) AB dangos lygumo Y_{IRI} ir funkcionavimo trukmės T_D sistis

Fig. 3.10. Correlation dependence between AC pavement roughness Y_{IRI} and service life T_D in the primary distributor “Vilnius–Panevėžys” (A2)



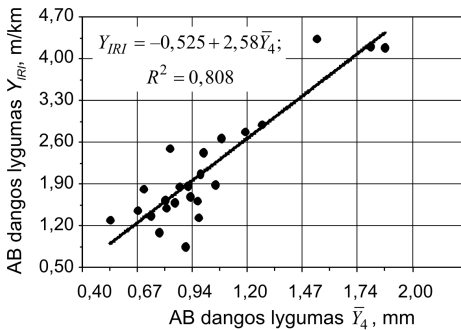
3.11 pav. Kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) AB dangos lygumo Y_{IRI} verčių ir dangos suirties masto D_D verčių sistis

Fig. 3.11. Correlation dependence between AC pavement roughness Y_{IRI} and disintegration level D_D in the primary distributor “Vilnius–Kaunas” (A1)

- dangos leistinąjį suirties mastą $D_D^{(l)}$;
- AB dangos funkcionavimo iki remonto leistinąją trukmę $T_D^{(l)}$.

Pasinaudojus Transporto ir kelių tyrimų instituto atliktų matavimų, kurių metu buvo nustatytas Lietuvos magistralinių kelių AB dangos lygumas Y_{IRI} , duomenimis, nustatyta glaudi lygumo rodiklio Y_{IRI} ir 4 m ilgio kartelevės mūsų išmatuoto lygumo $\bar{Y}_4$ verčių koreliacinė sistis (3.12 pav.).

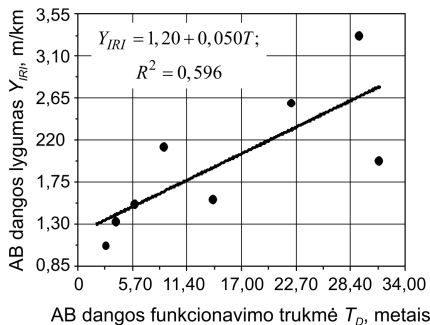
Kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) bei automagistralės „Kaunas–Klaipėda“ (A1) dangos lygumo, matuojant kartelevės, visų verčių aritmetinių vidurkių $\bar{Y}_4$ ir dangos suirties masto D_D , dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir dangos suirties masto D_D ,



3.12 pav. Kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1)

AB dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} verčių ir lygumo, matuojant kartele, visų verčių aritmetinių vidurkių $\bar{Y}_4$ sistis

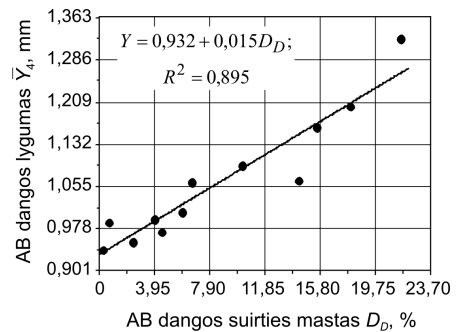
Fig. 3.12. Correlation dependence between arithmetic means $\bar{Y}_4$ of all values of AC pavement roughness Y_{IRI} and values measured with a staff in the primary distributor “Vilnius–Kaunas” (A1)



3.14 pav. „Kelio Vilnius–Kaunas“ (A1)

AB dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir dangos funkcionavimo trukmės T_D sistis

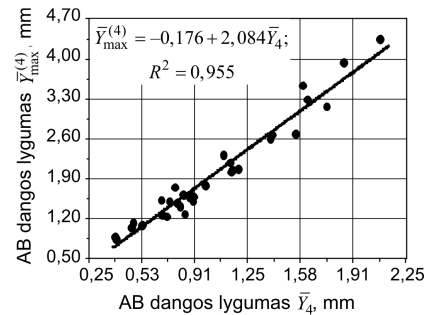
Fig. 3.14. Correlation dependence between AC pavement roughness Y_{IRI} and pavement service life T_D in the primary distributor “Vilnius–Kaunas” (A1)



3.13 pav. Kelio „Vilnius–Kaunas–

Klaipėda“ (A1) AB dangos visų lygumo verčių rodikliu $\bar{Y}_4$ ir dangos suirties masto D_D sistis

Fig. 3.13. Correlation dependence between the index $\bar{Y}_4$ of all values of AC pavement roughness and disintegration level of pavement D_D



3.15 pav. Automagistralės „Kaunas–

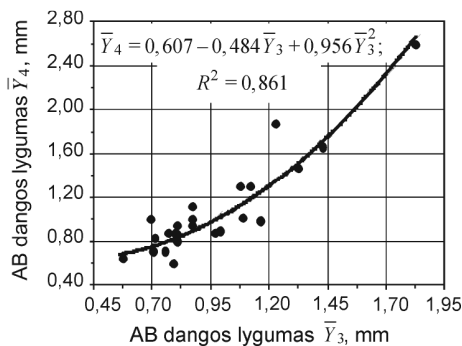
Klaipėda“ (A1) AB dangos didžiausių ir visų lygumo verčių rodikliu $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ ir $\bar{Y}_4$ sistis

Fig. 15. Correlation dependence between the maximal and all roughness values, $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ and $\bar{Y}_4$, in the primary distributor “Vilnius–Kaunas” (A1)

dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir dangos funkcionavimo trukmės T_D bei dangos lygumo, matuojant kartele, didžiausių verčių aritmetinių vidurkių $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ ir visų jo verčių aritmetinių vidurkių $\bar{Y}_4$ koreliacijos bei regresijos priklausomybės pateiktos 3.13–3.15 pav. Pateikti rezultatai rodo, kad tarp automagistralių tiriamų AB dangos parametrų yra glaudi koreliacinė sietis (determinacijos koeficientų R^2 vertės įvairuoja nuo $R^2 = 0,895$ iki $R^2 = 0,955$), tik dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir dangos funkcionavimo trukmės T_D sietis yra kiek silpnesnė ($R^2 = 0,596$).

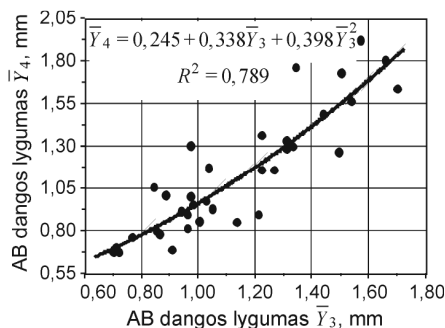
Kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) bei automagistralės „Kaunas–Klaipėda“ (A1) AB dangos lygumo, matuojant 3 ir 4 m ilgio kartele, koreliacijos regresijos priklausomybės pateiktos 3.16–3.18 pav. Rezultatai rodo, kad tarp tiriamų parametrų yra glaudi koreliacinė sietis (determinacijos koeficientų vertės nuo $R^2 = 0,785$ iki $R^2 = 0,861$).

Magistralinio kelio „Vilnius–Kaunas–Klaipėda“ (A1) ir automagistralės „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) AB dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir jų dangos lygumo, matuojant 3 ir 4 m ilgio kartele, koreliacijos regresijos priklausomybės, taip pat priklausomybė tarp AB dangos lygumo rodiklių Y_4 ir Y_3 verčių ir lygumo standartinių nuokrypių verčių pateiktos 3.19–3.22 pav. Pateikti rezultatai



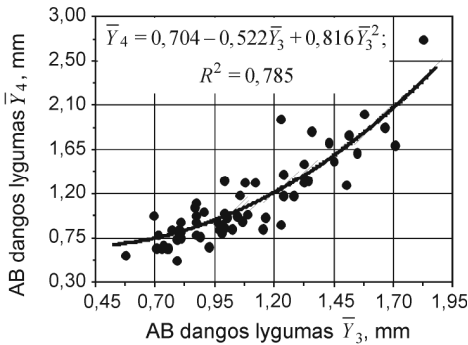
3.16 pav. Kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) AB dangos lygumo, matuojant 4 ir 3 m ilgio kartele, visų verčių aritmetinių vidurkių $\bar{Y}_4$ ir $\bar{Y}_3$ sietis

Fig. 16. Correlation dependence between the arithmetic means $\bar{Y}_4$ and $\bar{Y}_3$ of all values of road AC pavement roughness, measured with 3 and 4 m long staff, in the primary distributor “Vilnius–Kaunas” (A1)



3.17 pav. Automagistralės „Kaunas–Klaipėda“ (A1) AB dangos lygumo, matuojant 4 ir 3 m ilgio kartele, rodiklių $\bar{Y}_4$ ir $\bar{Y}_3$ verčių sietis

Fig. 17. Correlation dependence between the values $\bar{Y}_4$ and $\bar{Y}_3$ of road AC pavement roughness, measured with 3 and 4 m long staff, in the primary distributor “Kaunas–Klaipėda” (A1)

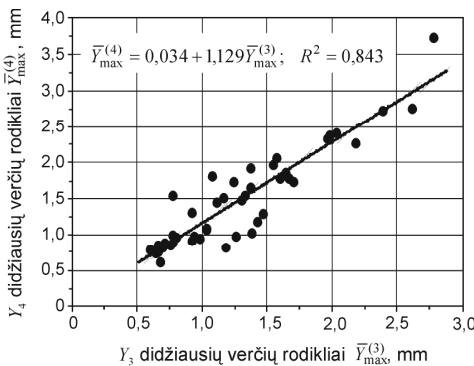


3.18 pav. Kelio „Vilnius–Kaunas–Klaipėda“ (A1) AB dangos lygumo, matuojant 4 ir 3 m ilgio kartele, rodiklių $\bar{Y}_4$ ir $\bar{Y}_3$ verčių setis

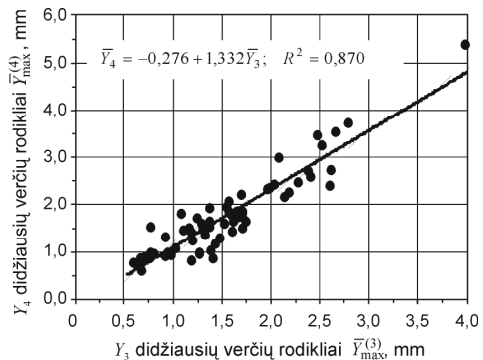
Fig. 18. Correlation dependence between the values of AC pavement roughness indices $\bar{Y}_4$ and $\bar{Y}_3$, measured with 4 and 3 m long staff, in the primary distributor “Vilnius–Kaunas–Klaipėda” (A1)

rodo, kad tarp tiriamų parametrų yra glaudi koreliacinė sietis (determinacijos koeficientų R^2 vertės nuo $R^2 = 0,696$ iki $R^2 = 0,920$). Automagistralės „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) AB dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir jos dangos lygumo, matuojant 4 m ilgio kartele, koreliacijos regresijos priklausomybės, taip pat priklausomybė tarp rodiklių Y_{IRI} ir T_D bei priklausomybė tarp rodiklių Y_{IRI} ir D_D pateiktos 3.23–3.26 paveiksluose. Determinacijos koeficientų R^2 vertės šiose priklausomybėse nuo $R^2 = 0,529$ iki $R^2 = 0,846$.

a) automagistralė „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) (2001 m.)



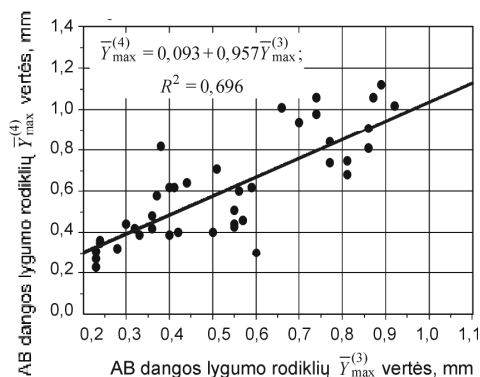
b) kelias „Vilnius–Kaunas–Klaipėda“ (A1), ir automagistralė „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) (2001 m.)



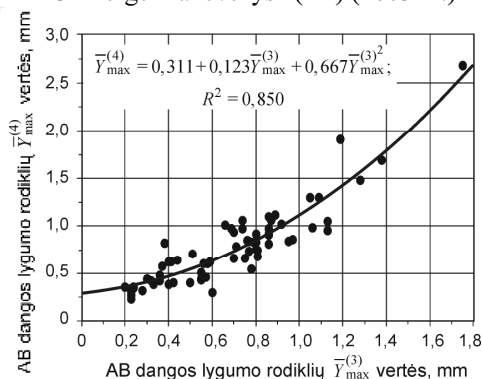
3.19 pav. Kelių dangos lygumo, matuojant 3 m ilgio kartele, didžiausių verčių rodiklių $\bar{Y}_{\max}^{(3)}$ ir dangos lygumo, matuojant 4 m ilgio kartele, didžiausių verčių rodiklių $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ sietis

Fig. 3.19. Correlation dependence between maximal road AC pavement roughness values $\bar{Y}_{\max}^{(3)}$, measured with a 3 m long staff, and maximal road AC pavement roughness values $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$, measured with a 4 m long staff

a) automagistralė „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) (2003 m.)



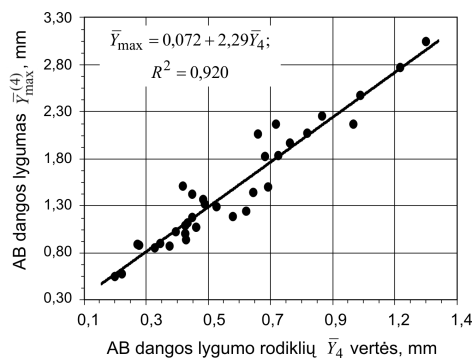
b) kelias „Vilnius–Kaunas–Klaipėda“ (A1), ir automagistralė „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) (2003 m.)



3.20 pav. Kelių dangos lygumo, matuojant 3 m ilgio karte, rodiklių $\bar{Y}_{\max}^{(3)}$ verčių ir dangos lygumo, matuojant 4 m ilgio karte, rodiklių $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ verčių sietis

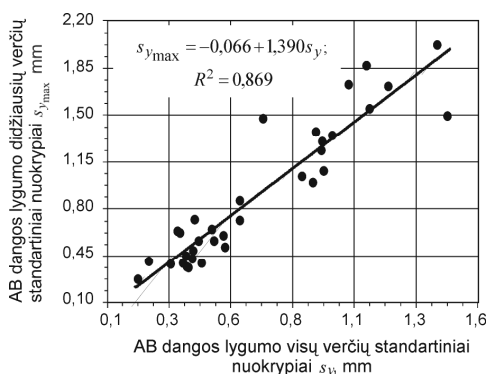
Fig. 3.20. Correlation dependence between road AC pavement roughness values $\bar{Y}_{\max}^{(3)}$, measured with a 3 m long staff, and road AC pavement roughness values $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$, measured with a 4 m long staff

Naudojant 3.8–3.26 pav. pateiktas priklausomybes galima prognozuoti automagistralių AB dangos realią funkcionavimo trukmę T_D ir, atsižvelgiant į AB dangos lygumo Y_{IRI} vertes, nustatyti leistinąjį jos suirties mastą $D_D^{(l)}$ bei AB dangos lygumo rodiklių Y_3 ir Y_4 (matuojant 3 m ir 4 m ilgio karte) leistinas vertes.



