



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

KELIŲ KATEDRA

Andrius Baltrušaitis

**DANGOS ASFALTBETONIO FIZINIŲ – MECHANINIŲ IR KITŲ
RODIKLIŲ ĮTAKOS SVARBIAUSIŲ LIETUVOS MAGISTRALINIŲ
KELIŲ EKSPLOATACINĖMS SAVYBĖMS TYRIMAI**

**STUDY ON THE INFLUENCE OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT
PHYSICAL – MECHANICAL AND OTHER INDICES ON THE
TRANSPORT – OPERATION PROPERTIES OF THE MAIN
LITHUANIAN HIGHWAYS**

Baigiamasis magistro darbas

Civilinės inžinerijos studijų programa

Kelių specializacija

Statybos inžinerijos mokslo kryptis

Vadovas doc. Dr. K. Petkevičius

Vilnius, 2005

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

Aplinkos inžinerijos fakultetas

Kelių katedra

ISBN ISSN

Egz. sk. 3

Data 2005.06.01

Magistro baigiamasis darbas

DANGOS ASFALTBETONIO FIZINIŲ – MECHANINIŲ IR KITŲ RODIKLIŲ ĮTAKOS SVARBIAUSIŲ LIETUVOS MAGISTRALINIŲ KELIŲ EKSPLOATACINĖMS SAVYBĖMS TYRIMAI

Andrius Baltrušaitis

Kalba

Lietuvių

Anotacija

Šio baigiamojo darbo pagrindinis tikslas – nustatyti asfaltbetonio dangos fizinių ir mechaninių rodiklių įtaką Lietuvos automagistralių dangos eksploatacinėms savybėms bei kelio dangos funkcionavimo trukmei. Darbe pateikta Lietuvos automagistralių dangos būklės analizė. Aprašoma automobilių kelių asfaltbetonio dangos medžiagų ir jos konstrukcijos irimų ir deformacijų klasifikacija ir jų atsiradimo priežastys bei dangų taisymo metodai, leidžiantis jas pašalinti. Teoriškai pagrindžiama automobilių kelių dangos ir jos konstrukcijos eksploatacinė būklė ir jos nustatymo metodai. Kartu pateikiami automagistralės Vilnius – Kaunas- Klaipėda (A1) asfaltbetonio dangos fizinių ir mechaninių rodiklių bei dangos lygumo pagal IRI tyrimų duomenys. Atlikus šių duomenų analizę, buvo nustatytas jų tarpusavio koreliacinis ryšys. Tyrimo medžiaga apdorota statistiniu paketu „Statgraphics 5.1 Plus“, pateiktos sunormintos asfaltbetonio dangos fizinių ir mechaninių rodiklių vertės, laiduojančios didžiausią dangos konstrukcijos funkcionavimo trukmę. Pateiktos išvados ir rekomendacijos.

Reikšminiai žodžiai

Fiziniai ir mechaniniai rodikliai, eksploatacinės savybės, funkcionavimo trukmė, dangos lygumas, koreliacinis ryšys.

Vilnius Gediminas Technical University

ISBN ISSN

Faculty of environmental engineering

No. Of copies 3

Road department

Date 2005.06.01

**STUDY ON THE INFLUENCE OF ASPHALT CONCRETE PAVEMENT
PHYSICAL – MECHANICAL AND OTHER INDICES ON THE
TRANSPORT – OPERATION PROPERTIES OF THE MAIN
LITHUANIAN HIGHWAYS**

Andrius Baltrušaitis

Language

English

Abstract

The main aim of this thesis paper is to determine the influence of physical and mechanical indices of asphalt concrete pavement on the operational properties of Lithuanian highway pavement as well as on the functional lifetime of road pavement. The analysis of pavement condition of Lithuanian highways is presented. The classification regarding the damage and deformation of material used for the construction of asphalt concrete pavement and of road pavement structure is provided. The causes of the afore-mentioned damages and deformations are also explained and rectification methods which can be applied to eliminate these causes are described. The operational conditions of the road pavement and its structure as well as the applicable methods are theoretically justified. In addition, the physical and mechanical indices of asphalt concrete pavement of the highway Vilnius – Kaunas - Klaipėda (A1) and of pavement roughness in accordance with IRI research data are given. The analysis of the data allowed the correlation between the two items to be determined. The research material was processed by means of the statistical software package “Statgraphics 5.1 Plus”. Standardized physical and mechanical indices of asphalt concrete pavement which affect the functional lifetime of pavement structure are presented. The conclusions and recommendations are provided.

Key words:

physical and mechanical indices, operational properties, functional lifetime, pavement roughness, correlation.

Turinys

Anotacija	4
Abstract	5
Lentelių sąrašas	7
Paveikslėlių sąrašas	8
IVADAS	10
1. LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ BŪKLĖ IR JŲ DANGOS TAISYMO METODAI....	11
1.1 Lietuvos automobilių kelių charakteristika	11
1.2 Lietuvos kelių dangų būklės analizė	16
1.3 Automobilių kelių asfaltbetonio dangos medžiagų ir jos konstrukcijos irimas ir deformacijos	22
Asfaltbetonio dangos deformacijų klasifikacija, atsiradimo priežastys	24
1.4 Automobilių kelių dangos priežiūra ir taisymo metodai	26
Asfaltbetonio dangos priežiūros normatyvai, reikalavimai, taikymo sritis ir bendros nuostatos	26
1.5 Darbo tikslas ir uždaviniai	34
2 AUTOMOBILIŲ KELIŲ DANGOS IR JOS KONSTRUKCIJOS EKSPLOATACINĖ BŪKLĖ BEI JOS NUSTATYMO PAGRINDIMAS	35
2.1 Dangos paviršiaus lygumo nustatymas	36
2.2 Kelio dangos konstrukcijos stiprio nustatymo metodai	46
2.3 Kelio dangų defektų tyrimas SIR-H10 sistema	48
2.4 Automobilio ratų sukibimo su danga nustatymo metodai	51
2.5 Kelių dangos dilumo (dėvėjimo) nustatymo metodai	52
2.6 Automobilių kelių būklės kompleksinis vertinimas	52
2.7 Antrojo skyriaus išvados	58
3 DANGOS ASFALTBETONIO FIZINIŲ – MECHANINIŲ RODIKLIŲ ĮTAKOS KELIŲ EKSPLOATACINĖMS SAVYBĖMS TYRIMAI	59
3.1 Dangos asfaltbetonio fizinių – mechaninių rodiklių įtakos dangos funkcionavimo trukmei tyrimas	59
3.2 Asfaltbetonio mišinių fizinių ir mechaninių rodiklių nustatymas bei jiems keliami reikalavimai	68
3.3 Dangos asfaltbetonio fizinių – mechaninių rodiklių įtakos kelio dangos lygumui tyrimas	73
3.4 Trečiojo skyriaus išvados	77
4. PASIŪLYMAI ASFALTBETONIO FIZINIAMS IR MECHANINIAMS RODIKLIAMS SUNORMINTI	78
4.1 Ketvirtąjo skyriaus išvados	80
BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS	81
LITERATŪRA	84
PRIEDAI	87

Lentelių sąrašas

Lent. Nr.	Lentelės pavadinimas	Puslapio Nr.
1.1	Lietuvos valstybinių automobilių kelių ilgis pagal dangos tipus 2005 m.	11
1.2	Apibendrinti žemės sankasos kokybės rodikliai	11
1.3	Dangos lygumo matavimo duomenys	13
1.4	Dangos lygumas A1 kelio atkarpose 1998 metais	14
1.5	Provėžų gylio pasiskirstymas A1 kelio bandomosiose atkarpose, 1999 metų pavasaris, km	14
1.6	Provėžų gylio pasiskirstymas A1 kelio bandomosiose atkarpose, 1999 metų rudenį, km	15
2.1	Atsitiktinai pasirinktų skaičių lentelė	17
2.2	Dangos lygumo matavimo vietų parinkimo suvestinė	18
2.3	Koeficiento φ norminės vertės (Rusija)	19
2.4	Mažiausios leistinos sukibimo koeficiento φ vertės esant šlapiai dangai	24
2.5	Automagistralių asfaltbetonio dangos būklės, priklausomai nuo suirimo lygio D verčių, vertinimas balais	28
2.6	Kelių dangos būklės, priklausomai nuo dangos konstrukcijos stiprio, vertinimas balais	39
3.1	A1 kelio funkcionavimo trukmės statistinė išraiška	40
3.2	Suvestinė fizinių, mechaninių ir kitų duomenų statistika	41

Paveikslėlių sąrašas

Pav. Nr.	Paveikslėlio pavadinimas	Puslapio Nr.
1	Eismo intensyvumas Lietuvos keliuose	
2	Eismo intensyvumo kitimo dinamika 2000–2004 m.	
3	Vidutinis lygumo kitimas automagistralėse 1992-1998 m.	
4	Automagistralių stiprumo indekso kitimas	
6	Kelių priežiūros finansavimo dinamika	
7	Valstybinės reikšmės kelių finansavimo dinamika (2001 m. kainomis)	
8	Sudėtinių medžiagų irimas asfaltbetonio dangoje	
9	Kelio asfaltbetonio dangos defektai	
10	Kelio dangos plyšiai ir kitų tipų suirtys	
12	“Golden Car” ketvirčio automobilio principinė skaičiuojamoji schema	
13	Kelio nelygumo matavimo įrengimo Bump Integrator principinė schema	
14	Kelio dangos nelygumo schema.	
15	Liniuotė ir matavimo pleištas matavimo padėtyje	
16	Kelio dangos lygumo matavimas ištisai, perstumiant 4 m. ilgio liniuote kas 2m	
17	Ruožų matavimas 10m. ilgio atkarpomis kas 50 m.	
18	Dangos lygumo matavimo 4 m ilgio liniuotės schema	
19	Dangų lygumo matavimų pagal IRI ir 4 m ilgio liniuote koreliacinė priklausomybė.	
20	Kelio ruožo suskirstymas atkarpomis	
21	Dangos atkarpos lygumo matavimo vietos koordinatės (x; y).	
22	Dangos lygumo parinktų matavimo vietų schema	
23	Lazerinis profilografas Dynatest 5051 RSP	
24	Supaprastintas Benkelmano sijos vaizdas	
25	Krintančio svorio deflektometro Dynatest 8000 schema	
26	Radaro veikimo principas	
27	T, metais (Vilnius – Kaunas) dažnių histograma	
28	T, metais (Kaunas – Klaipėda) dažnių histograma	
29	T, metais (Vilnius – Kaunas - Klaipėda) dažnių histograma	
30		
31		
32		
33		
34		
35		

IVADAS

Didėjantis automobilių skaičius, augantis eismo intensyvumas ir žymiai didėjanti apkrova automobilių ašiai reikalauja daug daugiau lėšų kelių priežiūrai bei eismo intensyvumui laiduoti. Didžiausias eismo intensyvumas yra kelyje Vilnius — Kaunas – Klaipėda, kuris taip pat yra XI B transporto koridoriaus dalis. Atsižvelgiant į šio greitkelio svarbą Lietuvos ūkiui, būtina jam skirti didžiausią dėmesį. Tinkamai jį prižiūrint galima laiduoti geras eksploatacines savybes bei ilgesnę kelio dangos funkcionavimo trukmę. Svarbiausias eksploatacinis rodiklis, charakterizuojantis ir apsprendžiantis asfaltbetonio dangos funkcionavimo trukmę, yra jos lygumas. Dangos lygumas priklauso nuo kelio dangos konstrukcijos stiprio ir nuo asfaltbetonio sudėties, struktūros, fizinių ir mechaninių deformacijos ir kitų rodiklių.

Šiame darbe bandysiu ištirti kelio asfaltbetonio dangos fizinių ir mechaninių rodiklių įtaką lygumo kitimui, lygumo kitimo (degradacijos) įtaką dangos funkcionavimo trukmei. Siekiant sunorminti fizinių ir mechaninių rodiklių vertes, laiduojančias gerą ir patikimą asfaltbetonio dangos darbą bei ilgesnę funkcionavimo trukmę.

1. LIETUVOS AUTOMOBILIŲ KELIŲ BŪKLĖ IR JŲ DANGOS TAISYMO METODAI

1.1 Lietuvos automobilių kelių charakteristika

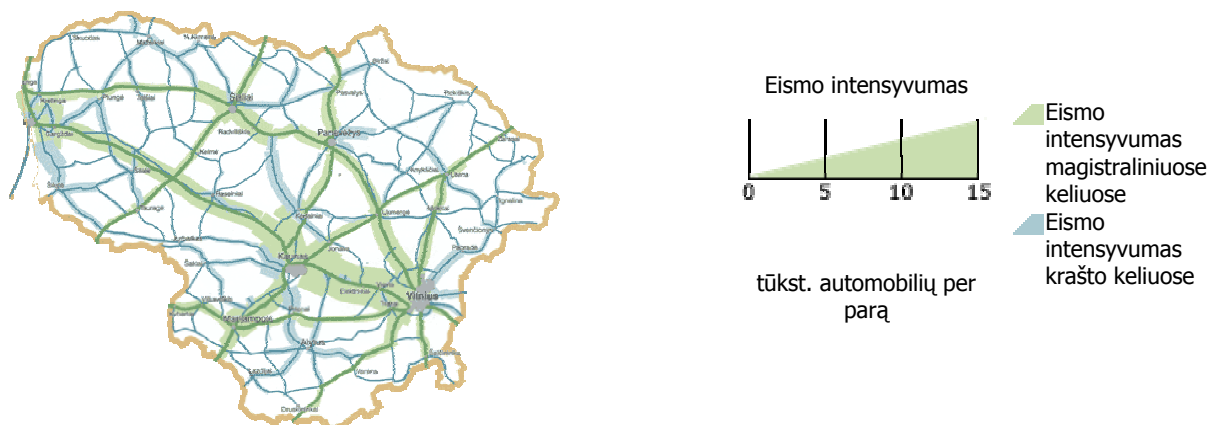
Pagal Lietuvos Respublikos kelių įstatymą keliai pagal reikšmę skirstomi į valstybinės ir vietinės reikšmės kelius. Valstybinės reikšmės keliai skirstomi į magistralinius, krašto ir rajoninius kelius. Magistraliniais vadinami tarptautinio susisiekimo Lietuvos keliai. Krašto keliais vadinami keliai, jungiantys magistralinius kelius, administracinių vienetų centrus ir didžiuosius miestus, arba besijungiantys vienas su kitu. Rajoniniais vadinami keliai, jungiantys krašto kelius, miestus, kaimus, kitus objektus, bet nepriskirti krašto keliams. Vietinės reikšmės keliais vadinami keliai, jungiantys rajoninius kelius, kaimus, taip pat kiti keliai, naudojami vietiniam susisiekimui. [1]

2005 metų duomenimis Lietuvos automobilių kelių bendras ilgis yra 21345 km. Iš jų 1748,85 km magistraliniai keliai, 4873,15 km – krašto, 14723 km – rajoniniai keliai. Valstybinės reikšmės kelių ilgis pagal dangos tipą 2005 m. pateiktas 1.1 lentelėje. [2]

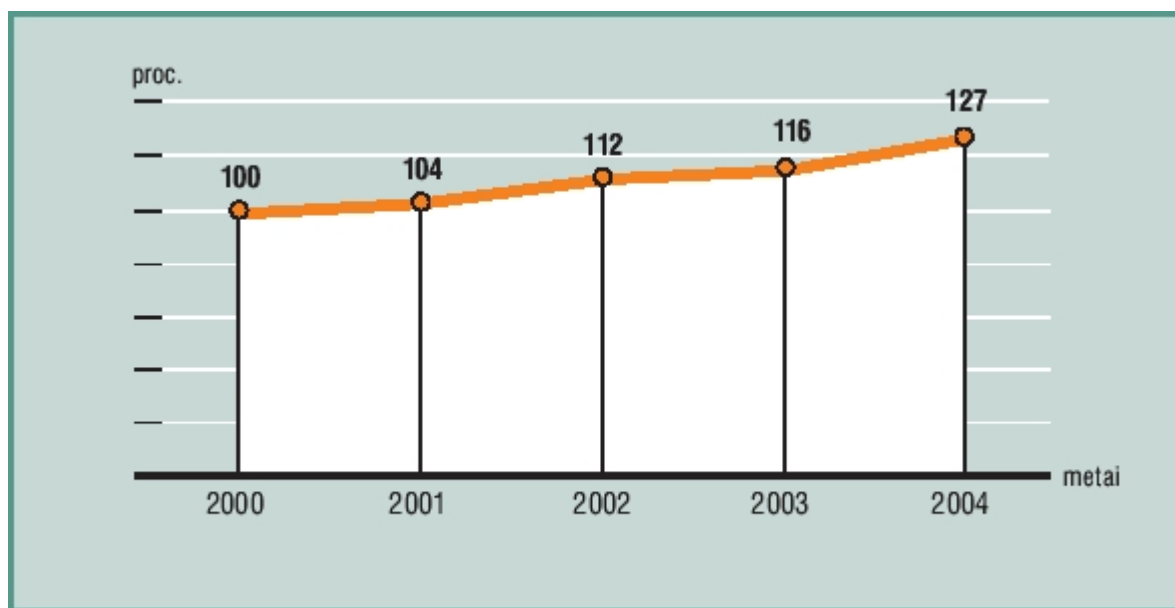
1.1 lentelė. Lietuvos valstybinių automobilių kelių ilgis pagal dangos tipus 2005 m.

Dangos	Valstybinės reikšmės keliai			
	Magistraliniai	Krašto	Rajoniniai	Iš viso
Asfalto dangos	1664,10	4849,25	6073,85	12587,20
Cementbetonio dangos	84,55	-	1,27	85,82
Žvyro dangos	-	23,90	8638,86	8662,76
Grindinys	0,20	-	9,02	9,22
Iš viso	1748,85	4873,15	14724,99	21345,00

Automobilių eismo intensyvumas bei jo kitimo dinamika 2000-2004 m. pavaizduoti 1 ir 2 paveikslėliuose.



1 pav. Eismo intensyvumas Lietuvos keliuose



2 pav. Eismo intensyvumo kitimo dinamika 2000–2004 m.

Kelias Vilnius–Kaunas–Klaipėda

Didžiausias eismo intensyvumas yra kelyje Vilnius – Kaunas – Klaipėda. Pagrindinis Lietuvos greitkelis yra IXB transporto koridoriaus dalis. Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruožo Vilnius – Kaunas nuo 10,0 km iki 100,17 km skersinis profilis priskiriamas I kategorijai, o kelio ruožo Kaunas – Klaipėda nuo 100,17 km iki 306,3 km skersinis profilis atitinka AM kategoriją.

Dabartinį magistralės pavadinimą Vilniaus – Kauno – Klaipėdos kelias gavo 1992 metais, kai pagal svarbą šalies ūkiui buvo pertvarkomas Lietuvos kelių tinklo sąrašas. Prieš tai Vilniaus – Kauno ruožas buvo sąjunginės reikšmės kelio Minskas – Vilnius – Kaunas – Kaliningradas dalis, o Kauno – Klaipėdos kelias buvo atskiras maršrutas.