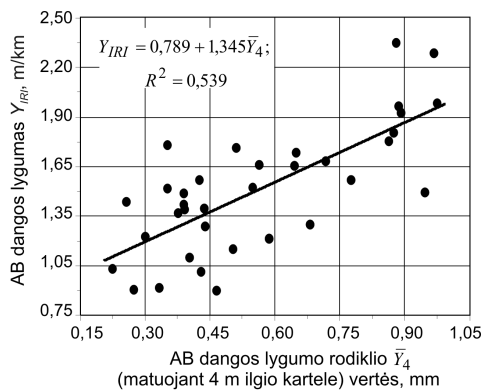
3.21 pav. Automagistralės „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) AB dangos didžiausių ir visų lygumo verčių aritmetinių vidurkių $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ ir $\bar{Y}_4$ (matuojant 4 m ilgio karte) sietis

Fig. 3.21. Correlation dependence between the arithmetic means of maximal and all AC pavement roughness values $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ and $\bar{Y}_4$ (measured with a 4 m long staff) in the primary distributor “Vilnius–Ukmergė–Panevėžys” (A2)



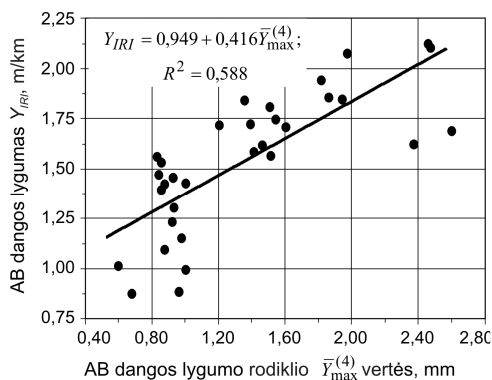
3.22 pav. Automagistralės „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) AB dangos didžiausių ir visų lygumo verčių standartinių nuokrypių $s_{y_{\max}}$ ir s_y (matuojant 4 m ilgio karte) setis

Fig. 3.22. Correlation dependence between the standard deviations $s_{y_{\max}}$ and s_y of maximal and all AC pavement roughness values (measured with a 4 m long staff) in the primary distributor “Vilnius–Ukmergė–Panevėžys” (A2)



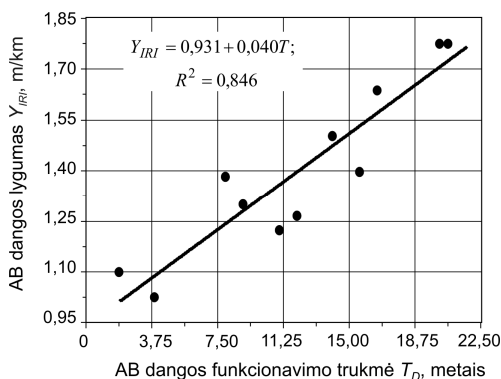
3.23 pav. Automagistralės „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) AB dangos lygumo pagal indeksą IRI Y_{IRI} ir visų lygumo verčių aritmetinių vidurkių $\bar{Y}_4$ setis

Fig. 3.23. Correlation dependence between AC pavement roughness Y_{IRI} and arithmetic means of all roughness values $\bar{Y}_4$ in the primary distributor “Vilnius–Ukmergė–Panevėžys” (A2)



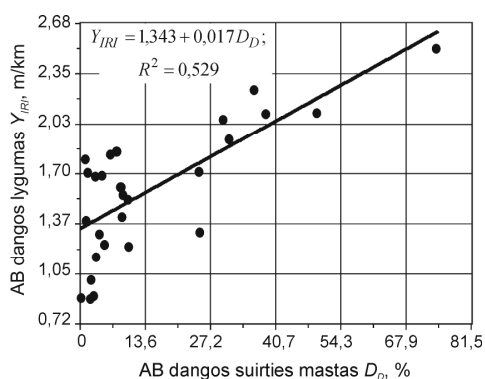
3.24 pav. Automagistralės „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) AB dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir rodiklio $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ setis

Fig. 3.24. Correlation dependence between AC pavement roughness Y_{IRI} and $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ in the primary distributor “Vilnius–Ukmergė–Panevėžys” (A2)



3.25 pav. Automagistralės „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) AB dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir dangos funkcionavimo trukmės T_D sietis

Fig. 3.25. Correlation dependence between AC pavement roughness Y_{IRI} and service life T_D in the primary distributor “Vilnius–Ukmergė–Panevėžys” (A2)



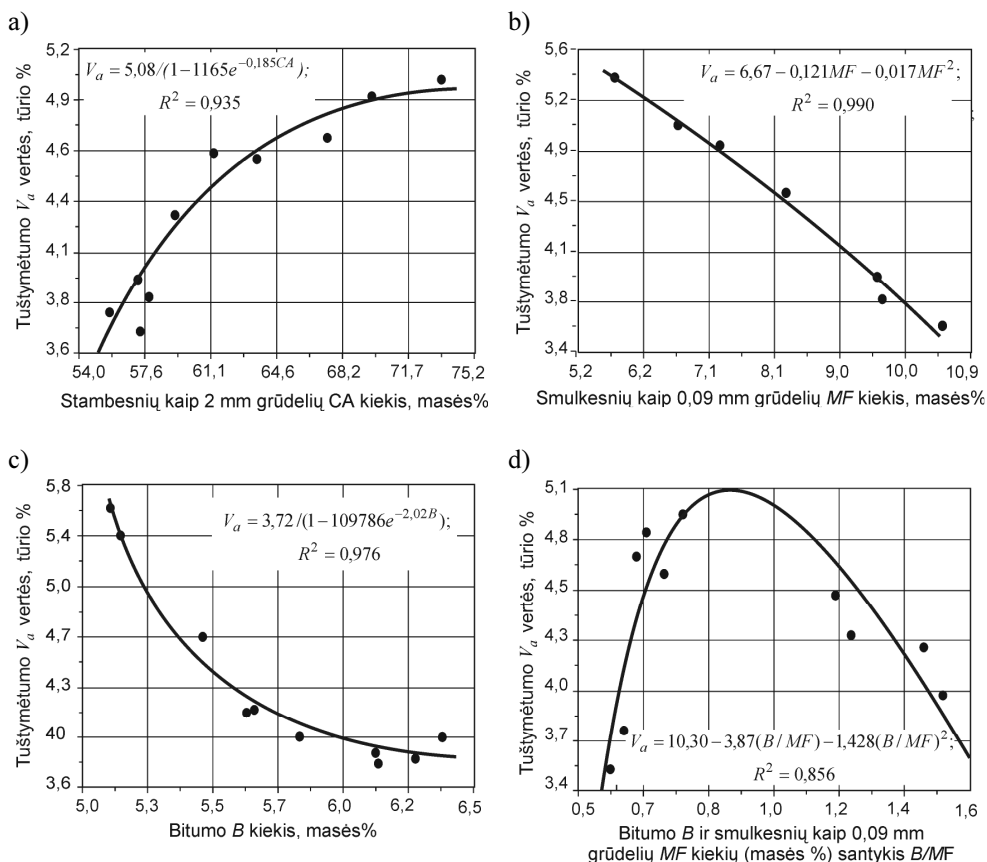
3.26 pav. Automagistralės „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) AB dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir dangos suirties masto D_D sietis

Fig. 3.26. Correlation dependence between AC pavement roughness Y_{IRI} and pavement disintegration level D_D in the primary distributor “Vilnius–Ukmergė–Panevėžys” (A2)

3.4. Asfaltbetonio komponentų kiekio įtakos jo fiziniams ir mechaniniams bei kitiems rodikliams analizė

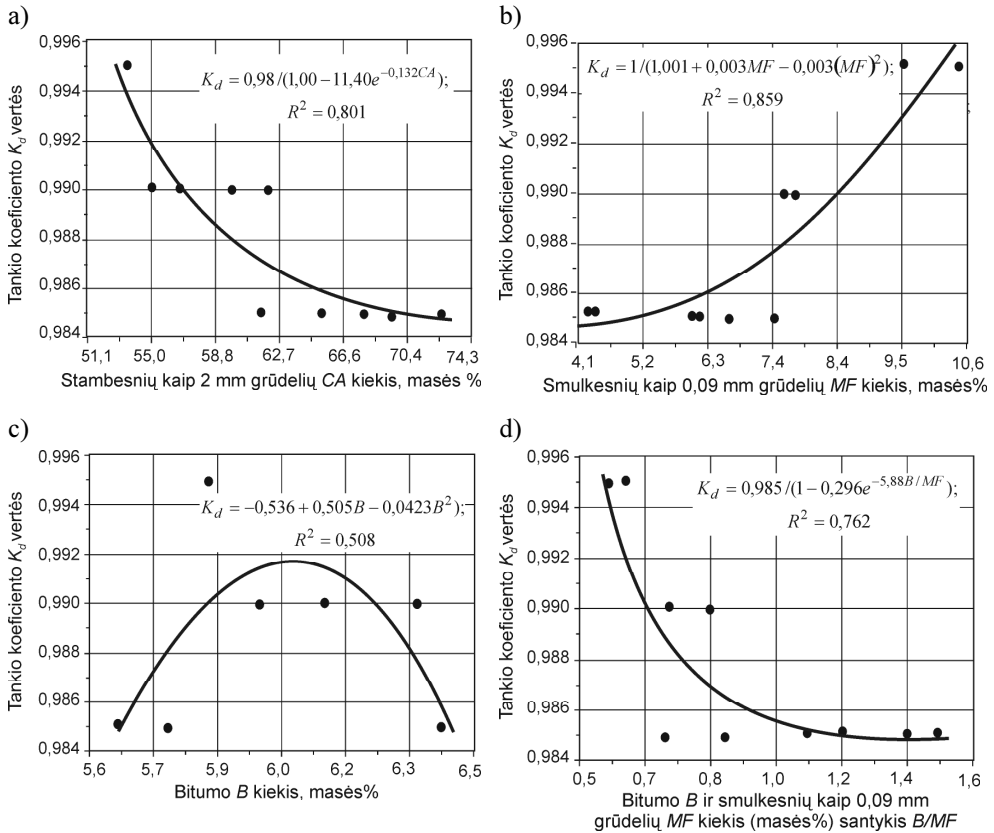
Asfaltbetonio tinkamumą kelių dangai gerai charakterizuoja jo fiziniai ir mechaniniai rodikliai pagal Maršalą ir jo sutankinimo laipsnis, apibūdinamas tankio koeficientu K_d . Kadangi Lietuvos automagistralių dangos asfaltbetonio racionali sudėtis, užtikrinanti pakankamą dangos funkcionavimo $T_D \geq 8,5$ metų trukmę, jau nustatyta (Petkevičius, Sivilevičius 2008), pravartu nustatyti fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą ir koeficiento K_d leistinąsias vertes, garantuojančias automagistralių dangos kuo ilgesnę trukmę. Nustatant šias vertes, buvo atlikti asfaltbetonio komponentų kiekio (masės %) ir jo fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą bei jo tankio koeficiento K_d verčių sieties tyrimai. Iš palyginti ilgai funkcionuojančios ($T \geq 8$ metai) automagistralių dangos buvo paimti (išgręžti) asfaltbetonio ėminiai (ėminiai buvo paimti iš labai geros, kai suirties mastas $D_D = 1 - 3$ %, geros, kai $D_D = 3 - 5$ %, pakankamos, kai $D_D = 5 - 8$ %, patenkinamos, kai

$D_D = 8-12\%$, ribinės (kritinės), kai $D_D = 12-16\%$, ir blogos, kai $D_D = 16-25\%$, bei labai blogos, kai $D_D > 25\%$ būklės dangos). Atlikus tyrimus kelių laboratorijoje, buvo nustatyta ėminių asfaltbetonio komponentinė sudėtis ir jo fizinių bei mechaninių rodiklių ir koeficiento K_d vertės. Naudojant šių tyrimų duomenis buvo nustatytos priklausomybės tarp asfaltbetonio komponentinės sudėties rodiklių ir jo tuštymetumo V_a bei koeficiento K_d verčių (3.27, 3.28 pav. ir C priedas).



3.27 pav. Automagistralių dangos asfaltbetonio tuštymetumo V_a verčių ir jo komponentų CA (a), MF (b), B (c) kiekių (masės %) bei B/MF santykis

Fig. 3.27. Correlation dependence between AC porosity in road pavements and mass (%) of AC components CA (a), MF (b), B (c) and B/MF



3.28 pav. Automagistralių dangos asfaltbetonio tankio koeficiento K_d verčių ir jo komponentų CA (a), MF (b), B (c) kiekių (masės %) bei B/MF santies

Fig. 3.28. Correlation dependence between density coefficient values K_d of AC in road pavements and mass (%) of AC components CA (a), MF (b), B (c) and B/MF

Taip pat buvo nustatytos porinės koreliacijos regresijos priklausomybės tarp asfaltbetonio komponentinės sudėties rodiklių ir fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą (pastovumo S ir plastiškumo F):

$$S = 7,32e^{\frac{(CA-81,35)^2}{2(41,73)^2}}; R^2 = 0,736, \quad (3.2)$$

$$S = 4,06 + 0,887MF - 0,071(MF)^2; R^2 = 0,922, \quad (3.3)$$

$$S = e^{-12,35 + \frac{32,8}{B} + 4,85 \ln B}; R^2 = 0,949, \quad (3.4)$$

$$S = 1,51 + 9,96(B/MF) - 4,49(B/MF)^2; \quad R^2 = 0,874, \quad (3.5)$$

$$F = \frac{3,36}{1 - 8597e^{-0,21CA}}; \quad R^2 = 0,637, \quad (3.6)$$

$$F = \frac{1}{0,16 + 0,026MF - 0,001MF^{-0,001}}; \quad R^2 = 0,876, \quad (3.7)$$

$$F = 3,16B^{0,007B}; \quad R^2 = 0,736, \quad (3.8)$$

$$F = \frac{1}{0,30 - 0,001MF(B/MF)^{3,79}}; \quad R^2 = 0,398. \quad (3.9)$$

Atlikus tyrimus, buvo pateiktos daugybinės koreliacijos regresijos priklausomybės su standartizuotais regresijos koeficientais tarp asfaltbetonio komponentinės sudėties rodiklių ir jo fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą ir jo tankio koeficiento K_d :

$$V_a = 1,826B + 2,37B/MF - 186,58B/CA - 18,84B/FA + 0,334MF + 14,83MF/CA + 0,098CA + 5,58FA/CA; \quad R^2 = 0,398, \quad (3.10)$$

$$K_d = 0,163B + 0,041B/MF - 11,002B/CA - 0,365B/FA + 0,064MF - 3,31MF/CA + 0,013CA + 0,067FA/CA; \quad R^2 = 0,998, \quad (3.11)$$

$$S = 0,283CA + 0,0206MF - 5,14B + 0,71B/MF + 300,57B/CA - 9,27MF/CA - 12,49FA/CA - 15,66B/FA; \quad R^2 = 0,994, \quad (3.12)$$

$$F = 0,0257CA + 0,931MF + 1,569B + 2,096B/MF - 127,78B/CA - 25,59MF/CA + 6,84FA/CA - 5,19B/FA; \quad R^2 = 0,998. \quad (3.13)$$