Vilniaus – Kauno kelio nepakankamo pralaidumo požymiai atsirado jau šeštajame praeito amžiaus dešimtmetyje. Didinant pralaidumą nutarta kelią rekonstruoti pagal pirmos techninės kategorijos kelių parametrus.

Pagal projektavimo normų reikalavimus, automagistralės dangos konstrukcijos sluoksnių pločiai bei storiai suprojektuoti įvertinus 20 metų judėjimo intensyvumo augimo perspektyvą bei galimus eismo judėjimo pokyčius. Atsižvelgiant į tai, važiuojamojoje dalyje įrengtos keturios judėjimo juostos, t.y. kiekvienai judėjimo kryptčiai skirtos dvi eismo juostos (2x3,75 m). Tarp jų įterpta skiriamoji juosta, kurios plotis įvairiuose automagistralės ruožuose yra 5-12,5 m. Kelkraščių plotis nuo 17,5 iki 91 km yra 2x2,5 m, likusiuose automagistralės ruožuose – 2x3,75 m.

Vadovaujantis kelių projektavimo normomis buvo siekiama, kad šalčiui atsparios dangos konstrukcijos storis, esant nepalankioms hidrologinėms sąlygoms, būtų ne mažesnis kaip 1 m.

Kelio dangos konstrukcijos stabilumas šalčio poveikiui labai priklauso nuo apatiniam apsauginiam sluoksniui naudojamo smėlio stambumo ir jo filtracinių savybių. Todėl automagistralės projektuose buvo numatyta:

- žemės sankasą, ant kurios bus rengiamas smėlio sluoksnis, išlyginti taip, kad ji turėtų ne mažesnę kaip 3 % skersinį nuolydį;
- sekti, kad smėlio sluoksnio apačia būtų ne mažiau kaip 0,2 m virš griovio dugno ar pylimo pado, arba šis sluoksnis būtų pakankamai sausinamas drenažu;
- smėlio sluoksniui naudoti nedulkingus, gerai drenuojančius smėlius (filtracija ne mažesnė kaip 3 m per parą).

Smėlio sluoksnis numatytas ant visos žemės sankasos, išskyrus nesutvirtintą skiriamąją juostą. Jo storis labai įvairus – nuo 20 iki 50 cm Vilniaus – Kauno ruože ir nuo 40 iki 50 cm Kauno – Klaipėdos ruože. Smėlio sluoksnis pylimuose pratęstas iki pylimo šlaito, o iškasose – iki griovio šlaito arba drenažo. Apatinis dangos pagrindas virš smėlio sluoksnio Vilniaus – Kauno – Klaipėdos automagistralėje buvo suprojektuotas 24-28 cm storio iš vietinių statybinių medžiagų – žvyro, skaldyto žvyro ir granitinės bei dolomitinės skaldos. Trumpuose Kauno – Klaipėdos ruožo atkarpose buvo rengiami skalūniniais pelenais stabilizuoti pagrindai. Viršutinį 8 cm storio pagrindo sluoksnį numatyta įrengti iš granitinės skaldos, permerktos bitumu arba derva.

Visoje automagistralėje suprojektuota dvisluoksnė asfaltbetonio danga: apatinis sluoksnis – 5 cm storio iš karšto poringo stambiagrūdžio asfaltbetonio mišinio, viršutinis – 4 cm storio iš karšto smulkiagrūdžio tankaus asfaltbetonio mišinio.

Vilniaus – Kauno ruože važiuojamosios dalies kraštai dažniausiai buvo tvirtinami 0,75 m pločio betoniniais blokais, o Kauno – Klaipėdos ruože dangos kraštai – 0,15 m pločio betoniniais borteliais, kurie padėjo užtikrinti reikiamus dangos aukščius bei nuolydžius. Automagistralėje (17,8-91,0 km) kelkraščiai greta minėtų blokų sutvirtinti 0,07 m storio žvyro sluoksniu. Kitų ruožų kelkraščiuose paklota iki 3,0 m pločio asfaltbetonio danga, likusią kelkraščio juostą sutvirtinant žolėmis apsėtu dirvožemiu. Žvyru sutvirtintų kelkraščių skersinis nuolydis – 4%, o asfaltuotų kelkraščių – 3%

Asfaltbetonio danga visoje automagistralėje buvo klojama vienodu 0,09 m sluoksniu. Apatinis 0,05 m sluoksnis buvo klojamas iš stambiagrūdžio ar vidutinio grūdėtumo poringo, o viršutinis 0,04 m sluoksnis – iš smulkiagrūdžio tankaus B tipo I markės asfaltbetonio mišinio. Skirtingi buvo tik asfaltbetonio dangos pločiai. Vilniaus – Kauno ruože juodoji danga tarp 0,75 m betoninių kraštinių juostų buvo 7,5 m pločio. Vėliau nuo 10-tojo km iki Grigiškių ir 91,0 km ji buvo išplatinta. Kauno – Klaipėdos ruože (195,0-298,0 km) danga tarp 0,15 m kraštinių betoninių juostų įrengta 1,2 m pločio.

Didžiausią įtaką asfaltbetonio dangų kokybei ir ilgaamžiškumui turi geras jų sutankinimas. Turimais lygiavalciais plentvoliais gerai sutankinti dangą, ypač sandūrų vietose, buvo sunku. Todėl buvo panaudoti sunkūs pusiau prikabinami D-551 ir DY-16 pneumatiniai volai, skirti žemės sankasoms ir pagrindams tankinti. Kad būtų tinkami ir asfaltbetonio dangų tankinimui, jiems buvo uždėtos padėvėtos padangos ir žymiai sumažintas jose esantis oro slėgis.

Pradėjus tiesti Vilniaus – Kauno - Klaipėdos automagistralę buvo siekiama, kad šis brangus inžinerinis statinys būtų ilgaamžis ir užtikrintų eismo saugumą bei patogumą. Todėl tiesiant automagistralę buvo skiriamas didelis dėmesys visų kelio dangos konstrukcinių elementų (žemės sankasos, drenuojančių ir šalčiui atsparių sluoksnių, pagrindų, asfaltbetonio dangų įrengimo, tiltų ir viadukų bei kitų statinių) statybos kokybės kontrolei. Buvo tikrinama kiekvieno konstrukcinio elemento įrengimo darbų technologija. Nustačius statybos normų ir taisyklių pažeidimus, darbai buvo stabdomi ir tik pašalinus trūkumus darbus buvo leidžiama tęsti toliau.

Ypatingas dėmesys buvo skiriamas žemės sankasos įrengimo kokybei, kuri yra kelio dangos konstrukcijos stabilumo pagrindas. Apibendrinti žemės sankasos kokybės rodikliai pateikti 1.2 lentelėje.

1.2 lentelė. Apibendrinti žemės sankasos kokybės rodikliai [3]

Automagistralės ruožai	Matavimo metai	Matavimų skaičius	Sutankinimo koeficientai	
			Reikalaujami	Faktinis vidurkis
Vilnius – Kaunas	1966-1969	796	1,0-0,98	0,982
Kaunas – Klaipėda	1977-1986	2135	>0,98	0,975

Rengiant drenuojančius ir šalčiui atsparius sluoksnius, buvo tikrinami drenuojančių gruntų ir smėlio filtracijos koeficientai, kurie Vilniaus – Kauno automagistralės ruože turėjo būti ne mažesni kaip 6 m/d smėliui ir 1 m/d drenuojančiam gruntui.

Pagrindų įrengimo kokybė buvo vertinama pagal naudojamų medžiagų granulimetrinę sudėtį, sluoksnio sutankinimą ir sluoksnio storių nuokrypius. Tikrinant granulimetrinę sudėtį buvo reikalaujama, kad paimto pavyzdžio medžiagos likučiai ant 5 mm sieto būtų ne mažesni kaip 75%, ant 20 mm – 60% ir ant 40 mm – 40%.

Ypatingas dėmesys buvo skiriamas viršutinio asfaltbetonio dangos sluoksnio kokybiškam įrengimui. Šiam sluoksniui buvo gaminamas B tipo asfaltbetonio mišinys su 35-50% skaldos kiekiu. Pagrindiniai rodikliai pagal kuriuos buvo vertinama tankaus asfaltbetonio mišinio kokybė, buvo šie: asfaltbetonio mišinio granulimetrinės sudėties atitikimas projektinei, vandens prisotinimas (W , %) ir atsparumas gniuždymui prie $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (R_{50}) kg/cm^2 . Buvo reikalaujama, kad vandens prisotinimas nebūtų didesnis kaip 3% ir atsparumas gniuždymui ne mažesnis kaip 8-10 kg/cm^2 . Reikalaujamas dangos sutankinimo rodiklis turėjo būti ne mažesnis kaip 0,98, lygumas (plyšys po 3 metrų ilgio linijoje) ne didesnis kaip 5 mm, rato sukibimas su danga,

išmatuotas PKRS-2u prietaisu, ne mažesnis kaip 0,4.

Vertinant automagistralės lygumą 3 metrų ilgio liniuote buvo nustatyta, kad Vilnius – Kauno ruože plyšių dydžiai svyravo nuo 1,01 iki 2,68 mm, o Kauno – Klaipėdos ruože jų vidurkis buvo 1,6 mm.