Iš automagistralių dangos išgręžtuose ėminiuose komponentų vertės kito taip (masės %): $CA = 51,6-76,3$; $FA = 15,1-37,9$; $MF = 4,2-10,5$; $B = 3,4-6,6$. Komponentams CA ir FA šios vertės kito platesniame negu rekomenduotos leistinosios (Petkevičius, Podagėlis 2000) ribos intervale, komponentui MF daugiausiai verčių (83,7 %) buvo už rekomenduotų leistinųjų ribų, komponentui B taip pat labai daug verčių (68,6 %) buvo už leistinųjų ribų, nepasiekiant didžiausios leistinosios vertės ir gerokai pereinant (2,25 masės %) mažiausią leistinąją vertę. Darbe (Petkevičius, Sivilevičius 2008) nurodyta, kad didžiausią funkcionavimo trukmę, veikiant ciklinei apkrovai iki suirties, pasiekia šios sudėties AB: $CA = 64,0$ masės %; $FA = 24,5$ masės %; $MF = 11,5$ masės %; $B = 6,8$ masės %, o Podagėlio (Подгагель 1987) darbe parodyta, kad didžiausias atsparumo tempimui lenkiant $R_t^{(a)}$ vertės ir didžiausią atsparumą nuovargiui užtikrina šios komponentinės sudė-

ties asfaltbetonis: $CA = 56,5\text{--}71,5$ masės %; $FA = 16,0\text{--}34,0$ masės %; $MF = 9,5\text{--}13,5$ masės %; $B = 6,0\text{--}7,0$ masės %, taip pat darbe (Petkevičius, Sivilevičius 2008) nurodytos AB komponentų MF ir B kitėjimo leistinosios ribos: $MF = 9,5\text{--}13,5$ masės %; $B = 6,4\text{--}7,2$ masės %. Tyrimais nustatytos fizinių bei mechaninių rodiklių ir tankio koeficiento K_d leistinosios vertės garantuoja gana ilgą ($T \geq 8$ metai) dangos (be ženklios suirties – $D_D \leq 8$ %) funkcionavimo trukmę.

3.5. Trečiojo skyriaus išvados

Iš trečiojo skyriaus padarome šias išvadas:

1. Bandymų ruožai automobilių kelių AB dangos ir dangos asfaltbetonio kokybės rodikliams nustatyti turi būti parinkti taip, kad ruožų viduje AB dangos ar KDK suirtis skirtųsi nedaug.
2. Elementariųjų bandymų ruožų ilgis turi būti ne mažesnis kaip 30 m. Siekiant gana tiksliai nustatyti AB dangos kokybės rodiklių vienodumą, bandymų ruožų skaičius atskiruose keliuose turėtų būti $n \geq 25$.
3. Parenkant bandymų ruožus, patogiausia jų būklę vertinti vizualiai ir, taikant pasiūlytą metodiką, nustatyti dangos suirties mastą. Bandymų ruožai turi būti parinkti dangoje, funkcionuojančioje ne mažiau 10 metų, išimties atvejais – funkcionuojančioje ne mažiau kaip 6–8 metus. Parenkami labai gerai išsilaikę AB dangos ruožai, kurių suirties mastas $D_D = 0\text{--}3$ %, bei blogiau išsilaikę jos ruožai, kurių $D_D = 3\text{--}20$ % ir $D_D > 20$ %.
4. Tyrimai parodė, kad tarp AB dangos suirties masto D_D ir jos lygumo Y yra glaudi sietis, kuri pagal priimtą automagistralių kritinę lygumo vertę $Y_{IRI}^{(kr)} = 2,0$ m/km (pagal 2-ąją (vidutinį) priežiūros lygį) leido nustatyti leistinąjį jų dangos suirties mastą $D_D^{(l)} = 8$ %, kai reikia atlikti jos remontą. Rodiklis $D_D^{(l)}$ – tai kriterijus, padedantis nustatyti AB dangos remontų būtinumą.
5. Tyrimų rezultatai parodė, kad Lietuvos automagistralių AB dangos būklės ir kiti kokybės rodikliai dažniausia atitiko normalųjį dėsnį.
6. Lietuvos automagistralėse AB dangoje dominuoja šie defektai: suirtis dėl staigaus atšalimo (temperatūros plyšiai) ir nuovargio suirtis (nuovargio plyšiai) bei suirtis dėl KDK nepakankamo stiprio (įstrižieji plyšiai).
7. Lietuvos automagistralių AB dangos eksploatacinių ir būklės rodiklių (suirties masto D_D , lygumo Y ir funkcionavimo trukmės T_D) koreliacijos regresijos priklausomybės parodė šių rodiklių gana glaudžią sietį:

- determinacijos koeficientų R^2 vertės gautose priklausomybėse kitėja nuo $R^2 = 0,529$ iki $R^2 = 0,955$.
8. Koreliacijos regresijos priklausomybių analizė parodė, kad stipresnė sietis yra tarp rodiklių Y_3 ir Y_4 didžiausių verčių, o tarp šių rodiklių visų verčių ji silpnesnė, todėl akivaizdu, kad, matuojant lygumą 3 ar 4 m ilgio kartele, reikia nustatyti tik prošvaisų po kartele didžiausias vertes. Taip tiriant kelių AB dangos lygumą sumažėja tyrimų trukmė ir gautami tikslesni tyrimų rezultatai.
 9. Tyrimų rezultatai parodė, kad tarp automagistralių dangos asfaltbetonio fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą, taip pat jo tankio koeficiento K_d ir jo komponentinės sudėties yra glaudi koreliacinė sietis: determinacijos koeficientų R^2 vertės porinės regresijos priklausomybėse kitėja nuo $R^2 = 0,398$ iki $R^2 = 0,990$, o daugybinės – nuo $R^2 = 0,398$ iki $R^2 = 0,998$.
 10. Remiantis gautais tyrimų rezultatais, nustatomi šie rodikliai: AB dangos leistinasis lygumas pagal IRI $Y_{IRI}^{(l)}$ ir leistinasis dangos lygumas $Y^{(l)}$, matuojant 3 ir 4 m ilgio kartele, $Y_3^{(l)}$ ir $Y_4^{(l)}$, taip pat šių lygumo rodiklių leistinieji standartiniai nuokrypiai $s_{Y_3}^{(l)}$ ir $s_{Y_4}^{(l)}$.

Automagistralių dangos ir dangos asfaltbetonio savybių rodiklių leistinosios vertės

Skyriuje parodyta, kokia būna automagistralių AB dangos būklė, nurodyti svarbiausi veiksniai, lemiantys šios AB dangos būklę. Parodyta, kad automagistralių AB dangos lygumui Y_4 daugiausia įtakos iš nagrinėtų veiksnių turi dangos suirties mastas dėl asfaltbetonio nuovargio D_n ir dėl staigaus atšalimo (kai atšalimo greitis $v_{AB} \geq 6 - 10$ °C), susidarant temperatūros plyšiams, D_t . Automagistralių AB dangos lygumas Y_{IRI} labiausiai priklauso nuo dangos suirties masto D_D ir nuo dangos funkcionavimo trukmės T_D . Automagistralių AB dangos suirties mastas D_e labiausiai priklauso nuo dangos funkcionavimo trukmės T_D ir nuo to, koks yra atstumas L_a nuo tos vietos, kur įrengta AB danga, iki jūros.

Esant AB dangos suirties mastui $D_D \leq 12 \%$, galima gana tiksliai (esant didžiausiai matavimų paklaidai $\Delta_{\max} \leq 2,26 \%$ ir esant vidutinei paklaidai $\Delta_{\text{vid}} \leq 0,92 \%$) vizualiai (naudojant etalonines nuotraukas) nustatyti dangos būklę D_D , tyrimą atliekant (kartojant) $n \geq 5$ kartus.

Skyriuje nustatytos automagistralių AB dangos rodiklių Y_{IRI} ir D_D leistinosios vertės, apskaičiuotos automagistralių dangos asfaltbetonio fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą (pastovumo S , plastiškumo F , tuštymetumo V_a) ir asfaltbetonio sutankinimo koeficiento K_d leistinosios vertės, taip pat pateikta asfaltbetonio racionali sudėtis, laiduojanti pakankamai ilgą AB dangos funkcionavimo trukmę $T_D \geq 10$ m.

Skyriaus tematika paskelbti trys autoriaus straipsniai (Petkevičius E., Petkevičius P. 2004; Petkevičius E. *et al.* 2009; Петкявичюс, Лауринавичюс 2009).

4.1. Asfaltbetonio dangos būklė ir ją lemiantys veiksniai

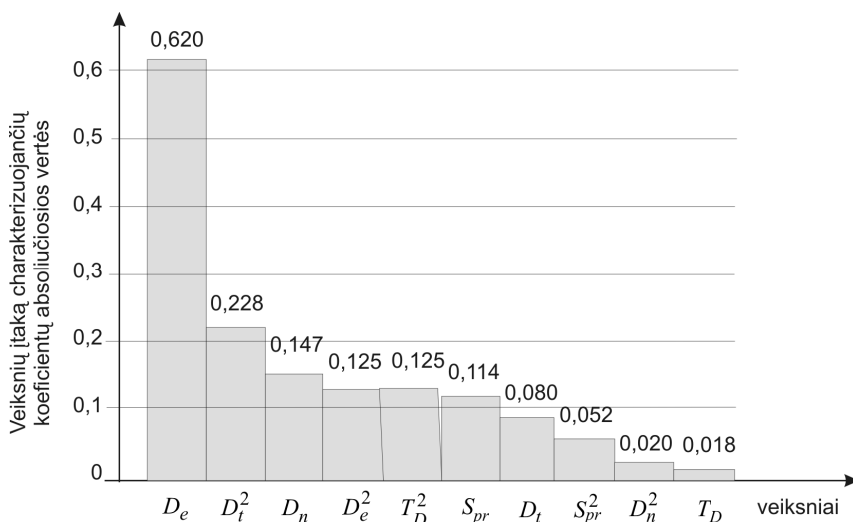
Atliktų tyrimų automagistralėje „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) rezultatai leido sudaryti daugybinės koreliacijos regresijos lygtis ir pateikti standartizuotus regresijos koeficientus, kurie rodo, kaip automagistralės asfaltbetonio dangos lygumo rodiklis Y_{IRI} , išmatuotas prietaisu DYNATEST 5051 RSP, priklauso nuo daugelio veiksnių:

$$Y_{IRI} = -0,132 + 0,147D_n + 0,020D_n^2 + 0,620D_e - 0,125D_e^2 + 0,080D_t + 0,228D_t^2 + 0,114S_{pr} + 0,052S_{pr}^2 + 0,018T_D - 0,125T_D^2; \quad R^2 = 0,426, \quad (4.1)$$

čia: Y_{IRI} – kelių AB dangos lygumas pagal tarptautinį indeksą IRI, m/km; D_n , D_e , D_t – dangos suirties mastas dėl nuovargio plyšių, dėl dangos erozijos ir dėl temperatūros plyšių, išreikšti pažeistos dangos ploto %; S_{pr} – dangos vėžetumo rodiklis, mm²; T_D – dangos funkcionavimo trukmė, metais.

Koreliacijos regresijos priklausomybės (4.1) standartizuotų regresijos koeficientų vertės rodo nagrinėjamų veiksnių įtaką dangos lygumui.

Pateikti rezultatai rodo, kad automagistralės „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) dangos lygumui daugiausia įtakos (iš nagrinėtų veiksnių) turi dangos erozinės suirties mastas D_e ir dangos suirties mastas D_t (suirtis dėl temperatūros plyšių).



4.1 pav. Įvairių veiksnių įtaka automagistralės „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2) AB dangos lygumui Y_{IRI}

Fig. 4.1. Influence of different factors on AC pavement roughness Y_{IRI} in the primary distributor “Vilnius–Ukmergė–Panevėžys” (A2)

Kadangi kelių AB dangos lygumo rodiklis Y_{IRI} , taip pat jos lygumo rodikliai $\bar{Y}_4$ ir $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ yra glaudžiai susiję su dangos suirties mastu D_D , todėl dangos lygumą ir jos suirties mastą lemiantys veiksniai yra tie patys.

Naudojantis atliktų tyrimų duomenimis, buvo sudarytos daugiaregresės priklausomybės su standartizuotais regresijos koeficientais. Šiose priklausomybėse parodyta, kaip dangos lygumo rodikliai Y_{IRI} , $\bar{Y}_4$ ir $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ priklauso nuo dangos suirties masto D_D ir nuo dangos funkcionavimo trukmės T_D (4.2–4.4 priklausomybės):

$$Y_{IRI} = 0,01441D_D + 0,0877T_D; \quad R^2 = 0,843, \quad (4.2)$$

$$\bar{Y}_4 = 0,0050D_D + 0,0326T_D; \quad R^2 = 0,760, \quad (4.3)$$

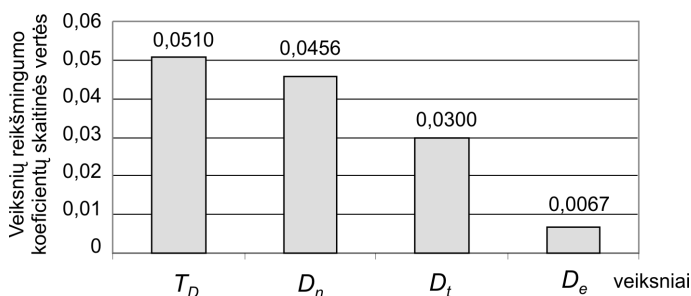
$$\bar{Y}_{\max}^{(4)} = 0,01017D_D + 0,0751T_D; \quad R^2 = 0,760. \quad (4.4)$$

Pateiktos koreliacijos regresijos priklausomybės (4.2–4.4) rodo, kad tarp nagrinėjamų rodiklių Y_{IRI} , $\bar{Y}_4$, $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ bei dangos suirties masto D_D ir jos funkcionavimo trukmės T_D yra glaudi koreliacinė sietis (determinacijos koeficientų R^2 vertės priklausomybėse įvairuoja nuo $R^2 = 0,760$ iki $R^2 = 0,843$).