1971 m. Vilniaus – Kauno ruože pavasarį ir rudenį buvo išmatuoti dangos įlinkiai Benkelmano sija. Pagal matavimo duomenis dangos stiprumas buvo pastovus bet kurio sezono metu ir turėjo pakankamai aukštą stiprumo atsargą. Tai rodė, kad automagistralės dangos konstrukcija parinkta teisingai: stipri, atspari šalčio poveikiui, lygi. 1969-1975 m. atlikti lygumo tyrimai Vilniaus – Kauno ruože. Dangos lygumas buvo užrašytas specialios konstrukcijos prietaisu – smūgiamačiu, sumontuotu ant automobilio M21 (Volga). Tyrimo rezultatai parodė, kad beveik per šešerius eksploatacijos metus kelio dangos lygumas mažai pasikeitė, ji buvo ypatingai lygi. Lygumas pakito dešinėje pusėje nuo 6,7 iki 8,3 cm/km, o kairėje pusėje nuo 8,3 iki 9,2 cm/km (ypatingo lygumo intervalas yra nuo 0,0 iki 20 cm/km).

1981 m. automagistralės Vilniaus – Kauno ruože dangos lygumas buvo užrašytas “Orgtechkeltiesimo” prietaisu PKRS-2u. Matavimo duomenys pateikti 1.3 lentelėje:

1.3 lentelė. Dangos lygumo matavimo duomenys [3]

Automagistralės ruožai	Dangos įrengimo metai	Ruožo ilgis, km	Prietaiso PKRS-2u parodymai, cm/km	Variacijos koeficientas, V, %
Vilniaus - Kauno	1967-1970	76	378,2	10,9
Kauno – Kryžkalnio	1972-1981	88,5	382,3	10,6

Pagal instituto SOJUZDORNII sudarytą kelių dangos lygumo įvertinimo skalę eksploatuojamų ir naujai nutiestų automagistralės ruožų dangų lygumas yra labai geras (neviršija 390cm/km). [3]

Per 1992 - 2002 m. laikotarpį kelyje Vilnius – Kaunas – Klaipėda suremontuota arba naujai įrengta 530,4 km (skaičiuojant kiekvienai eismo kryptčiai) asfaltbetonio dangos. Dešimtojo dešimtmečio pradžioje, sumažėjus finansavimui, lėšų trūko ne tik plėtrai, bet ir esamai kelių būklei palaikyti. Per metus suremontuojama vidutiniškai tik apie 4-5 % dangos. Augant autotransporto srautams ir blogėjant kelių būklei, nuo 1996 m. kelių remontui pradėta naudoti paskolų iš užsienio bankų lėšas. Remonto darbų apimtys išaugo, o nuo 1998 m. pradėti platinti kai kurie kelio Vilnius - Kaunas ruožai, kad iki 2015 m. jie atitiktų AM techninius parametrus. 1997 m. buvo atnaujinta apie 23 km, o 1988 m. - apie 37 km kelio dangos. Ypač kelio darbų apimtys išaugo nuo 2001 m., kai Europos Sąjunga pradėjo skirti lėšų IXB transporto koridoriaus rekonstravimui pagal ISPA programą. Nuo 2001 m. iki 2003 m. IXB koridoriui skirta ir įsisavinta apie 32 mln. eurų (apie 111 mln. Lt) ISPA programos lėšų ir apie 10,7 mln. eurų (apie 37 mln. Lt) - Lietuvos lėšų.

Analizuojant A1 kelio rekonstravimo poreikį, atsižvelgiama į tai, ar kelio techninė kategorija atitinka esamą ir prognozuojamą automobilių eismo intensyvumą.

Remiantis sudaryta eismo intensyvumo prognoze ir atsižvelgiant į esamas A1 kelio ruožų technines kategorijas, per ateinančius metus nustatytas rekonstravimo platinant dangą poreikis yra ir ateityje turėtų būti toks:

- kelio ruožai 50,0-51,90 km, 64,53-69,88 km, 81,12-85,15 km ir 86,30-89,40 km (2004 m. statyba);
- kelio ruožai 24,06-31,00 km, 34,04-36,99 km, 51,90-57,24 km ir 65,40-70,00 km (2005 m. statyba)
- kelio ruožai 19,34-21,75 km, 31,0-36,9 km ir 53,1-60,05 km (2006 m. statyba).

2004-2006 m. laikotarpiu yra numatyti šio kelio plėtros programos darbo objektai, darbų atlikimo terminai ir išlaidos. Per šiuos trejus metus išlaidos numatomiems darbams sieks apie 161 mln. Lt (įskaitant planavimo, projektavimo, techninės ir statinio projekto vykdymo priežiūros išlaidas bei mokesčius). Pagal metus išlaidos išdėstytos taip: 2004 m. - apie 10 mln. Lt, 2005 m. - apie 82 mln. Lt ir 2006 m. - apie 69 mln. Lt. Įgyvendinant 2007-2009 m. plėtros ir rekonstravimo programą kelyje A1 Vilnius - Kaunas - Klaipėda iš Europos Sąjungos Sanglaudos fondo lėšų, dangos platinimui, stiprinimui ir atnaujinimui numatyta skirti apie 86.4 mln. Lt, o kelio infrastruktūros statiniams ir eismo saugumo priemonių įgyvendinimui – apie 30 mln. Lt. [4]

1.2 Lietuvos kelių dangų būklės analizė

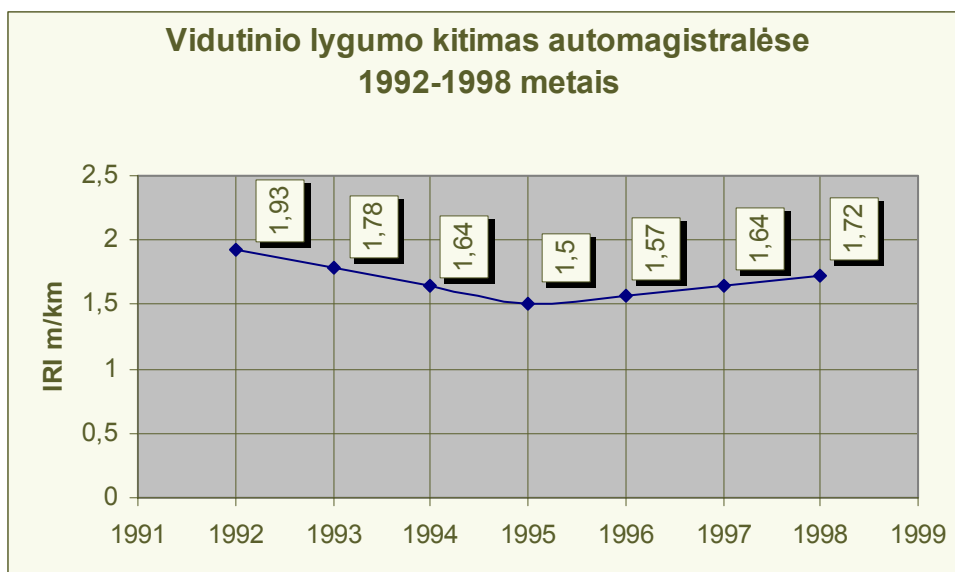
Didėjantis eismo intensyvumas ir apkrovos lėmė greitesnį dangos irimą. Kaip parodyta 1.6 pav., vidutinis kelio dangos lygumas A1 ir A2 keliuose ėmė blogėti nuo 1995 metų, nors maždaug tuo pačiu metu dangų remonto kokybė pagerėjo ir toliau gerėja. 1998 metais A1 kelyje vidutinis dangos lygumas iškart po asfaltbetonio dangos remonto buvo apie 1,3 m/km, o 1999 m. jis pagerėjo iki 1.1 m/km.

Dangos lygumas visame A1 kelyje buvo matuotas 1998 metais. Pagal "Automobilių kelių priežiūros normatyvus. PN-96" ir IRI sistemą asfaltbetonio dangų lygumas AM ir A1 kategorijų keliuose neturi būti didesnis už tokias ribines reikšmes[5]:

- esant I priežiūros lygiui-1 m/km;
- esant II priežiūros lygiui- 2 m/km;
- esant III priežiūros lygiui- 3 m/km.

Atsižvelgiant į tai, kelio atkarpos pagal dangos lygumą jose, buvo suskirstytos į grupes, o atkarpų ilgiai susumuoti (1.4 lentelė). Gauta, kad 1998 metais didžiąją dalį sudarė gero ir patenkinamo lygumo dangą. Ruožų su blogu lygumu buvo apie 34,0 km. Galima prognozuoti,

kad šiuo metu tokių ruožų yra tiek pat arba netgi daugiau.



3 pav. Vidutinis lygumo kitimas automagistralėse 1992-1998 m.