Atliktų tyrimų rezultatai kelyje „Vilnius–Kaunas“ (A1) ir automagistralėje „Kaunas–Klaipėda“ (A1) leido sudaryti daugybinės koreliacijos regresijos priklausomybes ir pateikti standartizuotus regresijos koeficientus. Koreliacijos regresijos priklausomybės standartizuoti regresijos koeficientai rodo nagrinėjamų veiksnių įtaką nagrinėjamam rodikliui $\bar{Y}_4$ (4.2 pav.):

$$\bar{Y}_4 = 0,0067D_e + 0,0456D_n + 0,0300D_t + 0,0510T_D; \quad R^2 = 0,651, \quad (4.5)$$

čia: $\bar{Y}_4$ – kelių dangos lygumo, išmatuoto 4 m ilgio karte, aritmetinių vidurkių vertės, mm; D_n , D_e , D_t – dangos suirties masto rodikliai, išreikšti pažeistos dangos ploto %; T_D – dangos funkcionavimo trukmė, metais.



4.2 pav. Įvairių veiksnių įtaka kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) ir automagistralės „Kaunas–Klaipėda“ (A1) AB dangos lygumui $\bar{Y}_4$

Fig. 4.2. Influence of different factors on AC pavement roughness $\bar{Y}_4$ in the highways “Vilnius–Kaunas” (A1) and “Kaunas–Klaipėda” (A1)

Pateikti rezultatai rodo, kad kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) ir automagistralės „Kaunas–Klaipėda“ (A1) AB dangos lygumui daugiausia įtakos iš nagrinėtų veiksnių turi dangos suirties mastas dėl nuovargio plyšių D_n ir jos suirties mastas dėl temperatūros plyšių D_t , taip pat dangos funkcionavimo trukmė T_D .

Asfaltbetonio dangos lygumas, išmatuotas prietaisu DYNATEST 5051 RSP, kelyje „Vilnius–Kaunas“ (A1) labiausiai priklauso nuo šių veiksnių:

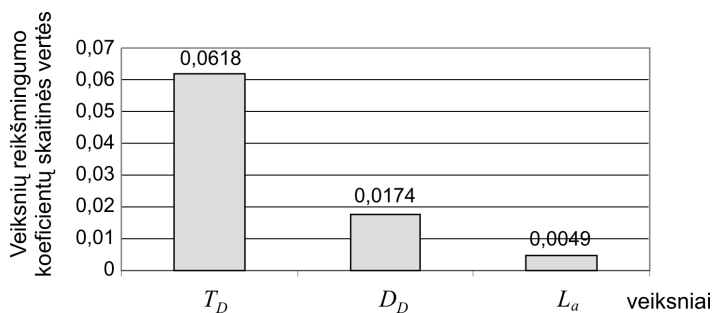
$$Y_{IRI} = 0,0174D_D + 0,0618T_D + 0,0049L_a; \quad R^2 = 0,835, \quad (4.6)$$

čia: D_D – dangos suirties mastas, išreikštas pažeistos dangos ploto %; L_a – atstumas nuo jūros iki pažeistos AB dangos, km; T_D – AB dangos funkcionavimo trukmė.

Koreliacijos regresijos priklausomybės (4.6) standartizuoti regresijos koeficientai rodo nagrinėjamų veiksnių įtaką dangos lygumui (4.3 pav.).

Pateikti rezultatai rodo, kad kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) AB dangos lygumui daugiausia įtakos iš nagrinėtų veiksnių turi dangos suirties mastas D_D ir dangos funkcionavimo trukmė T_D .

Kitos daugybinės koreliacijos regresijos priklausomybės ir standartizuoti regresijos koeficientai, charakterizuojantys automagistralių AB dangos lygumą Y , pateikti B priede.



4.3 pav. Įvairių veiksnių įtaka kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) AB dangos lygumui Y_{IRI}

Fig. 4.3. Influence of different factors on AC pavement roughness Y_{IRI} in the primary distributor “Vilnius–Kaunas (A1)”

Atliktų tyrimų kelyje „Vilnius–Kaunas“ (A1) ir automagistralėje „Kaunas–Klaipėda“ (A1) rezultatai leido nustatyti veiksnius, turinčius įtaką dangos suirties mastui D_e :

$$D_e = 0,452L_a - 0,945T_D; \quad R^2 = 0,465. \quad (4.7)$$

Pateikti rezultatai rodo, kad kelio „Vilnius–Kaunas“ (A1) ir automagistralės „Kaunas–Klaipėda“ AB dangos suirties mastui D_e dėl dangos erozijos daugiausia įtakos iš nagrinėtų veiksnių turi dangos funkcionavimo trukmė T_D , tačiau šiam rodikliui D_e taip pat nemažai įtakos turi AB dangos atstumas iki jūros L_a .

Analizuojant atliktų tyrimų rezultatus, matoma, kad Lietuvos automagistralių ir kitų svarbiausių automobilių kelių asfaltbetonio dangos lygumui įtakos turi šie veiksniai: dangos erozinės suirties mastas D_e , dangos suirties mastas dėl temperatūros ir nuovargio plyšių D_t ir D_n , dangos funkcionavimo trukmė T_D ir jos vėžetumo rodiklis S_{pr} . Automobilių sraute daugėjant STP, dangos vėžetumo sunku išvengti, nes būtent sunkieji krovininiai automobiliai ir sukelia AB dangos vėžetumą. Labai svarbu prailginti AB dangos funkcionavimo trukmę. Veiksio S_{pr} (vėžetumo rodiklio), darančio poveikį kelių dangos lygumui, išvengti sunku,

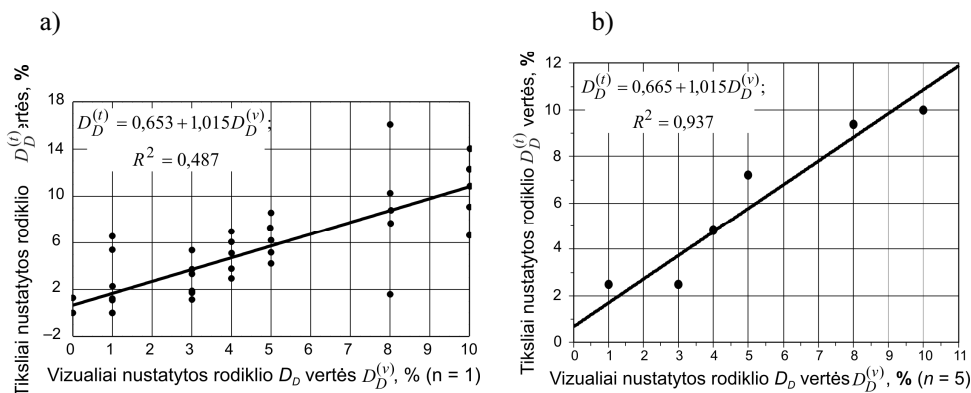
o veiksnio T_D – neįmanoma. Veiksny D_e atsiranda ir turi įtakos AB dangai ir KDK dėl specifinių Lietuvos klimato sąlygų: kelių dangos temperatūra iš teigiamos į neigiamą ir atvirkščiai per vienerius metus pakinta 50–80 ir daugiau kartų. Veiksny D_n atsiranda dėl transporto priemonių ratų apkrovų, kurių veikiamą AB danga įlinksta (o, nuėmus apkrovą, grįžta į pirmąją padėtį), daugkartinio poveikio. Veiksny D_t atsiranda dėl staigaus asfaltbetonio dangos atšalimo, kai danga atšąla iki $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ir žemesnės temperatūros, o jos atšalimo greitis v_{AB} būna $v_{AB} \geq 6 - 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ per valandą. Veiksnių D_e , D_t ir D_n įtaką galima reguliuoti, parenkant viršutinio ir žemesnių sluoksnių AB sudėtį, AB ir kitų sluoksnių storius bei visų konstrukcinių sluoksnių medžiagas ir užtikrinant dangos bei kelkraščių reikiamus skersinius nuolydžius, kad ant dangos neužsilaikytų lietaus ar sniego bei ledo tirpsmo vanduo.

Pablogėjus dangos lygumui, dėl automobilių ratų dinaminių apkrovų ir dėl klimato veiksnių, didėjant ardymo poveikiui bei didėjant pažaidų matmenims, atsiranda AB dangos ištrupų, o vėliau išdaužų. Taigi Lietuvos automobilių kelių AB dangos charakteringiausios pažaidos yra plyšiai, ištrupos ir išdaužos. Platūs ir gilūs plyšiai bei išdaužos labai mažina ne tik važiavimo patogumą, bet ir saugumą bei susisiekimo priemonių važiavimo greitį, todėl šių pažaidų taisymas yra svarbiausia kelių AB dangos profilaktikos remontų problema.

Pateiktos koreliacijos regresijos priklausomybės (4.1–4.7) ir B priedas rodo, kad tarp nagrinėjamų rodiklių Y_{IRI} , $\bar{Y}_4$, $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ bei dangos suirties masto D_D rodiklių, jos vėžetumo S_{pr} ir funkcionavimo trukmės T_D yra pakankamai glaudi sąsaja. Atskirose priklausomybėse determinacijos koeficientų R^2 vertės siekia nuo $R^2 = 0,426$ iki $R^2 = 0,843$. Išnagrinėti automagistralių AB dangos lygumo Y ir jos suirties masto D_D rodikliams įtakos turintys veiksniai leidžia padaryti išvadą, kad didžiausią įtaką šiems rodikliams turi automagistralių AB dangos funkcionavimo trukmė T_D .

Siekiant supaprastinti automobilių kelių AB dangos diagnostiką, dangos suirties mastą D_D galima nustatyti greitai ir operatyviai – stebint dangą iš 30–40 km/val. greičiu važiuojančio automobilio ir jos būklę (suirties mastą D_D) nustatant vizualiai (pagal etalonines nuotraukas), t. y. lyginant dangos suirties mastą D_D su tokią suirtį atitinkančia suirties etalonine nuotrauka, prie kurios nurodytas dangos suirties mastas D_D , %. Iki šiol nebuvo aišku, kiek tiksliai galima nustatyti dangos suirties mastą D_D , naudojantis etaloninėmis nuotraukomis, todėl buvo atliktas eksperimentas: tuose pačiuose dangos bandymų ruožuose jos suirties masas buvo nustatomas tiksliai, taikant 1 skyriuje aprašytą metodiką bei nustatomas

vizualiai, naudojantis etaloninėmis nuotraukomis. Tyrimų rezultatai (4.4 pav.) parodė, kad tarp abiem metodais nustatytų suirties masto D_D verčių yra patenkinama sietis: lyginant rodiklio D_D individualias vertes atskiruose bandymų ruožuose, jų determinacijos koeficientas $R^2 = 0,487$, o lyginant rodiklio D_D vertes, nustatytas vizualiai, kai kartojama $n = 5$ kartus, su tiksliai nustatytomis D_D vertėmis, ši sietis tampa daug glaudesnė – determinacijos koeficientas R^2 padidėja nuo $R^2 = 0,487$ iki $R^2 = 0,937$, o nustatomų rodiklio D_D verčių didžiausia paklaida $\Delta_{\max}$ sumažėja nuo $\Delta_{\max} = 8,06\%$ iki $\Delta_{\max} = 2,26\%$ bei jų vidutinės paklaidos sumažėja nuo $\Delta_{\text{vid}} = 2,34\%$ iki $\Delta_{\text{vid}} = 0,92\%$. Nustatant dangos suirties mastą D_D vizualiai, reikia kiekviename dangos bandymų ruože nustatyti rodiklio D_D vertes, kai kartojama $n \geq 5-7$ kartų, tada su tikimybe $P > 95\%$ bus užtikrinta, kad rodiklio D_D verčių nustatymo didžiausia paklaida $\Delta_{\max}$ bus $\Delta_{\max} < 1,5\%$.



4.4 pav. Vizualiai $D_D^{(v)}$ ir tiksliai $D_D^{(t)}$ nustatytų rodiklio D_D verčių sietis,

kai verčių nustatymo kartojimas n : a) $n = 1$; b) $n = 5$

Fig. 4.4. Correlation dependence between visually $D_D^{(v)}$ and precisely $D_D^{(t)}$ determined D_D values when values are repeatedly determined n : a) $n = 1$; b) $n = 5$

Automobilių kelių AB dangos suirties masto D_D vertes viename bandymų ruože vizualiai (pagal etalonines nuotraukas), kai kartojama $n \geq 5-7$ kartų, galima nustatyti labai operatyviai – per 2–3 minutes.

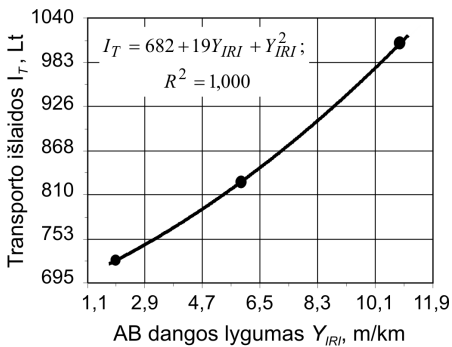
4.2. Automagistralių asfaltbetonio dangos ir dangos asfaltbetonio savybių rodiklių leistinosios vertės

Prieš teikiant rekomendacijas automagistralių AB dangos remontams planuoti, nustatome kritinį dangos lygumą $Y_{IRI}^{(kr)}$.

Transporto ir kelių tyrimo instituto (TKTI) atlikti tyrimai rodo, kad šiuolaikės kelių tiesybos technologijos leidžia Lietuvoje pasiekti naujai įrengtos AB dangos lygumą pagal IRI $Y_{IRI} \leq 0,5 - 1,0$ m/km, o dangos remontams skiriant tiek lėšų, kiek buvo skiriama pastaraisiais metais (laikotarpiu prieš krizę), jos lygumas blogėjo $\Delta Y_{IRI} = 0,092$ m/km per metus (vidutinė AB dangos lygumo blogėjimo rodiklio ΔY_{IRI} vertė, įvertinant laiku, pavėluotai ir labai pavėluotai remontuojamus AB dangos ruožus).