1.4 lentelė. Dangos lygumas A1 kelio atkarpose 1998 metais

Atkinką	Lygumo įvertinimas							
	puikus		geras		patenkinamas		blogas	
	< 1 m/km		1-2 m/km		2-3 m/km		> 3 m/km	
	km	%	km	%	km	%	km	%
10 - 103 km	18,1	10	23, t	66	35,8	19	8,7	5
103 - 306 km	56,8	14	214,9	53	108,8	27	25,3	6
Iš viso	74,9	13	338,0	57	144,6	24	34,0	6

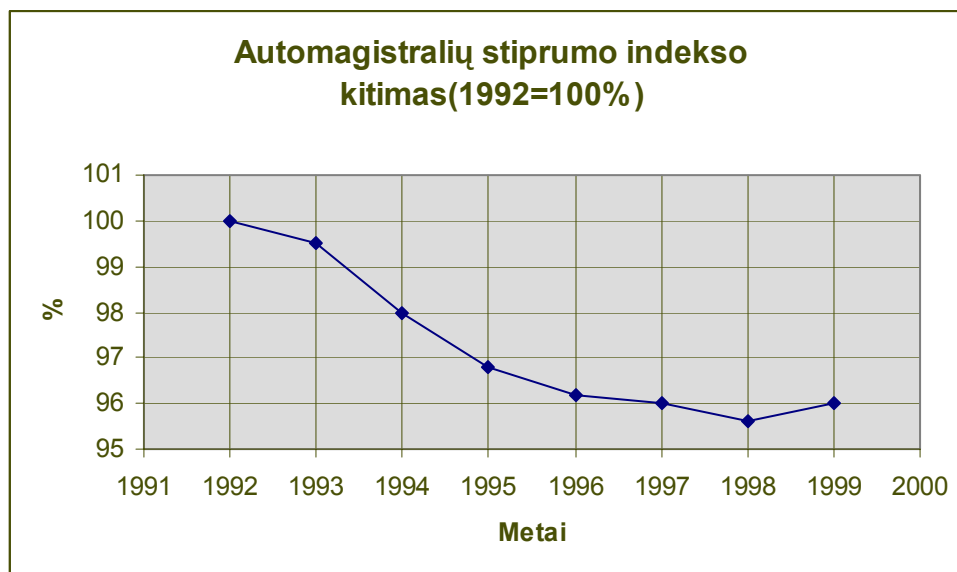
Kelio lygumas yra labai svarbus parametras, tačiau gali būti ir taip, kad kelias atrodo lygus, defektų nėra, tačiau jo konstrukcija silpna, o nesiimant stiprinimo darbų, kelias netrukus gali pradėti irti. Juodų dangų stiprumą apsprendžia stiprumo indeksas - struktūrinis skaičius SNC. Struktūrinis skaičius gaunamas matuojant įlinkius Benkelmano sija arba krentančio svorio deflektometru (nuo 1997 metų krentančio svorio deflektometras naudojamas ir Lietuvoje). Tyrimų rezultatai rodo [6], kad Lietuvos kelių danga pamažu silpsta – modifikuotas struktūrinis skaičius SNC kasmet sumažėja vidutiniškai 2 %.

Lietuvoje stiprumo matavimai atliekami bandomuosiuose ruožuose bei ruožuose, kuriuose artimiausiu metu numatoma atlikti stiprinimo darbus, o ne visame kelių tinkle. Vidutiniai dangų stiprumai automagistralėse buvo apskaičiuoti, įvertinant stiprumo mažėjimą bandomuosiuose ruožuose, o taip pat eismo intensyvumą. Skaičiavimai buvo atlikti 1998 m. pradžioje. 1998-1999 metais atlikti dangų remontai nebuvo įvertinti.

Skaičiavimų rezultatai magistralinių ir krašto kelių tinklui pateikti 4pav., jie parodo bendrą dangos stiprumo mažėjimą nuo 1992 metų.

Akivaizdus stiprumo mažėjimo pavyzdys yra provėžų atsiradimas Lietuvos keliuose, o prieš keletą metų jų praktiškai nebuvo. 1999 metais provėžos buvo matuotos pavasarį

ir rudenį. 1999 metų pavasarį atskiruose A1 kelio ruožuose, kurių bendras ilgis 24 km, atlikti vėžetumo matavimų rezultatai pateikti 1.5 lentelėje



4 pav. Automagistralių stiprumo indekso kitimas

1.5 lentelė. Provėžų gylio pasiskirstymas A1 kelio bandomosiose atkarpose, 1999 metų pavasaris, km

Ilgis	Provėžų gylis, mm						
Km	<5	.5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	>40
24.00	6.41	8.77	5.1	2.68	0.98	0.05	0.05

Pavasario matavimų rezultatai parodė, kad apie 37% matuotų ruožų provėžos viršijo 10 mm, o 0,2% matuotų ruožų - 20 mm.

1999 m. spalio mėnesį buvo matuojamos provėžos tuose A1 kelio ruožuose, kuriuose vizualiai matomos didelės provėžos. Šių matavimų rezultatai pateikti 1.6 lentelėje.

1.6 lentelė. Provėžų gylio pasiskirstymas A1 kelio bandomosiose atkarpose, 1999 metų ruduo, km

Atkarpa	Ilgis	Provėžų gylis, mm						
Km	Km	<5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	>40
11.0.. ..16.0 4 juosta	5.0	0.1	1.32	1.62	0.97	0.9	0.1	0
15.0... 22.0 1juosta	7.0	0.21	1.3	1.69	1.15	1.73	0.7	0.23
23.0... 30.0 4juosta	7.0	0.01	1.52	3.32	1.35	0.74	0,07	0
33.0... 40.0 1 juosta	7.0	0.26	2.39	2.44	1.34	0,57	0.01	0
45.0... 53.0 1juosta	8.0	0.03	2.18	3.78	1.29	0.6	0.13	0
45.0... 65.0 4juosta	20.0	0.47	7.3	7.52	3.03	1.4	0.27	0.02

1.6 lentelės tęsinys.

Atkarpa	Ilgis	Provėžų gylis, mm						
Km	Km	<5	5-10	10-15	15-20	20-30	30-40	>40
81.0... 90.0 4juosta	9.0	0.14	3.61	2.83	1.29	1.12	0.02	0
87.0... 91.0 1juosta	4.0	0	1.09	1.88	0.64	0.38	0.02	0
Iš viso, km:	67.0	1.22	20.71	25.08	11.06	7.44	1.32	0.25
Iš viso, %:	100	1.8	30.9	37.4	16.5	11.1	2.0	0.4

Pastarųjų matavimų rezultatai parodė, kad net 67% matuotų ruožų provėžos viršijo 10 mm, 13% matuotų ruožų viršijo 20 mm, 2,4% matuotų ruožų viršijo 30 mm bei 0,4% matuotų ruožų provėžos viršijo 4 cm. Ateityje ši problema dar labiau aštrės, nes mūsų keliai projektuoti ir statyti maksimaliam 10 t/ašį apkrovimui.

Kelių būklės vertinimo būdai pasirenkami priklausomai nuo to, kuriam tikslui bus panaudoti apie kelių būklę surinkti duomenys. Dažniausiai šie duomenys renkami planuojant kelių priežiūros, kelių dangos remonto ir kelių dangos konstrukcijos atstatymo ar stiprinimo darbus.

1940 – 1950 metais Lietuvos kelių dangos būklė buvo tikrinama ir vertinama vizualiai. Šiuos darbus atlikdavo kelių priežiūros inžinieriai. Būdavo matuojamas kelių dangos plyšių atsivėrimo plotis bei plyšių ilgis, o dangos priežiūros lygį inžinieriai pasirinkdavo vadovaudamiesi savo patirtimi ir intuicija.

1950 – 1970 metais į Lietuvą pradėti vežti dangos lygumo ir šiurkštumo matuokliai, dangos konstrukcijos įlinkių matavimo prietaisai, todėl pradėta rinkti objektyvią informaciją apie kelių dangos ir jos konstrukcijos būklę, kuri, kartu su kelių dangos būklės vizualių apžiūrų duomenimis, buvo naudojama planuojant kelių dangos priežiūros, taisymo ir remontų bei dangos konstrukcijos atstatymo ar stiprinimo darbus.

1970 – 1980 metais, kai Lietuvos kelių ūkyje stygo lėšų, pradėti nustatyti kelių priežiūros prioritetai: lėšos pirmiausiai būdavo skiriamos tiems kelių ruožams, kurie buvo labai svarbūs – juose buvo didelis transporto priemonių eismo intensyvumas ir kurių dangos būklė netenkino eismo poreikių, t.y. ten, kur jos buvo reikalingiausios. Buvo įvertinami projektai pagal kelių dangos priežiūros bei kelių dangos konstrukcijos atstatymo poreikius ir nustatoma, kurios dangos ir jos konstrukcijos priežiūros ir atstatymo darbus tikslinga taikyti. Buvo suplanuojama, kada turėtų būti atliekami šie priežiūros ar atstatymo darbai, siekiant kad kelių priežiūros darbų kaina per tam tikrą laikotarpį būtų mažiausia.

Planavimas Lietuvos automobilių kelių ūkyje, lyginant su labiausiai išsivysčiusiomis poindustrinėmis šalimis, yra atsilikęs 10 – 30 metų, nes tuos uždavinius, kurie pas mus sprendžiami dabar, minėtų šalių kelininkai sprendė 1970 – 1990 metais. Viena iš svarbiausių šio

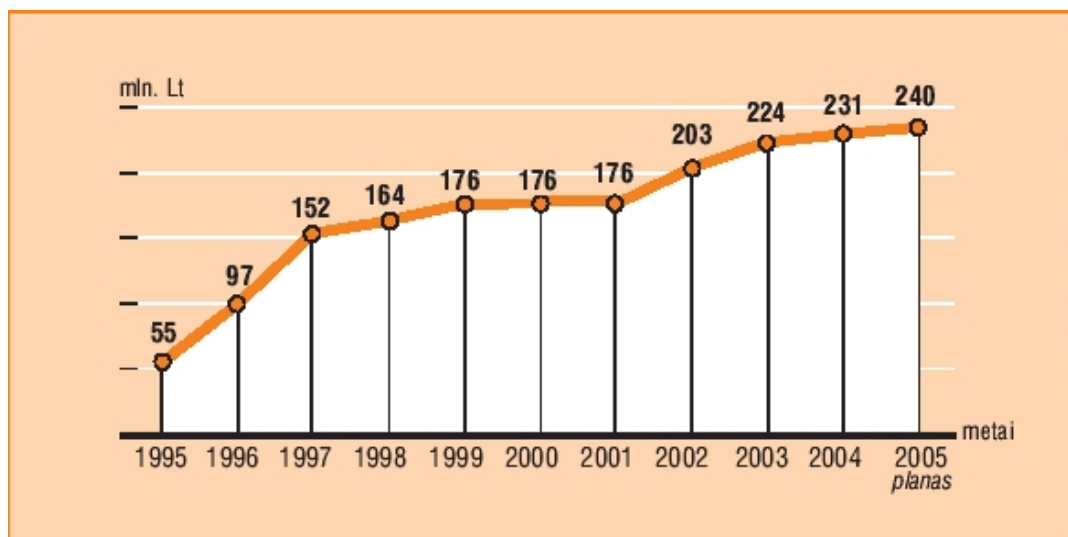
atsilikimo priežasčių yra ta, kad Tarybų Sąjungoje mokslo ir technikos pasiekimai pirmiausiai buvo nukreipti kelių tinklo plėtrai, o ne kelių priežiūrai ir kelių dangos reikiamai būklei palaikyti.

Pastaraisiais metais išsivysčiusiose šalyse galima išskirti tris svarbias kelių dangos būklės vertinimo sritis:

- kelių dangos ir jos konstrukcijos remonto ar stiprinimo prioritetų nustatymas,
- kelių dangos ir jos konstrukcijos priežiūros, remonto ar atstatymo (stiprinimo) strategijos nustatymas – parenkami konkretūs priežiūros, remonto ar atstatymo būdai,
- prognozuojama kelių dangos ir jos konstrukcijos būklė ateityje – po 1, 2, 3,... n metų – ši prognozė reikalinga planuojant kelių dangos ir jos konstrukcijos remonto darbų apimtis ateityje.

Atlikti tyrimai [7,8] rodo, kad kelių dangos būklė turi būti tikrinama pastoviai todėl, kad būtų galima objektyviai ir tiksliai nustatyti kelių dangos ir jos konstrukcijos remonto darbų kasmetines apimtis, o tarpremontiniai laikotarpiai periodiškai turi būti tikslinami dėl Lietuvos keliuose besikeičiančių eismo sąlygų: transporto priemonių eismo intensyvumo, eismo sudėties ir kt.

Automobilių keliams tiesti, modernizuoti, taisyti ir prižiūrėti skiriama labai daug lėšų (7, 6 pav.) [2], todėl būtina, kad šie pinigai būtų panaudoti racionaliai. Pagal nustatytus racionalius kelių dangos ir jos konstrukcijos tarpremontinius laikotarpius galima planuoti dangos ir jos konstrukcijos taisymui (remontui) skiriamas lėšas ir pasiekti, kad kelių dangos būklė būtų artima optimaliai, o keliais vežant keleivius ir krovinius būtų gautas didžiausias ūkio efektas.



6 pav. Kelių priežiūros finansavimo dinamika

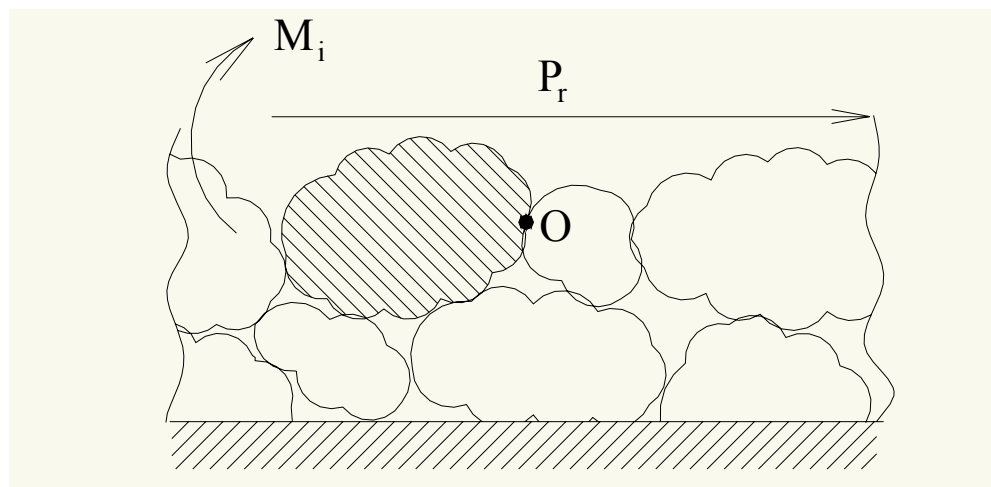
1.3 Automobilių kelių asfaltbetonio dangos medžiagų ir jos konstrukcijos irimas ir deformacijos

Asfaltbetonio danga, veikiamą drėgmės, temperatūros, besisukančių ratų jėgų ir aplinkos veiksnių, nuolat yra. Daugelio šalių techninėse sąlygose nurodyta, kad kelio dangos paviršius turi būti lygus, bet neglotnus, šiurkštus ir neslidus, o dangos medžiaga savo komponentine sudėtimi, sutankinimo laipsniu, stipriu ir kitais rodikliais ne mažesnio kaip nurodyta vienodumo visame plote. Kelio danga atlaiko didžiausias išorės apkrovas: gniuždos, trinties, šlyties ir kitokių automobilių ratų poveikį bei klimato veiksnių poveikį. Deformacijos ir suirtys gali būti tikrai kelio dangos ir (arba) visos dangos konstrukcijos. Dažniau yra daugiakomponentinės dangos, sudarytos iš keleto inertinių medžiagų frakcijų, sujungtų rišamosiomis medžiagomis. Tačiau gali būti ardamos ir inertinės ar rišamosios medžiagos. Jos gali dulkėti, keistis kai kurios jų frakcijos, organinės medžiagos dar ir senėti. Dėl šių priežasčių asfaltbetonio dangoje atsiranda tam tikrų deformacijų.

Lukštenimasis - tai deformacijos, kai dėl aplinkos ir eismo veiksnių įtakos nuo mineralinių grūdelių atplėšiamos rišamųjų medžiagų plėvelės. Atidengtas paviršius tampa poringesnis, mišiniuose silpniau laikosi akmens medžiagų grūdeliai ir danga tampa netvirta. Procesas greitai plinta ir danga gali neišlaikyti apkrovų. Išskyrus asfaltbetonio dangas, dažniausiai taip ardamos cementbetonio ir bitumo mineralinių mišinių dangos. Pagrindinės šių deformacijų priežastys - nepakankamas rišamųjų medžiagų lipnumas ir aplinkos temperatūrų svyravimas. Šie reiškiniai dažnesni pavasarį, kai dangos paviršiaus temperatūra nepastovi ir daug drėgmės. Ypač nepageidautini vandenyje ištirpę chloridai. Tirpalai su chloridu, išskirdami fazinio virsmo šilumą, greičiau tirpina medžiagoje ledo kristalus, kurie vėl formuojasi orui atšalus. Toks pagreitinamas ledo kristalų formavimosi ciklas labai mažina medžiagų atsparumą šalčiui ir spartina asfaltbetonio dangų lukštenimąsi. Kad danga neirtų, geriausia paviršių apdoroti bitumo ir akmens skaldos mišiniais.[9]

Aplukštentoje dangoje prasideda medžiagų irimo procesas. Tai palyginti nedidelės dangos deformacijos, kai iš viršutinių sluoksnių išplėšiamos smulkios, o vėliau ir didesnės akmens medžiagų dalelės. Taip gali irti visų rūšių dangos, kai susilpnėja pavienių grūdelių sankaba. Tvirtose daugiakomponentėse medžiagose šis procesas vyksta lėčiau, bet su greitėjimo tendencija. Iš pradžių pasirodo mažos duobelės, jose kaupiasi vanduo, kuris per atsiradusias poras skverbiasi gilyn, silpnindamas rišamųjų ir mineralinių medžiagų ryšius, o netekusi tvirto ryšio sudėtinė medžiaga nesunkiai ardoma eismo. Tokių deformacijų priežastis gali būti nekokybiška mišinių gamyba, blogos transportavimo sąlygos, prasta paklojimo bei mišinių sutankinimo kokybė. Išjudinus nors vieną grūdėlį, surišimo sistema suyra, ir laisvi grūdeliai

lengvai ratų išplėšiami iš dangos (8 pav.). Tad labai svarbu teisingai parinkti viršutinių sluoksnių mišinių sudėtį ir juos gerai sutankinti. Pradėjusias didėti deformacijas geriausia sustabdyti dangos paviršių apdorojant organinėmis rišamosiomis medžiagomis.



8 pav. Sudėtinių medžiagų irimas asfaltbetonio dangoje

Nuodyla - pagrindinis dangos suirties tipas. Dangų dilumas— tai jų viršutinių sluoksnių medžiagų dėvėjimasis nuo transporto ir aplinkos poveikio. Labiausiai danga dyla ratų ir dangos sąlyčio vietose, kur veikia trinties jėgos bei atsiranda kontaktiniai įtempimai. Procesas labai sudėtingas, nes veikia daug veiksnių. Didžiausią įtaką turi eismo ir transporto priemonių charakteristikos, klimato sąlygos bei dangos atsparumas. Dangos dilimo intensyvumas labai priklauso nuo eksploataavimo trukmės. Tik ką paklotoje dangoje šios deformacijos nedidelės. Sunku atskirti, ar danga tankėja, ar dyla. Tokios deformacijos pastebimos tik rišamosiomis medžiagomis nesutvirtintose asfaltbetonio dangose. Vėliau, dangoms visai sutankėjus, jų dilumas yra tiesiai proporcingas eksploataavimo trukmei. Pasenusi asfaltbetonio danga deformuojasi nuo daugelio veiksnių. Todėl tik normalių deformacijų periodu dilumas teisėtai laikomas pagrindine dangų suirimo priežastimi ir pagal tai prognozuojami tarpremontiniai periodai.[9]

Tyrimais nustatyta, kad asfaltbetonio mišiniuose padidinus bitumo kiekį 5. . .7%, dangos dilumą galima sumažinti net 80%, o nuosėdines mineralines medžiagas pakeitus magminėmis, šį rodiklį padidinti 60%. Kiek mažiau tirta aplinkos veiksnių įtaka dangų dilumo raidai, nes šiuo atveju daugiau reikšmės turi vietos klimato sąlygos, kurių analizei reikia plataus eksperimentinio poligono. Tačiau, remiantis turimais moksliniais duomenimis, galima nesunkiai prognozuoti asfaltbetonio dangų dilimo tempus skirtingomis klimato sąlygomis. Kelių eksploatacijos tarnybos pagal tokią informaciją turi parengusios keletą efektyvių priemonių šioms deformacijoms keliuose mažinti. Dangų dilumas labai priklauso nuo projekto parengimo, taip pat dangos medžiagų kokybės, jų struktūrinės sudėties, vienalytiškumo bei dangų klojimo technologijos. Labiau dyla asfaltbetonio dangos, įrengtos iš silpnų akmens medžiagų, kuriose mažiau rišamųjų medžiagų, kai jos blogiau sutankintos ar yra kitų technologinių defektų. Dangos

dilumas yra labai svarbi ne tik techninė, bet ir ekonominė kelio konstrukcijos charakteristika, nuo jos labai priklauso kelių remonto išlaidos bei pervežimų vertė.