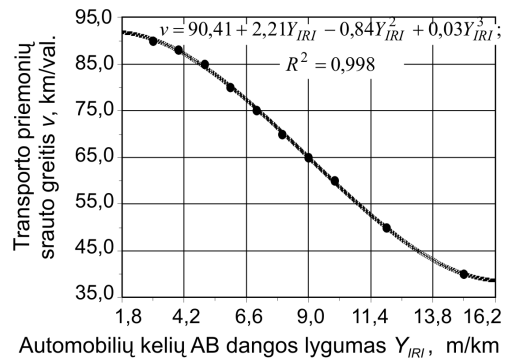
Transporto ir kelių tyrimų instituto duomenys rodo (4.5 pav.), kad kelių AB dangos lygumui pagal IRI pablogėjus nuo $Y_{IRI}^{(f)} = 1,75$ m/km iki $Y_{IRI} = 2,25$ m/km, transporto išlaidos I_T , tenkančios 1000 automobilių nuvažiuoti 1 km kelio, padidėja nuo $I_T = 718$ Lt iki $I_T = 730$ Lt, t. y. padidėja 1,7 %, o dangos lygumui pagal IRI pablogėjus nuo $Y_{IRI} = 1,75$ m/km iki $Y_{IRI} = 2,5$ m/km, transporto išlaidos padidėja nuo $I_T = 718$ Lt iki $I_T = 736$ Lt, t. y. padidėja 2,5 % ($Y_{IRI}^{(f)} = 1,75$ m/km – realiai praktikoje pasitaikanti vidutinė iš didžiausių rodiklio Y_{IRI} vertė (didžiausių verčių aritmetinis vidurkis), priimant automagistralių AB dangą eksploatuoti). Ši $Y_{IRI}^{(f)}$ vertė ($Y_{IRI}^{(f)} = 1,75$ m/km) paimta iš norminio dokumento (IT ASFALTAS 08) 1 priedo 1.7 lentelės (tai magistralinių kelių AB dangos leistinąjį ribinį lygumą $Y_{IRI}^{(l)} \leq 1,50$ m/km viršijanti vertė), kai priėmimo komisija gali leisti įrengtą AB dangą eksploatuoti. Su šia AB dangos lygumo verte leidžiama dangą eksploatuoti (labai nepalankus atvejis), kai numatomos nedidelės piniginės išskaitos (išskaitų koeficiento k vertė $k = 0,025$). Ši vertė $Y_{IRI}^{(f)} = 1,75$ m/km yra aritmetinis vidurkis AB dangos ribinio lygumo be išskaitų vertės $Y_{IRI} = 1,5$ m/km ir AB dangos lygumo vertės $Y_{IRI} = 2,0$ m/km. Ši AB dangos lygumo, leidžiant įrengtą dangą eksploatuoti, vidutinė vertė automagistralėms taikoma kaip didžiausia galima AB dangos lygumo vertė, leidžiant įrengtą AB dangą eksploatuoti (su piniginių išskaitomis).

Norminiame dokumente (IT ASFALTAS 08) nurodyta (1 priedas 1.7 lentelė), kad magistralinio kelio įrengtą AB dangą galima leisti eksploatuoti esant $Y_{IRI}^{(f)} = 2,5$ m/km – tai galimas ribinis atvejis, kai piniginių išskaitų koeficiento k



4.5 pav. Transporto išlaidų (patiriamų 1000 automobilių nuvažiuojant 1 km atstumą) I_T ir kelių AB dangos lygumo Y_{IRI} sistis

Fig. 4.5. Correlation dependence between traffic expenditures (on 1000 motor vehicles covering a distance of 1 km) I_T and AC road pavement roughness Y_{IRI}



4.6 pav. Transporto priemonių srauto greičio v ir automobilių kelių dangos lygumo Y_{IRI} sistis

Fig. 4.6. Correlation dependence between traffic flow velocity v and AC pavement roughness Y_{IRI}

vertė $k = 0,20$. Šis ribinis atvejis neturėtų būti taikomas leidžiant eksploatuoti įrengtą automagistralių AB dangą.

Sumažėjus AB dangos lygumui pagal IRI nuo $Y_{IRI} = 1,75$ m/km iki $Y_{IRI} = 2,25$ m/km, transporto priemonių srauto vidutinis greitis v sumažėja nuo $v = 90,4$ km/val. iki $v = 90,0$ km/val., o rodikliui Y_{IRI} sumažėjus iki $Y_{IRI} = 2,5$ m/km, transporto priemonių srauto vidutinis greitis v sumažėja iki $v = 89,7$ km/val., t. y. nedaug (4.6 pav.).

Siūlome automagistralių AB dangos lygumo pagal IRI vertę $Y_{IRI} = 2,25$ m/km laikyti kriterijumi nustatant AB dangos funkcionavimo iki remonto kritinę trukmę T_D , o lygumo vertę $Y_{IRI} = 2,5$ m/km laikyti kriterijumi nustatant dangos konstrukcijos funkcionavimo iki remonto kritinę trukmę T_K . Siūlomu atveju rodiklių T_D ir T_K didžiausios vertės yra šios:

$$T_D = \frac{Y_{IRI}^{(kr)} - Y_{IRI}^{(leist)}}{\Delta Y_{IRI}} = \frac{2,25 - 1,75}{0,092} = 5,43 \approx 5 \text{ metai}, \quad (4.8)$$

$$T_K = \frac{Y_{IRI}^{(kr)} - Y_{IRI}^{(leist)}}{\Delta Y_{IRI}} = \frac{2,5 - 1,75}{0,092} = 8,15 \approx 8 \text{ metai}. \quad (4.9)$$

Įrengiant lygesnę AB dangą, pavyzdžiui, pasiekus jos lygumo vertę pagal IRI $Y_{IRI} = 1,0$ m/km, AB dangos faktinė funkcionavimo trukmė pailgėtų iki 10,5–11 metų, garantuojant automagistralėse 2-ąją priežiūros lygį, o garantuojant 1-ąją priežiūros lygį, ji būtų 5,0–5,5 metų. Tai vertės, rodančios, kad reikia atlikti AB dangos remontą.

Automagistralių AB dangos lygumo kritinės vertės bei dangos ir jos konstrukcijos funkcionavimo trukmės iki dangos T_D ir KDK T_K remontų rekomenduojamos leistinosios vertės pateiktos 4.1 lentelėje.

Naudojant 4.1 lentelėje pateiktas automagistralių AB dangos lygumo Y_{IRI} ir suirties masto D_D kritines vertes, galima efektyviai planuoti lėšas dangos ir jos konstrukcijos remontams atlikti.

Naudojant 4.1 lentelėje pasiūlytas automagistralių dangos lygumo ir būklės rodiklių kritines vertes, galima objektyviau įvertinti jų AB dangos lygumą, o kartu ir dangos būklę.

4.1 lentelė. Lietuvos automagistralių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos būklės parametrų norminės vertės

Table 4.1. Normative values of the status of AC pavement and RPC of Lithuanian primary distributors

Kelių dangos ar jos konstrukcijos būklės rodiklis ir jo matavimo vienetas	Kelių dangos ar jos konstrukcijos būklės rodiklio kritinė vertė	
	siūloma	pasiūlyta anksčiau (Petkevičius, Sivilevičius 2000)
Lygumas Y_{IRI} , m/km:		
iki AB dangos remonto	$\leq 2,25$	$\leq 2,50$
iki KDK remonto	$\leq 2,50$	$\leq 2,75$
AB dangos suirties mastas D_D , %	≤ 8	≤ 8
Funkcionavimo trukmė T , metais:		
iki AB dangos remonto T_D	$\leq 5,0$	$\leq 5,5$
iki KDK remonto T_K	$\leq 8,0$	$\leq 8,0$

Mūsų tyrimai parodė, kad automagistralių AB dangos lygumo blogėjimo rodiklis ΔY_{IRI} (vertinant dangos lygumą pagal indeksą IRI Y_{IRI} , m/km) dangos eksploataavimo pirmųjų 10 metų laikotarpiu vidutiniškai sudaro $\Delta Y_{IRI} = 0,05$ m/km per metus. Naujai įrengtos automagistralių AB dangos lygumas vidutiniškai sudaro $\bar{Y}_{IRI} = 0,9$ m/km (esant standartiniam jo nuokrypiui $S_y = 0,215$ m/km). Taip pat nustatėme šias priklausomybes:

$$Y_{IRI} = 0,928^{0,043T}, \quad R^2 = 0,89, \quad (4.10)$$

$$Y_{IRI} = 0,909^{0,046T}, \quad R^2 = 0,82, \quad (4.11)$$

čia: T – dangos funkcionavimo trukmė, metais: koreliacijos priklausomybė (4.10) gauta keliui „Vilnius–Kaunas–Klaipėda“ (A1), o priklausomybė (4.11) – automagistralei „Vilnius–Ukmergė–Panevėžys“ (A2).

Automagistralių AB dangą prižiūrint pagal aukštą priežiūros lygį, turi būti užtikrinta rodiklio Y_{IRI} reikiama vertė $Y_{IRI}^{(R)} \leq 1,5$ m/km (KPV PN – 05). Negerantuoju rodiklio Y_{IRI} nurodytos vertės $Y_{IRI}^{(R)}$, dangą tikslinga nedelsiant suremontuoti.

Automagistralių AB dangos tarpremontinį laikotarpį, siekiant užtikrinti dangos lygumą Y_{IRI} reikiama vertė $Y_{IRI}^{(R)}$, siūloma nustatyti iš šios formulės:

$$T = \frac{Y_{IRI}^{(R)} - Y_{IRI}^{(P)}}{\Delta Y_{IRI}}, \quad (4.12)$$

čia $Y_{IRI}^{(P)}$ – pradinis (naujai įrengtos AB dangos) lygumas, m/km.

Norint laiduoti automagistralių AB dangos reikiama lygumą $Y_{IRI}^{(R)} \leq 1,5$ m/km, būtina gana dažnai, maždaug kas 5 metai ($T = \frac{1,5 - (0,9 + 1,64 \cdot 0,215)}{0,05} = 4,95$ m.)

remontuoti jų dangą.

Siekiant taupyti lėšas, automagistralių dangos tarpremontinį laikotarpį T_D (esant šalies sunkiai ekonominei padėčiai) galima padidinti iki $T_D = 6$ metų, užtikrinant dangos lygumą $Y_{IRI} \leq 1,55$ m/km. Šiuo atveju galima sutaupyti apie 20 % automagistralių dangos remontui skiriamų lėšų, kurias būtų galima panaudoti kitoms labai svarbioms automobilių kelių tobulinimo programoms realizuoti.

Naudodamiesi automagistralių AB dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir jos lygumo, matuojant 4 m ilgio karte, $\bar{Y}_4$ gautomis priklausomybėmis, taip pat naudodamiesi AB dangos įrengimo taisyklėmis (IT ASFALTAS 08), kuriomis sunormintas kė tik įrengtos AB dangos lygumas $Y_{IRI} \leq 1,5$ m/km, galima sunorminti šios dangos lygumą, matuojant 4 m ilgio karte. Taip pat galima sunorminti AB dangos lygumo $\bar{Y}_4$ vienodumo rodiklius – standartinių nuokrypių s_y ir $s_{y\max}$ vertes.

Naujai įrengtos dangos lygumą, matuojant 4 m ilgio kartele, galima nustatyti iš šios priklausomybės:

$$Y_{IRI} = -0,525 + 2,58\bar{Y}_4 \quad (4.7 \text{ pav.}); \text{ kai } Y_{IRI} = 1,5 \text{ m/km, tai } \bar{Y}_4 = 0,80 \text{ mm.}$$

Atlikti tyrimai kelyje „Vilnius–Kaunas“ (A1) bei automagistralėje „Kaunas–Klaipėda“ (A1) ir gautos porinės koreliacijos regresijos priklausomybės leido sunorminti AB dangos vienodumo pagal jos lygumo Y_4 rodiklį s_y , matuojant lygumą 4 m ilgio kartele:

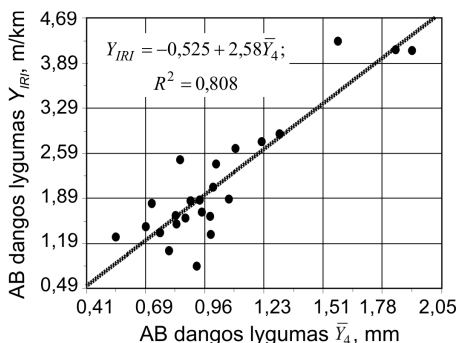
kelias „Vilnius–Kaunas“ (A1):

$$s_y = 0,048 + 0,798\bar{Y}_4; \text{ kai } \bar{Y}_4 = 0,80 \text{ mm, tai } s_y = 0,69 \text{ mm;}$$

automagistralė „Kaunas–Klaipėda“ (A1):

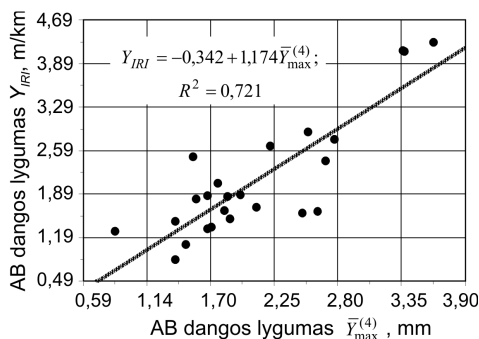
$$s_y = -0,208 + 0,896\bar{Y}_4; \text{ kai } \bar{Y}_4 = 0,80 \text{ mm; tai } s_y = 0,51 \text{ mm.}$$

Rodiklio s_y vertę $s_y = 0,60$ mm siūloma laikyti leistinąja verte.



4.7 pav. AB dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir visų lygumo verčių aritmetinių vidurkių $\bar{Y}_4$ sietis (kelias „Vilnius–Kaunas“ (A1))

Fig. 4.7. Correlation dependence between AC pavement roughness Y_{IRI} and arithmetic means $\bar{Y}_4$ of all roughness values (road “Vilnius–Kaunas” (A1))



4.8 pav. AB dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir didžiausių lygumo verčių aritmetinių vidurkių $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ sietis (kelias Vilnius–Kaunas (A1))

Fig. 4.8. Correlation dependence between AC pavement roughness Y_{IRI} and arithmetic means of maximal roughness values $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ (road “Vilnius–Kaunas” (A1))

Naudojantis automagistralių AB dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir jos lygumo, matuojant 4 m ilgio kartele, $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ gautomis priklausomybėmis, taip pat naudojantis AB dangos įrengimo taisyklėmis (IT ASFALTAS 08), kuriose nurodytas

ką tik įrengtos AB dangos leistinasis lygumas $Y_{IRI} \leq 1,5$ m/km, galima sunorminti šios dangos lygumą, matuojant 4 m ilgio kartele, $\bar{Y}_{\max}^{(4)} : Y_{IRI} = -0,342 + 1,174\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ (4.8 pav.). Kai $Y_{IRI} = 1,5$ m/km, tai $\bar{Y}_{\max}^{(4)} = 1,60$ mm.

Tyrimai, atlikti kelyje „Vilnius–Kaunas“ (A1) ir automagistralėje „Kaunas–Klaipėda“ (A1), ir gautos porinės koreliacijos regresijos priklausomybės leido sunorminti AB dangos lygumą pagal jos vienodumo rodiklį $s_{y_{\max}}$, matuojant lygumą 4 m ilgio kartele:

kelias „Vilnius–Kaunas“ (A1):

$$s_{y_{\max}} = 0,209 + 0,498\bar{Y}_{\max}^{(4)}; \text{ kai } \bar{Y}_{\max}^{(4)} = 1,60 \text{ mm, tai } s_{y_{\max}} = 1,01 \text{ mm};$$

automagistralę „Kaunas–Klaipėda“ (A1):

$$s_{y_{\max}} = -0,298 + 0,582\bar{Y}_{\max}^{(4)}; \text{ kai } \bar{Y}_{\max}^{(4)} = 1,60 \text{ mm; } s_{y_{\max}} = 0,60 \text{ mm.}$$

Rodiklio $s_{y_{\max}}$ vertę $s_{y_{\max}} = 0,80$ mm siūloma laikyti leistinąja verte.