Asfaltbetonio dangos deformacijų klasifikacija, atsiradimo priežastys

Projektuojamam keliui dangų elementai parenkami tokie, kurie ilgai nesuirtų nuo aplinkos veiksnių ir transporto priemonių apkrovų. Skaiciuojant įvertinamos norminės apkrovos ir vidutinės darbo sąlygos, bet ilgainiui kelio profilis, spinduliai ir kitokie elementai kinta, tuomet ir susidaro palankios sąlygos deformacijoms plėtotis. Šis procesas dar sparčiau vyksta, kai nesilaikoma įrengimo darbų technologijos nurodymų, taip pat naudojamos nekokybiškos statybinės medžiagos. Labai svarbu ir hidroterminis režimas bei laiko veiksnys, kuris daugiausia pasireiškia medžiagų senėjimui. Dėl tokios deformacijų atsiradimo priežasčių įvairovės dangos kokybiškai kinta ir yra labai įvairiai. Dažniausiai jos nusėda, įlūžta, aptrupa, sutrukinėja, persistumia ir nusidėvi jų sluoksniai. Irimas ir dilimas - tai taip pat dangų deformacijos.

Danga atsparumo netenka kai ją nuolat veikia gamtiniai veiksniai ir periodinės automobilių apkrovos. Šie nuostoliai būna didesni kai pasitaiko projektavimo ir gamybinių defektų. Apkrovoms periodiškai keičiantis, danga juda - tai įlinksta, tai vėl atsistato, joje gali vykti ir tankėjimo procesas. Kadangi danga yra ne vientisas kūnas, o sudarytas iš įvairaus didumo mineralinių grūdelių, sujungtų ar nesujungtų rišamosiomis medžiagomis, tai jie gali judėti vienas kito atžvilgiu. Šio proceso metu gali keistis ne tik grūdelių padėtis konstrukcijoje, bet ir jų forma. Dažniausiai sąlyčio vietoje nulūžta aštrios briaunelės, atsiranda naujų smulkių grūdelių, jie persigrupuoja. Smulkėjant mineralinių medžiagų mišiniams, didėja jų paviršius, sumažėja rišamųjų medžiagų, daugiau įgeriama vandens, kinta jų atsparumas. Taip plastinės deformacijos pereina į liekamąsias, atsiranda plyšių ir danga pradeda intensyviai irti.

Dangos paprasčiausios deformacijos yra nuosėdis. Jos atsiranda sutankėjus kelio konstrukcijos apatiniams sluoksniams, t. y. pirmaisiais eksploatacijos metais, kai apkrovos būna didesnės už apatinių sluoksnių, dažniausiai žemės sankasos, leistinuosius įtempimus. Nusėdusios vietos būna negilios ir lėkštos, todėl eismui netrukdo. Labiau gali nusėsti gruntas kelio statinių ir sujungimo vietose. Jose sunku sutankinti gruntą, gali pritekėti daugiau vandens ir net nusėsti statiniai. Šių deformacijų neįmanoma išvengti, kai įrengtoje žemės sankasoje klojamos požeminės komunikacijos, drenažas ar kiti įrenginiai.

Kai žemės sankasa visai išmirksta ar ją visai išplauna tekantis vanduo, danga netenka atramos ir gali įlūžti. Dažniausiai ji įlūžta prie vandens nuleidimo statinių ir iškylų susidarymo vietose. Tai labai pavojingos deformacijos, nes jos gali atsirasti netikėtai, o dėl to įvykti didelės eismo avarijos. Dangos gali būti sulaužytos ir dėl kitų priežasčių, pavyzdžiui, sunkioms transporto priemonėms užvažiavus ant silpnos ar išmirkusios dangos. Pravažiavus automobiliui

atsiranda vėžės ir danga visiškai suardoma. Taigi kelių eksploatacinės tarnybos privalo reguliuoti eismą pagal kelių techninę būklę.

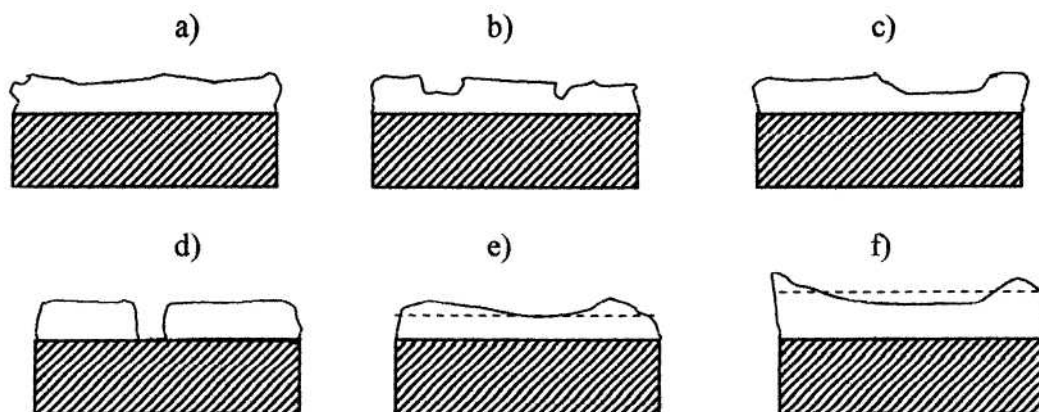
Kelių važiuojant sunkioms transporto priemonėms gali atsirasti neesminių, bet reikšmingų deformacijų - aptrupėti dangos kelkraščio sujungimo vietos, arba dangos surenkamųjų elementų siūlės. Iš pradžių danga pasidaro tik nelygi, bet vėliau suyra. Pradėjusias trupėti vietas galima užtaisyti įvairiomis mastikomis ar asfaltbetonio mišiniais, tačiau to nepadarius laiku, tenka remontuoti žemės sankasą, keisti apatinius dangos sluoksnius, taisyti dangos paviršių.

Kai kurios deformacijos vyksta tik viršutiniuose dangos sluoksniuose. Stabdant ir greitėjant sunkiems automobiliams, kai aplinkos temperatūra aukšta, asfaltbetonio dangų plastiškai paviršiai susibanguoja. Bangos atsiranda viršutiniams dangos sluoksniams persistumiant žemiau esančių atžvilgiu. Tokia danga tampa nelygi, sumažėja jos stiprumas, kartais atsiranda plyšių. Tokių deformacijų nebus, jeigu tiesiant kelią dangos sluoksniai gerai sukibs. Be to, asfaltbetonio mišinyje turi būti ne per daug bitumo. Tačiau danga gali susibanguoti ir dėl kitos priežasties - vienodos masės ir greičio. Nuo vienodos ratų ir kėbulo vibracijos plastiškai viršutiniai dangos sluoksniai pagal tam tikrą sistemą deformuojasi. Deformacijos būna didesnės automobilių stabdymo vietose, bet jos gali susidaryti ir todėl, kad asfaltbetonio danga paklota ant nerišlaus ir silpnai sutankinto pagrindo. Klojant dangą, tokių bangų susidarymo priežasčių nesunku išvengti įrengus tvirtą pagrindą. Bangavimosi procesą galima sumažinti ant dangos išpylus smulkaus skaldinėlį ir jį sutankinus plentvoliais.