Naudojantis automagistralių AB dangos lygumo pagal IRI Y_{IRI} ir lygumo, matuojant 4 m ilgio kartele, $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$ gautomis priklausomybėmis, taip pat naudojantis 4.1 lentelę, kurioje pateiktos AB dangos lygumo Y_{IRI} kritinės vertės $Y_{IRI} = 2,25$ m/km ir $Y_{IRI} = 2,5$ m/km, kai reikia atlikti dangos arba KDK remontą, galima sunorminti dangos lygumą $\bar{Y}_4$ ir $\bar{Y}_{\max}^{(4)}$, matuojant 4 m ilgio kartele:

$$Y_{IRI} = -0,525 + 2,58\bar{Y}_4; \text{ kai } Y_{IRI} = 2,25 \text{ m/km; tai } \bar{Y}_4 = 1,10 \text{ mm};$$

$$Y_{IRI} = -0,525 + 2,58\bar{Y}_4; \text{ kai } Y_{IRI} = 2,5 \text{ m/km; tai } \bar{Y}_4 = 1,20 \text{ mm};$$

$$Y_{IRI} = -0,342 + 1,174\bar{Y}_{\max}^{(4)}; \text{ kai } Y_{IRI} = 2,25 \text{ m/km, tai } \bar{Y}_{\max}^{(4)} = 2,20 \text{ mm};$$

$$Y_{IRI} = -0,342 + 1,174\bar{Y}_{\max}^{(4)}; \text{ kai } Y_{IRI} = 2,5 \text{ m/km, tai } \bar{Y}_{\max}^{(4)} = 2,40 \text{ mm.}$$

Analogiškai nustatytos ir automagistralių AB dangos lygumo vienodumo rodiklių s_y , $s_{y_{\max}}$ leistinosios vertės (4.2 lentelė).

Taikant pateiktus siūlymus automagistralių AB dangos eksploatacinėms savybėms vertinti, pagerėtų dangos diagnostika ir šią dangą būtų galima laiku (nėvėluojant) suremontuoti.

Iš automagistralių dangos išgręžtuose ėminiuose komponentų vertės kitėjo taip (masės %): $CA = 51,6\text{--}76,3$; $FA = 15,1\text{--}37,9$; $MF = 4,2\text{--}10,5$; $B = 3,4\text{--}6,6$. Komponentų CA ir FA šios vertės kitėjo plačiau negu yra nurodytos

4.2 lentelė. Automagistralių AB dangos lygumo (matuojant 4 m ilgio kartele) ir jo vienodumo rodiklių leistinosios vertės

Table 4.2. Permissible values of AC road pavement roughness values (measured with a 4 m long staff) and homogeneity indices of AC pavement

AB dangos lygumo ir jo vienodumo rodikliai bei šių rodiklių matavimo vienetai	AB dangos lygumo ir jo vienodumo rodiklių leistinosios vertės		
	naujai įrengtos dangos	prieš dangos remontą	prieš KDK remontą
Lygumo, matuojant 4 m ilgio kartele, rodikliai:			
$\bar{Y}_4$, mm	0,80	1,10	1,20
$\bar{Y}_{\max}^{(4)}$, mm	1,60	2,20	2,40
Lygumo vienodumo rodikliai:			
s_y , mm	0,60	0,90	1,00
$s_{y_{\max}}$, mm	0,80	1,20	1,30

rekomenduotos leistinosios (Petkevičius, Sivilevičius 2008; Petkevičius, Podagėlis 2000) ribos, komponento *MF* jos daugiausia (83,7 % atvejų) buvo už rekomenduotų leistinųjų ribų, komponento *B* jos taip pat labai dažnai (68,6 % atvejų) buvo už leistinųjų ribų, nepasiekusios didžiausios leistinosios vertės ir labai ryškiai pereidamos (2,25 masės %) mažiausią leistinąją vertę. Kadangi VGTU Kelių katedros mokslo darbe (Petkevičius, Sivilevičius 2008) nurodyta, kad didžiausią funkcionavimo trukmę, veikiant ciklinei apkrovai iki suirties, pasiekia šios sudėties AB: *CA* = 64,0 masės %; *FA* = 24,5 masės %; *MF* = 11,5 masės %; *B* = 6,8 masės %, ir kad didžiausias atsparumo tempimui lenkiant $R_l^{(a)}$ vertes ir didžiausią atsparumą nuovargiui užtikrina šios komponentinės sudėties asfaltbetonis: *CA* = 56,5–71,5 masės %; *FA* = 16,0–34,0 masės %; *MF* = 9,5–13,5 masės %; *B* = 6,0–7,0 masės % (Подгагель 1987), o darbe (Petkevičius, Sivilevičius 2008) – *MF* = 9,5–13,5 masės %; *B* = 6,2–7,4 masės %, tyrimais nustatytų AB komponentinės sudėties racionalių verčių, kurios artimos AB komponentinės sudėties vertėms, užtikrinančioms didžiausią AB atsparumą nuovargiui, čia nepateikiama. Nustatytos automagistralių AB fizinių bei mechaninių rodiklių leistinosios vertės garantuoja, kad, praėjus ne mažiau kaip 8 metams ($T \geq 8$ metai), dangos būklė pagal jos suirties mastą D_D bus $D_D \leq 8$ %). Lietuvos automagistralių dangos (viršutinio sluoksnio) asfaltbetonio fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą ir koeficiento K_d leistinosios vertės pateiktos 4.3 lentelėje.

4.3 lentelė. Automagistralių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio kokybės rodiklių leistinosios vertės

Table 4.3. Permissible values of AC quality indices in the wearing layer of roads

Asfaltbetonio kokybės rodiklis ir jo matavimo vienetas	Kokybės rodiklio leistinoji vertė	
	siūloma	pasiūlyta anksčiau (Čygas 1997)
Fiziniai ir mechaniniai rodikliai pagal Maršalą:		
pastovumas S , kN	$\geq 7,0$	6,0–10,0
plastiškumas F , mm	2,5–4,0	3,0–6,0
tuštymėtumas v_a , tūrio %	1,5–3,5	2,0–4,0*
tankio koeficientas K_d	$\geq 0,99$	$\geq 0,98^*$

* Pagal TRA ASFALTAS 08 reikalavimus

Šios leistinosios vertės buvo nustatytos atlikus priklausomybių, pateiktų 3.27 ir 3.28 pav. C priede ir (3.2)–(3.13) formulėse, analizę. Užtikrinant 4.3 lentelėje pateiktą AB kokybės rodiklių lestinąsias vertes, karštojo maišymo asfaltinių mišinių gamybos metu ir įrengiant automagistralių AB dangą, bus garantuotas dangos asfaltbetonio didžiausias atsparumas nuovargiui, taip pat bus užtikrinama gana ilga dangos funkcionavimo iki remonto trukmė T_D – ji bus $T_D \geq 8$ metai.

Atlikus mūsų tyrimų rezultatų, gautų automagistralių AB dangos ruožuose, kuriuose danga be ženklios suirties ($D_D \leq 3,0$ %) funkcionavo 10 ir daugiau metų, analizę, nustatėme automagistralių dangos asfaltbetonio racionalią komponentinę sudėtį (4.4 lentelė).

4.4 lentelė. Automagistralių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio racionali sudėtis

Table 4.4. Rational composition of AC in the wearing layer of roads

Asfaltbetonio komponentai	Racionalus komponento kiekis, masės %	
	siūlomas	pasiūlytas anksčiau (Подгаль 1987)
Stambesni kaip 2 mm grūdėliai CA	64,0–64,5	64,0
(0,09–2) mm stambumo grūdėliai FA	25,2–25,5	25,0
Smulkesni kaip 0,09 mm grūdėliai MF	10,3–10,5	11,0
Bitumas B	6,5–6,6	6,6

Užtikrinant 4.4 lentelėje pateiktas asfaltbetonio komponentų kiekių racionalias vertes karštojo maišymo asfaltinių mišinių gamybos metu ir įrengiant automagistralių AB dangą, bus garantuota dangos funkcionavimo (be ženklios suirties – $D_D \leq 3,0$ %) iki remonto trukmė $T_D \geq 10$ metų.

4.3. Ketvirtojo skyriaus išvados

Iš ketvirtojo skyriaus galima padaryti šias išvadas:

1. Automagistralių AB dangos lygumui daugiausia įtakos turi šie veiksniai: pradinis dangos lygumas, pasiektas įrengus dangą Y_{IRI} , m/km, dangos konstrukcijos stipris, dangos ir jos konstrukcijos funkcionavimo trukmė, vietovės klimatas ir drėkinimo sąlygos, gruntai ir dangos asfaltbetonio kokybė.
2. Pasiūlyta paprasta asfaltbetonio dangos būklės nustatymo metodika, kurią naudojant, 30–50 m ilgio kelio važiavimo juostos kiekviename bandymų ruože galima operatyviai (per 2–3 minutes, kartojant $n \geq 5 - 7$ kartus), naudojantis etaloninėmis nuotraukomis, nustatyti AB dangos suirties mastą D_D .
3. Ištirti Lietuvos automagistralių AB dangos būklės ir kiti eksploataciniai rodikliai parodė, kad automagistralių dangos lygumo rodikliai Y_{IRI} , $\bar{Y}_4$ ir $\bar{Y}_{\max}$ labai priklauso nuo dangos funkcionavimo trukmės T_D ir dangos suirties masto D_D .
4. Automagistralių asfaltbetonio dangos eksploataciniams ir būklės rodikliams pasiūlytos leistinosios vertės, leidžiančios objektyviai įvertinti AB dangos būklę ir numatyti bei planuoti AB dangos ir jos konstrukcijos remontus bei išlaidas šiems remontams atlikti. Taip pat pasiūlytos šios leistinosios vertės: AB dangos funkcionavimo trukmės iki jos remonto – T_D , dangos konstrukcijos funkcionavimo trukmės iki jos remonto – T_K .
5. Atliktų tyrimų rezultatai leido pasiūlyti automagistralių dangos lygumo, matuojant 4 m ilgio karteile, ir šio lygumo vienodumo rodiklių leistinas vertes.
6. Automagistralių dangos asfaltbetonio sudėties ir fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą bei AB tankio koeficiento K_d tyrimai, parodę glaudžią AB komponentinės sudėties ir šių rodiklių sietį, leido nustatyti automagistralių dangos asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių pagal Maršalą ir tankio koeficiento leistinas vertes.
7. Garantuojant mūsų pasiūlytas automagistralių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio komponentinės sudėties rodiklių racionalias vertes bus užtikrinta gana ilga ($T_D \geq 10$ metų) dangos funkcionavimo iki remonto trukmė.

Bendrosios išvados

1. Kelių AB dangos funkcionavimo trukmę lemia šie svarbiausi dangos ir KDK rodikliai: pradinis AB dangos lygumas Y_{IRI} , m/km; dangos lygumo blogėjimo rodiklis ΔY_{IRI} , m/km per metus; KDK pradinis stipris (išreiškiamas KDK stiprio koeficientu K_{st}); KDK stiprio koeficiento K_{st} mažėjimas.
2. Automobilių kelių AB dangos bandymų ruožai parenkami taip, kad ruožų viduje AB dangos tiriamos charakteristikos skirtųsi nedaug. Nustatant AB dangos kokybės rodiklius reikia, kad bandymų ruožų atskiruose keliuose skaičius n būtų $n \geq 25$.
3. Parenkant bandymų ruožus, jų dangos būklę siūlome vertinti vizualiai. Bandymų ruožai parenkami dangoje, funkcionuojančioje ne mažiau kaip 8 metus, išimties atvejais funkcionuojančioje ne mažiau kaip 6–8 metus. Jie parenkami atsitiktinai, naudojantis atsitiktinių skaičių lentele.
4. Išanalizavus Lietuvos automagistralių AB dangos eksploatacinių rodiklių skaitines vertes, įrodyta, kad būtinojo tirti dangos elementariojo ruožo ilgis L_e turi būti $L_e \geq 30$ metrų.

5. Automagistralių AB dangos lygumo Y_{IRI} , suirties masto D_D ir kitų rodiklių tyrimų rezultatai parodė, kad tarp šių rodiklių yra gana glaudi sietis: determinacijos koeficiento R^2 vertės koreliacijos priklausomybėse buvo nuo $R^2 = 0,426$ iki $R^2 = 0,955$.
6. Atlikus automagistralių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio sudėties ir fizinių bei mechaninių rodiklių pagal Maršalą, jo tankio koeficiento K_d ir AB komponentinės sudėties tyrimus, nustatyta, kad tarp šių rodiklių yra glaudi koreliacijos sietis (determinacijos koeficiento R^2 vertės priklausomybėse įvairuoja nuo $R^2 = 0,398$ iki $R^2 = 0,998$).
7. Taupant lėšas, automagistralių dangos tarpremontinį laikotarpį T_D siūlome priimti $T_D = 6$ metai, užtikrinant jų dangos lygumo pagal rodiklį Y_{IRI} vertę $Y_{IRI} \leq 1,55$ m/km.
8. Nustatytos dangos asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių pagal Maršalą ir tankio koeficiento K_d leistinosios vertės garantuoja AB dangos funkcionavimo be ženklios suirties ($D_D \leq 8$ %) gana ilgą ($T_D \geq 8$ metai) trukmę.
9. Nustatyta automagistralių dangos viršutinio sluoksnio asfaltbetonio racionali komponentinė sudėtis garantuoja dangos funkcionavimo be didesnės suirties ($D_D \leq 3$ %) trukmę $T_D \geq 10$ metų.

Literatūros sąrašas

- AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. 1993. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 720 p.
- Ahammed, M. A.; Tighe, S. L. 2008. Statistical modeling in pavement management – do the models make sense? *Transportation Research Record* 2084: 3–10.
- Al-Quadi, I. L.; Loulizi, A.; Janajreh I., *et al.* 2002. Pavement response to dual tires and new wide – base ties at same tire pressure, *Transportation Research Record* 1806: 38–47.
- Arand, W. 1991. Die Dauerhaftigkeit von Asphaltstraßen unter Berücksichtigung de Klimas, *Strasse und Autobahn* 2: 80–88.
- Asfaltbetonio dangų defektų nustatymo metodika*. 1998. Kaunas: TKTİ. 52 p.
- Automobilių kelių remontų planavimo normatyvai*. 2004. Vilnius: LAKD prie Susisiekimo ministerijos. 22 p.
- Bausano, J. P.; Chatti, K.; Williams, R. C. 2004. Determining life expectancy of preventive maintenance fixes for asphalt-surfaced pavement, *Transportation Research Record* 1866: 1–8.
- Bhasin, A.; Castelo Branco, V. T. F.; Masad, E.; Little, D. N. 2009. Quantative comparison of energy methods to characterize fatigue in asphalt materials, *Journal of Materials in Civil Engineering* 21(2): 83–92. ISSN 0899-1561.
- Braga, A. 2005. *Dangų degradacijos modeliai ir jų taikymas Lietuvos automobilių keliams*: daktaro disertacija. Vilnius. 205 p.

- Braga, A.; Čygas, D. 2002. Adaptation of pavement deterioration models to Lithuanian automobile roads, *Journal of Civil Engineering and Management* 8(3): 214–220. ISSN 1392-3730.
- Butkevičius, S. 2007. *Impact of Heavy Weight Vehicles on Duration of Service Life of Asphalt Concrete Road Pavement*: summary of doctoral dissertation. Vilnius: Technika, 24 p.
- Castro, M.; Sanchez, J. A. 2007. Damage based model for prediction of asphalt concrete fatigue curves, *Journal of Materials in Civil Engineering* 19(8): 700–702. ISSN 0899-1561.
- Chatti, K.; El Mohtar, C. S. 2004. Effect on different axle configuration on fatigue life of asphalt concrete mixture, *Transportation Research Record* 1891: 121–130.
- Chen, J. S.; Lin, C. H.; Stein, E., *et al.* 2004. Development of a mechanistic-empirical model to characterize rutting in flexible pavement, *Journal of Transportation Engineering – ASCE* 130(4): 519.
- Cho, D.-W.; Bahia, H. U.; Kamel, N. I. 2005. Critical evaluation of use of the procedure of superprave volumetric mixture design for modified binders, *Transportation Research Record* 1929: 114–125.
- Choi, J.-H.; Bahia, H. U. 2004. Life-cycle cost analysis – embedded Monte Carlo approach for modeling pay adjustment at state departments of transportation, *Transportation Research Record* 1900: 86–93.
- Čekanavičius, V.; Murauskas, G. 2000. *Statistika ir jos taikymai*. I. Vilnius: TEV. 240 p. ISBN 9986-546-93-1.
- Čekanavičius, V.; Murauskas, G. 2004. *Statistika ir jos taikymas*. II. Vilnius: TEV. 272 p.
- Čygas, D. 1997. *Padidinto korozinio pastovumo asfaltbetonio mišinių gamybos technologinių būdų kūrimas*: daktaro disertacijos santrauka. Vilnius: Technika. 36 p.
- Čygas, D.; Laurinavičius, A.; Vaitkus, A.; Perveneckas, Z.; Motiejūnas, A. 2008. Research of asphalt pavement structures on Lithuanian roads (1), *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 3(2): 77–83. ISSN 1822-427X print; ISSN 1822-4288 online.
- Dangų valdymo sistemos (DAVASEMA) optimizavimo metodų tobulinimas*. 1997. Kaunas: TKT. 52 p.
- Danil, J. S.; Kim, V. R. 2001. Laboratory evaluation of fatigue damage and healing of asphalt mixtures, *Journal of Materials in Civil Engineering* 13(6): 434–440. ISSN 0899-1561.
- Dawson, A. 2008. Rut accumulation and power law models for-volume pavement under mixed traffic, *Transportation Research Record* 2068: 78–86.
- De Solminihač, H.; Salsilli, R.; Kohler, E., *et al.* 2003. Analysis of pavement serviceability for the AASHTO design method: The Chilean case, *Arabian Journal for Science and Engineering* 28(2B): 143–160.
- Dimaitis, M. 2008. Šiuolaikinės technologijos kelių dangos būklei vertinti, *Lietuvos keliai* 1: 32–35.
- Ekdahl, P. 1999. *Sensitivity Analysis of Two Deterioration Models for Flexible Pavements*. Lund: Lund University. 102 p.
- Ekdahl, P. 2000. *Deterioration Models and Road Capital as Tools in Performance Contracts for Pavement Maintenance*: doctoral thesis. Lund University. 172 p.
- Gallivan, V. L.; Huber, G. R.; Flora, W. F. 2004. Benefits of warranties to Indiana, *Transportation Research Record* 1891: 221–228.

- Gardoni, P.; Nemati, K. M.; Noguchi, T. 2007. Bayesian statistical framework to construct probabilistic models for the elastic modulus of concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering* 19(10): 898–905. ISSN 0899-1561.
- Gerbrandt, R.; Berthelot, C. 2007. Life-cycle economic evaluation of alternative road construction methods on low-volume roads, *Transportation Research Record* 1989(1): 61–71.
- Gui, J. (G); Phelan, P. E.; Kaloush, K. E.; Golden, J. S. 2007. Impact of pavement thermophysical properties on surface temperatures, *Journal of Materials in Civil Engineering* 19(8): 683–690. ISSN 0899-1561.
- Haas, R.; Hudson, W. R.; Zaniewsky J. 1994. *Modern Pavement Management*. Florida: Krieger Publishing Company. 583 p.
- Haas, R.; Tighe, S. L.; Falls, L. C. 2006. Determining return on long-life pavement investments, *Transportation Research Record* 1974: 10–17.
- Hall, J. W.; Turner, D. S. 1998. Development and adaption of early AASHTO design criteria, *Transportation Research Record* 1612: 26–33.
- Hartman, A. M.; Gilchrist, M. D. 2005. Evaluating four-point bend fatigue of asphalt mix using image analysis, *Journal of Materials in Civil Engineering* 16(1): 60–68. ISSN 0899-1561.
- Highway Design and Maintenance Standards Model HDM: Model Description And User's Manual*. 1981. World Bank, Washington, D.C. 227 p.
- Hongbing, F.; Haddock, J. E.; White, T. D., et al. 2004. On the characterization of flexible pavement rutting using creep model-based finite element analysis, *Finite Elements in Analysis and Design* 41(1): 49–73.
- Hu, S.; Hu, X.; Zhou, F.; Walubita, L. F. 2008. SA-crack pro: New finite element analysis tool for pavement crack propagation, *Transportation Research Record* 2068: 10–19.
- Hudson, W. R.; Flanagan, P. R. 1987. An examination of environmental versus load effects on pavement, *Transportation Research Record* 1121: 34–39.
- IT ASFALTAS 08. 2008. *Automobilių kelių dangos konstrukcijos asfalto sluoksnių įren-gimo taisyklės*. Vilnius. 62 p.
- Yavuzturk, C.; Ksaibati, K.; Chiasson, A. D. 2005. Assessment of temperature fluctuation in asphalt pavements due to thermal environmental condition using a two-dimensional, transient finite-difference approach, *Journal of Materials in Civil Engineering* 17(4): 465–475. ISSN 0899-1561.
- Yu, H. S. 2005. Road materials and pavement design – Foreword, *Road Materials and Pavement* 6(1): 7–14.
- Yuan, J.; Sun, L. 2006. Research on sample size selection of pavement management system, *Journal of Tongji University (Natural Science)* 34(10): 1340–1344.
- Jongvon, S.; Sandhyeok, K. 2006. Geographic information system based road way construction planning, *Canadian Journal of Civil Engineering* 33(5): 508–528.
- Juknevičiūtė, L.; Laurinavičius, A. 2008. Analysis and evaluation of depth of frozen ground affected by road climatic condition, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 3(4): 226–232. ISSN 1822-427X print; ISSN 1822-4288 online.
- Jung, F. W.; Kher, R. K.; Phang, W. A. 1976. Subsystem for predicting flexible pavement performance, *Transportation Research Record* 572: 15–28.

- Kazmierowski, T.; Ninguan, L. 2002. Modeling flexible pavement using Canadian historic data. Ninth International Conference on Asphalt Pavement. Conference Proceedings (1) CD-ROM. Codehouse, Denmark. 20 p.
- Ker, H.-W.; Lee, Y.-H.; Lin, Ch.-H. 2008. Prediction models for transverse cracking of jointed concrete pavements: Development with long-term pavement performance database, *Transportation Research Record* 2068: 20–31.
- Kher, R. K.; Phang, W. A.; Haas, R. C. G. 1976. Economic analysis of elements in pavement design, *Transportation Research Record* 572: 1–14.
- Kim, Y.-R.; Allen, D. H.; Little, D. N. 2005. Damage-induced modeling of asphalt mixtures through computational micromechanics and cohesive zone fracture, *Journal of Materials in Civil Engineering* 17(5): 477–484. ISSN 0899-1561.
- Kim, Y.-R.; Little, D. N.; Lytton, R. L. 2003. Fatigue and healing characterization of asphalt mixtures, *Journal of Materials in Civil Engineering* 15(1): 75–83. ISSN 0899-1561.
- Kim, Y.-R.; Little, D. N.; Lytton, R. L. 2004. Effect moisture damage on material properties and fatigue resistance asphalt mixtures, *Transportation Research Record* 1891: 48–54.
- Kim, S.; Roque, R.; Birgisson, B.; Guarin, A. 2009. Porosity of the dominant aggregate size range to evaluate coarse aggregate structure of asphalt mixtures, *Journal of Materials in Civil Engineering* 21(1): 32–39. ISSN 0899-1561.
- Klinghammer, S.; Huber, Th.; Nagel, M. 1997. Methodenstudie zur Verbesrug des Prognoseinstrumentariums für die langfristige Erhaltung der Bundesfernstraßen Forch, *Strassenbau und Strassenverkehrsstechn* 763: 61.
- Konitpong, K.; Bahia, H.; Russell, J.; Schmitt, R. 2005. Predicting field permeability from testing hot-mix asphalt specimens produced by superprave gyratory compactor, *Transportation Research Record* 1929: 52–58.
- KPT SDK 07. 2007. *Automobilių kelių standartizuotų dangų konstrukcijų projektavimo taisyklės*. 63 p.
- KPV PN-05. 2005. *Kelių priežiūros vadovas*. I d. Automobilių kelių priežiūros normatyvai. Vilnius. 50 p.
- KTR 1.01:2008. *Kelių techninis reglamentas. Automobilių keliai*. 33 p.
- Lackner, R.; Spiegl, M.; Blab, R.; Eberhardsteiner, J. 2005. Is low-temperature creep of asphalt mastic independent of filler shape and mineralogy? – arguments from multiscale analysis, *Journal of Materials in Civil Engineering* 17(5): 485–491. ISSN 0899-1561.
- Lee, H. J.; Park, H. M.; Lee, J. H. 2007. Development of a simplified design procedure for determining layer thickness in long-life pavement, *Transportation Research Record* 2037: 76–85.
- Li, G.; Li, Y.; Metcalf, J. B.; Pang, S.-S. 1999. Elastic modulus prediction of asphalt concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering* 11(3): 236–241. ISSN 0899-1561.
- Li, Y.; Metcalf, J. B. 2002. Crack initiation model from asphalt slab tests, *Journal of Materials in Civil Engineering* 14(4): 303–310. ISSN 0899-1561.
- Li, Y.; Metcalf, J. B. 2004. fatigue characteristic of asphalt concrete from asphalt slab tests, *Journal of Materials in Civil Engineering* 16(4): 306–314.
- Li, J. H.; Muench, S. T.; Mahoney, J. P., et al. 2005. The highway development and management system in Washington State – Calibration and application for the Department of Transportation Road Network, *Transportation Research Record* 1933: 53–61.

- Li, J.; Mahoney, J. P.; Muench, S. T.; Pierce, L. M. 2008. Bituminous surface treatment protocol for the Washington state department of transportation, *Transportation Research Record* 2084: 65–72.
- Lietuvos automobilių kelių direkcija. 2010. Vilnius. 19 p.
- Loria, L.; Sebaaly, P. E.; Hajj, E. Y. 2008. Long-term performance of reflective cracking mitigation technique in Nevada, *Transportation Research Record* 2044: 86–95.
- LST 1518: 1998. *Automobilių keliai. Kokybės valdymas ir jos laidavimas. Statistinių metodų taikymas. Terminai ir apibrėžimai*. 38 p.
- Lundstrom, R.; Di Benedetto, H.; Isacson, U. 2004. Influence of asphalt mixture stiffness on fatigue failure, *Journal of Materials in Civil Engineering* 16(6): 516–525. ISSN 0899-1561.
- Luo, Z.; Chou, Y. J. 2006. Pavement condition using clusterwise regression, *Transportation Research Record* 1974: 70–77.
- Macekainis, V. 2006. Magistralinių kelių asfaltbetonio dangų būklė, *Lietuvos keliai* 2: 64–67.
- Martinėnas, B. 2002. *Eksperimento duomenų statistinė analizė*. Vilnius: Technika. 102 p.
- Medeišis, A. 1998. *Elementarieji matavimo tikslumo įvertinimo būdai: mokomoji priemonė*. Vilnius. 26 p.
- Noureldin, A. S. 1997. Quantifying the effect of pavement performance characteristics, *Transportation Research Record* 1575: 75–84.
- Oginskas, R. 2006. *Provėžų, susijusių su šlyties deformacijomis automobilių kelių asfaltbetonio dangose mažinimas, naudojant geosintetines medžiagas: daktaro disertacija*. Vilnius. 93 p.
- Paterson, W. D. O. 1987. *Road Deterioration and Maintenance Effects: Models for Planning and Management*. A World Bank Publication. The Johns Hopkins University Press. Baltimore, 453 p.
- Paterson, W. D. O.; Bennet, Ch. 2001. *Calibration and Validation of HDM-4*. 44 p.
- Peffekoven, W. 1974. Der Einfluß von Bindemittelmenge und härte auf das Verformungsverhalten Asphaltmischungen, *Bitumen* 36(4): 104–110.
- Pellinen, T. K.; Christensen, D. W.; Rove, G. M.; Sharok, M. 2004. Fatigue transfer functions – how do they compare? *Transportation Research Record* 1896: 77–87.
- Petkevičius, K.; Podagėlis, I. 2000. Didžiausią atsparumą nuovargiui laiduojanti optimali asfaltbetonio sudėtis, *Miestų plėtra ir keliai: Mokslo žurnalo "Statyba" priedas* 49–54.
- Petkevičius, K.; Sivilevičius, H. 2000. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos reikiamos savybės ir racionali funkcionavimo trukmė, *Transportas* 15(4): 184–195. ISSN 1392-1533.
- Petkevičius, K.; Svilevičius, H. 2008. Necessary measures for ensuring the quality of hot mix asphalt in Lithuania, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 3(1): 29–37. ISSN 1822-427X print. ISSN 1822-4288 online.
- Pradhan, N. P.; Hennig, T.; Wilson, D. J. 2001. *Development of pavement deterioration modeling in New Zealand. A Review of Achievements*. HTC Infrastructure Management Ltd. 56 p.
- Puodžiukas, V. *Bituminous pavement evolution and strengthening needs assessment in Lithuania. Summary of doctoral dissertation*. Vilnius: Technika, 2000. 42 p.

- Richter, C. A.; Schwartz, C. W. 2003. Modeling stress – and moisture-induced variation in pavement layer moduli, *Transportation Research Record* 1860: 33–40.
- Roberts, F. L.; Mohammad, L. N.; Wang, L. B. 2002. History of hot mix asphalt mixture design in the United States, *Journal of Materials in Civil Engineering* 14(4): 279–293. ISSN 0899-1561.
- Romero, J. A.; Lozano, A., *et al.* 2006. Effect of truck suspension and tire properties on pavement damage spatial distribution, *Transportation Research Record* 1949: 148–154.
- RSN 256-94. *Statybinė klimatologija*. 1995. Vilnius: Aplinkos ministerija. 136 p.
- Sayers, M.; Gillespie, T.; Queiroz, C. 1986. The International Road Roughness Experiment, *World Bank Technical Paper* 45. Washington, D. C.
- Salama, H. K.; Chatti, K., *et al.* 2006. Effect of heavy multiple axle trucks on flexible pavement damage using in-service pavement performance data, *Journal of Transportation Engineering – ASCE* 132(10): 763–770.
- Schmuck, A.; Hehenberger, F. 1993. Mängelursachen, Erhaltungsmaßnahmen und Auswirkungen auf das Zustandsniveau-Endwicklung einer Systematic für das Management der Straßenerhaltung Forch, *Strassenbau und Strassenverkehrstechn* 652: 118.
- Seo, Y.; El-Haggan, O.; King, M.; Lee, S. J.; Kim, Y. R. 2007. Air Void models for the dynamic modulus, fatigue cracking, and rutting of asphalt concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering* 19(10): 874–883. ISSN 0899-1561.
- Sivilevičius, H. 2003. *The Quality Improvement System of Asphalt Mixture Production Technological Process*: summary of the research report presented of habilitation. Vilnius: Technika. 36 p.
- Sivilevičius, H.; Petkevičius, K. 2002. Regularities of defect development in the asphalt concrete road pavement. *Journal of Civil Engineering and Management* 8(3): 206–213.
- Sivilevičius, H.; Šukevičius, Š. 2007. Dynamics of vehicle loads on the asphalt pavement of European roads which cross Lithuania, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2(4): 147–154. ISSN 1822-427X print. ISSN 1822-4288 online.
- Sivilevičius, H.; Šukevičius, Š. 2009. Manufacturing technologies and dynamics of hot-mix asphalt mixture production. *Journal of Civil Engineering and Management* 15(2): 169–179. ISSN 1392-3730 print./ISSN 1822-3605 online.
- Spernol, A. 1994. Aggressivité du trafic, *Reme Générale des Routes et des Aérodrômes* 1: 32–37.
- ST 9306149.02: 2002. *Pažaidų taisymas gatvių asfaltbetonio dangoje. Statybos taisyklės*. Vilnius: Vilniaus miesto savivaldybės Energetikos ir ūkio departamento Miesto ūkio skyrius. 10 p.
- Sunkių transporto priemonių įtakos asfaltbetonio dangos konstrukcijoms, įvertinant automobilių srautų valstybinės reikšmės keliuose, tyrimai ir vertinimas*. 2009. Vilnius: VGTU. 211 p.
- Szydło, A.; Mackiewicz, P. 2005. Asphalt mixes deformation sensitivity to change in rheological parameters, *Journal of Materials in Civil Engineering* 17(1): 1–9. ISSN 0899-1561.
- Šiaudinis, G. 2007. *Lietuvos automobilių kelių nestandžiųjų dangų konstrukcijų stiprumo nustatymo metodai*: daktaro disertacija. Vilnius. 150 p.
- Taha, R.; Al-Rawas, A.; Al-Harthy, A.; Qatan, A. 2002. Use of cement bypass dust as filter asphalt mixtures, *Journal of Materials of Civil Engineering* 14(4): 338–343.

- Tarelder, R. A.; White, L.; Zaman, M. 2005. Development and application of a rut prediction model for flexible pavement, *Transportation Research Record* 1936: 201–209.
- Tighe, S.; Huen, K.; Haas, R. 2007. Environmental and traffic deterioration with mechanistic-empirical pavement design model: Canadian example, *Transportation Research Record* 1989(2): 336–343.
- TRA ASFALTAS 08. *Automobilių kelių asfalto mišinių techninių reikalavimų aprašas*. 61 p.
- Tsunokowa, K.; Riaz-ul-Islam, G.-Ch. 2002. Optimal strategies for highway pavement management in developing countries, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* 17(3): 194–202.
- Valstybinės reikšmės kelių eismo intensyvumo duomenų kaupimas ir atnaujinimas 2008 m.* 2009. Kaunas: TKTI. 901 p.
- Vekteris, V.; Kasparaitis, A.; Kaušinis, S.; Kanapėnas, A. 2000. *Matavimų teorija ir praktika*. Vilnius: Žiburio leidykla. 380 p. ISBN 9986-524-26-1.
- Wei, L; Fwa, T. F. 2004. Characterizing road roughness by wavelet transform, *Transportation Research Record* 1869: 152–158.
- Wester, K. 1977. Ein zusammenhängendes System für Entwurf, Bau, Unterhalt und Gebrauch von Straßen, *Bitumen* 39(1): 11–17.
- Zhang, Z. M.; Leidy, J. P.; Kawa, I., *et al.* 2000. Impact of changing traffic characteristics and environmental condition on flexible pavement, *Transportation Research Record* 1730: 125–131.
- Айвазян, С. А. 2001. *Прикладная статистика. Основы эконометрики*. Том 2. Москва: ЮНИТИ-ДАНА. 432 с.
- Айвазян, С. А.; Мхитарян, В. С. 2001. *Теория вероятностей и прикладная статистика*. Москва: ЮНИТИ-ДАНА. 656 с.
- Апестин, В. К. 2007. Требования к предельному состоянию нежестких дорожных одежд, *Наука и техника в дорожной отрасли* 41(2): 16–17.
- Бахрах, Г. С. 2002. Модель оценки срока службы дорожной одежды нежесткого типа, *Наука и техника в дорожной отрасли* 21(2): 17–20.
- Бахрах, Г. С. 2008. Проектирование нежестких дорожных одежд по критерию усталостного растрескивания, *Наука и техника в дорожной отрасли* 45(2): 32–34.
- Веренько, В. А. 2008. *Деформации и разрушения дорожных покрытий. Причины и пути устранения*. Минск: Беларуская Энцыклапедыя імя Пётруся Броўкі. 304 с.
- Гмурман, В. Е. 2000. *Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для вузов*. Москва: Высшая школа. 480 с.
- Горелышева, Л. А.; Штромберг, А. А. 2009. Оценка усталостной долговечности асфальтобетонных покрытий, *Наука и техника в дорожной отрасли* 48(1): 25–26.
- Золотарев, В. А. 2004. Влияние свойств битумополимерных вяжущих на подвижность асфальтобетонов, *Наука и техника в дорожной отрасли* 29(2): 27–30.
- Иваньски, М. 2003. Влияние вида минерального материала на свойства асфальтобетона, *Наука и техника в дорожной отрасли* 25(2): 35–37.
- Кейрос, Ц. 1995. *Технико-экономические проблемы ремонта и содержания автомобильных дорог* /Перевод с английского языка и редакция В. Ф. Бабкова. Москва. 57 с.

- Коганзон, М. С.; Лугов, С. В. 2004. Расчет и конструирование дорожных одежд по критерию допустимой остаточной деформации, *Наука и техника в дорожной отрасли* 30(3): 17–19.
- Котлярский, Э. В. 2008. Влияние противогололедных реагентов на свойства битумов и асфальтобетонов, *Наука и техника в дорожной отрасли* 47(4): 39–41.
- Красиков, О. А. 2004. *Мониторинг и стратегия ремонта автомобильных дорог*. Алматы. 263 с.
- Кремер, Н. Ш. 2000. *Теория вероятностей и математическая статистика*: учебник для вузов. Москва: ЮНИТИ-ДАНА. 544 с.
- ОДН 218.046-01. 2001. *Проектирование нежестких дорожных одежд. Отраслевые дорожные нормы*. Москва. 144 с.
- Подагель, И. С. 1987. Влияние количественных отклонений содержания компонентов смеси на усталостную прочность асфальтобетона, в кн. *Автомобильный транспорт*: научн. труды вузов ЛитССР 2: 66–76.
- Подагель, И. С. 1989. *Оптимизация составов асфальтобетонных смесей с учетом усталостной долговечности дорожных покрытий*. Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Одесса. 16 с.
- Радзишевски, П. 1989. *Разработка метода оптимизации состава асфальтобетона с целью обеспечения нормативных сроков асфальтобетонных покрытий на дорогах*. Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Москва: 15 с.
- Радовский, Б. С.; Сердюк, А. В. 1997. Прогнозирование закономерности изменения состояния дорожной одежды, *Автомобильные дороги* 7: 19–21.
- Рыбьев, И. А. 2008. *Строительное материаловедение*. Москва: Высшая школа. 701 с.
- Салль, А. О.; Ильин, С. Н. 2000. Устройство покрытий из высокоплотного асфальтобетона, *Наука и техника в дорожной отрасли* 12(1): 20–21.
- Чигас, Д.; Лауринавичюс, А.; Петкявичюс, К.; Христаускас, Ю. 2002. Потребности применения модифицированных битумов в строительстве дорог и городских улиц Литовской Республики, в кн. *Вестник БГПА* 3: 5–10.
- Яковлев, Ю. М.; Лугов, С. В. 2004. Анализ влияния коэффициента прочности нежесткой дорожной одежды на ее состояние в процессе эксплуатации, *Наука и техника в дорожной отрасли* 30(3): 15–16.
- Яромко, В. Н. 2008. О совершенствовании проектирования дорожных одежд нежесткого типа, *Наука и техника в дорожной отрасли* 45(2): 28–31.
- Яромко, В. Н. 2003. Влияние полимерных добавок на свойства асфальтобетона, *Наука и техника в дорожной отрасли* 25(2): 27–29.

Autoriaus mokslinių publikacijų disertacijos tema sąrašas

Straipsniai recenzuojamuose mokslo žurnaluose

Petkevičius, E.; Petkevičius, R.; Babickas, R. 2006. Investigation of asphalt concrete pavement quality of Lithuanian highways, *The Baltic Journal of road and Bridge Engineering* 1(2): 71–76. ISSN 1822-427X print; ISSN 1822-4288 online (ISI Web of Science).

Petkevičius, E.; Laurinavičius, A.; Petkevičius, R.; Babickas, R. 2009. The influence of mass ratio of hot mix asphalt components on its quality indices, *The Baltic Journal of road and Bridge Engineering* 4(4): 161–167. ISSN 1822-427X print; ISSN 1822-4288 online (ISI Web of Science).

Петкявичюс, Э.; Петкявичюс, Р. 2006. Анализ и оценка показателей качества асфальтобетонных покрытий автомагистралей Литвы, в кн. *Вестник Белорусского национального технического университета* 1: 21–26. ISSN 1683-0326.

Петкявичюс, Э.; Лауринавичюс, А. 2009. Обеспечение требуемой ровности покрытий автомобильных дорог, в кн. *Труды Белорусского государственного технологического университета: Серия 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность*, вып. 17: 148–149. ISSN 1683-0377.

Straipsniai kituose mokslo žurnaluose

Petkevičius, E.; Petkevičius, R.; Babickas, R. 2005. Analysis of asphalt concrete pavement parameters of Lithuanian highways, in *Proceedings of 6th International Conferences „Environmental Engineering“*. Vilnius. 7 p. (el. Edition). ISBN 9986-05-858-9.

Petkevičius, E.; Petkevičius, R.; Babickas, R. 2008. Selection of experimental section for investigation of road pavement and construction, in *Selected Papers of 7th International Conferences „Environmental Engineering“*. Vilnius, 1209–1213. ISBN 978-9955-28-265-5.

Петкявичюс, Э.; Петкявичюс, Р. 2004. Нормирование показателей качества покрытий и дорожных одежд автомагистралей Литвы, в кн. *Моделирование и оптимизация в материаловедении: Материалы к 43-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов – МОК'43*. Одесса, 195.

Petkevičius, E.; Petkevičius, R. 2005. Automobilių kelių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos bandymų ruožų parinkimo principai, kn. *Lietuvos jaunųjų mokslininkų 8-osios konferencijos „Lietuva be mokslo – Lietuva be ateities“ pranešimų rinkinys. Transportas*. Vilnius, 199–210.

Петкявичюс, Р.; Петкявичюс, Э. 2005. Показатели качества асфальтобетонных покрытий и дорожных одежд автомагистралей Литвы, в кн. *Моделирование и оптимизация в материаловедении: Материалы к 44-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов – МОК'44*. Одесса, 114-116. ISBN 966-318-132-X; ISBN 966-318-136-2.

Подагелис, И.; Петкявичюс, Э.; Петкявичюс, Р. 2006. Анализ показателей качества асфальтобетонных покрытий автомагистралей Литвы, в кн. *Компьютерное материаловедение и обеспечение качества: Материалы к 45-му международному семинару по моделированию и оптимизации композитов – МОК'45*. Одесса, 168–171. ISBN 996-318-132X (Серия); ISBN-318-496-5.

Petkevičius, E.; Petkevičius, R.; Christauskas, J. 2007. Evaluation asphalt concrete pavement quality of Lithuanian highways, in *Proceedings of the 7th European Conferences of Young Research and Science Workers „Transcom 2007“*. Žilina, 113–116. ISBN 978-80-8070-708-8.

Priedai (elektroninėje laikmenoje)

A priedas. **Elementariojo bandymų ruožo ilgis**

B priedas. **Dangos kokybės rodikliai**

C priedas. **Asfaltbetonio dangos funkcionavimo
rodikliai**

D priedas. **Asfaltbetonio dangos funkcionavimo
trukmė**

Evaldas PETKEVIČIUS

AUTOMOBILIŲ KELIŲ ASFALTBETONIO
DANGOS EKSPLOATACINIŲ RODIKLIŲ
LEISTINŲJŲ VERČIŲ PAGRINDIMAS

Daktaro disertacija

Technologijos mokslai, statybos inžinerija (02T)

Evaldas PETKEVIČIUS

SUBSTANTIATION OF THE PERMISSIBLE
VALUES OF SERVICE INDICES OF ASPHALT
CONCRETE ROAD PAVEMENT

Doctoral Dissertation

Technological Sciences, Civil Engineering (02T)

2010 05 28. 11,5 sp. I. Tiražas 20 egz.

Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius,
<http://leidykla.vgtu.lt>

Spausdino UAB „Baltijos kopija“,
Kareivių g. 13B, Vilnius LT-09109
<http://www.kopija.lt>