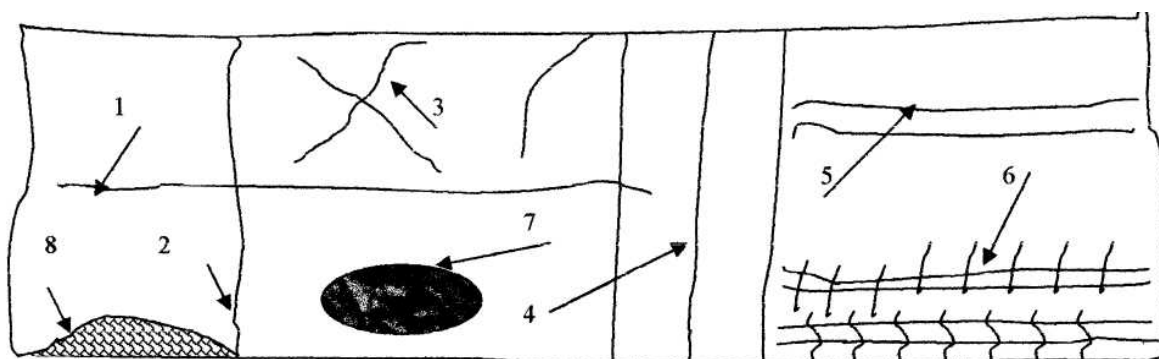
Yra tokių kelio dangų deformacijų, kurios mažai arba visai nepriklauso nuo eismo. Tai įvairiausių rūšių plyšiai. Daugumas jų atsiranda dėl staigaus temperatūrų pokyčio. Skersiniai temperatūriniai plyšiai dažniausiai išsidėsto kas 6...10 m, jie atsiranda dėl nepakankamo dangos atsparumo šlyties deformacijoms. Išilginiai plyšiai - taip pat temperatūros pokyčių rezultatas, jie atsiranda technologinių siūlių vietose. Kitų krypčių temperatūriniai plyšiai yra skersinių ar išilginių netaisyklingų įtrūkimų tąsa. Tinklelio pavidalo plyšiai - tai iškylų veiklos arba blogai įrengtos dangos pagrindo ar žemės sankasos rezultatas. Nuo drėgmės susilpnėjęs dangos pagrindas neišlaiko apkrovų, labai įlinksta ir sutrūkinėja. Tinklelio pavidalo plyšių gali atsirasti dangos ir kelkraščio arba dviejų surenkamųjų dangos blokų sujungimo vietose.

Plyšiai - tai labai pavojingos deformacijos, ypač asfaltbetonio dangoms. Dažnai sutrūkinėja ir nauja danga, nors jos stiprumo rodikliai pakankamai geri. Išvengti tokių deformacijų paprastai neįmanoma - reikia kloti dar vieną viršutinį sluoksnį. Kaip rodo praktika, paklojus plonesnius kaip 4...5 cm sluoksnius, po kelių metų tose pačiose vietose atsiranda dubliuojantys plyšiai. Taip dėl periodiško plyšių remonto dangos nuolat storėja. Tiesiant kelią, plyšių atsiradimo priežastį šalinti lengviau, todėl svarbu gerai įrengti dangų pagrindą ir tinkamai

sureguliuoti hidroterminį režimą.[9]



9 pav. Kelio asfaltbetonio dangos defektai [12]: *a* - išdaužos, *b,c* - išdaužos, *d*-šlytis, *e* - bangos, *f*- vėžė



10 pav. Kelio dangos plyšiai ir kitų tipų suirtys [12]; 1 - išilginiai plyšiai kelio važiuojamosios dalies ašyje; 2 - skersiniai (temperatūros įtakos) plyšiai; 3 - įstriži plyšiai; 4 - pasikartojantys skersiniai (temperatūros įtakos) plyšiai; 5 - išilginiai nuovargio plyšiai, susidarantys dangos juostoje, kuria rieda daugumos automobilių ratai; 6 - išilgine kelio kryptimi besidriekiantis nuovargio plyšių tinklas, susidarantis dangos juostoje, kuria rieda daugumos automobilių ratai; 7 - plyšių tinklas iškylų susidarymo vietose; 8 - dangos kraštų lūžiai.

Kelių dangos ir jos konstrukcijos defektai nemažai priklauso nuo medžiagų, iš kurių jos įrengtos stipruminių savybių, todėl, įvertinus dangos konstrukcijos būklę, būtina nustatyti medžiagų stiprį.

1.4 Automobilių kelių dangos priežiūra ir taisymo metodai

Asfaltbetonio dangos priežiūros normatyvai, reikalavimai, taikymo sritis ir bendros nuostatos

Lietuvos automobilių kelių direkcija (LAKD) darbus, atliekamus automobilių keliuose skirsto į priežiūros ir remonto. Priežiūros normatyvais (PN) reikia vadovautis, nustatant

valstybinės reikšmės kelių priežiūros lygius, atliekant darbus bei tikrinant darbų kokybę. Pateikiami priežiūros normatyvai suskirstyti į tris priežiūros lygius: I - aukštą, II - vidutinį, III - žemą.

I - Aukštas priežiūros lygis turi užtikrinti gerą techninę ir estetinę kelio būklę bei saugų eismą ištisą parą, visais metų laikais.

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

III - Žemas priežiūros lygis turi užtikrinti eismo saugumą ir kelio tinkamumą naudoti, tačiau skiriamas mažas dėmesys kelio estetinei būklei. Neužtikrinamas kelio arba jo atskirų elementų ilgaamžiškumas. Galimi eismo nutrūkimai, esant polaidžiui, sudėtingoms meteorologinėms sąlygoms žiemą.

Kelių statinių (tiltų ir viadukų) priežiūros normatyvai nurodomi tik tokiems elementams, kaip važiuojamosios dalies danga, šalitilčiai ir kt., kurie yra neatskiriama kelio dalis ir jų priežiūra yra tiesiogiai susijusi su kelio priežiūra.

Pagal kokį priežiūros lygį prižiūrėti kelią arba atskirus jo elementus, nustato Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija arba jos įgaliota institucija, atsakinga už kelių priežiūrą. Lietuvos Respublikos susisiekimo ministerija arba jos įgaliota institucija turi teisę keisti priežiūros lygius bei normatyvais nustatytus reikalavimus.

Pagal priežiūros lygius nustatytos darbų atlikimo datos ir trukmė. Nustatytos leistinos dangos deformacijos, jų taisymo, apdorojimo principai, būdai. [10]

Automobilių kelių remonto darbai skirstomi į dvi grupes: vidutinis remontas ir kapitalinis remontas. Einamasis (operatyvusis) kelių dangos remontas priskirtas kelių priežiūros darbų grupei.

Einamasis remontas - jo metu šalinami smulkūs kelių dangos defektai tam, kad jie neišaugtų į stambesnius defektus. Šie darbai paprastai atliekami vasarą. Kitu metų laiku (dažniausiai pavasarį ir rudenį) jie atliekami tik esant būtinybei - siekiant užtikrinti saugų ir patogų eismą bei neleisti susidaryti dideliems kelių dangos defektams. Einamasis remontas būna planinis ir profilaktinis. Planinis remontas atliekamas pavasarį, visame kelio ilgyje pašalinant visus defektus, susikaupusius žiemos metu, ir rudenį, paruošiant kelią žiemai. Profilaktinis remontas atliekamas visais metų laikais, jis skiriamas tik ką atsiradusiems dangos defektams pašalinti. Einamojo remonto metu neatstatomas nudilusios dangos sluoksnis ir nepadidinamas jos konstrukcijos stipris, tačiau, jį atlikus, padidėja važiavimo patogumas ir transporto priemonių srauto važiavimo greitis.

Atliekant kelių dangos einamąjį remontą, užtaisomi dangos plyšiai, duobės, įlužiai,

vėžės, išlyginamos dangos briaunos, atstatomas asfaltinės ir kitos kapitalinio tipo patobulintos dangos šiurkštumas.

Vidutinis remontas - jo metu periodiškai (vieną kartą per keletą metų) atstatomas nudilęs dangos viršutinis sluoksnis (todėl jis laikomas pagrindiniu dangos remonto būdu) ir kelio bei jo statinių prieš tai buvusios eksploatacinės savybės. Vidutinio remonto paskirtis - ištaisyti ir pašalinti kelių dangos ir statinių, esančių remontuojamame ruože, defektus bei suirtį (pažeidas). Nudilęs kelių dangos sluoksnis atstatomas padidinant jo (naujo sluoksnio) atsparumą dilimui, arba pastorinant dangą įrengiamu virš jos dilimo sluoksniu iš tokių pačių ar kitokių medžiagų.

Atlikus kelių dangos vidutinį remontą, atstatomas jos konstrukcijos stipris, arba jos dangos konstrukcijos stipris šiek tiek padidėja atstatyto storesnio nei buvo prieš tai jos dilimo sluoksnio dėka.

Kelių dangos vidutinio remonto metu atliekami šie darbai: visų dangos rūšių paviršiaus apdorojimas, atskirų ruožų asfaltinės dangos nudilusių sluoksnių storio atstatymas ar storesnių sluoksnių paklojimas.

Kapitalinis remontas - jo metu periodiškai (vieną kartą per keletą metų) pagerinamos remontuojamo kelio eksploatacinės savybės, pagerinant kelio techninius rodiklius bei padidinant jo dangos konstrukcijos stiprį, padidinant kelio statinių keliamąją galią ir net jų gabaritus.

Atlikus kapitalinį remontą, padidinamas kelių dangos konstrukcijos stipris, paklojant naujus kelių dangos sluoksnius (dangos konstrukcijos stipris gali būti atstatytas visiško dangos atstatymo - jos regeneravimo būdu). Kelių dangos konstrukcijos kapitalinis remontas skiriamas tada, kai dangos konstrukcijos faktinis stipris sumažėja tiek, kad pasiekia kritinę ribą, o jos (dangos konstrukcijos) faktinis tamprumo modulis tampa mažesnis už leistinąjį.

Dangos rekonstruojamos tada, kai tolesnė jų priežiūra ir taisymas techniškai ir ekonomiškai yra nenaudingi, arba kai to reikia transporto eismui.

Planuojant dangų rekonstravimo darbus pagrindiniai kriterijai turi būti:

- ekonomiskumas;
- kelio trasos plano, ypač avaringose vietose, taisymas;
- išilginio profilio ir skersinių nuolydžių taisymas;
- dangos ir žemės sankasos platinimas;
- asfaltbetonio dangų stadijinis stiprinimo būdas;
- pakartotinis esamos dangos konstrukcijos medžiagų panaudojimas;
- eismo organizavimas kelio rekonstravimo metu.

Ilgėsiuose ruožuose tikslinga nustatyti vienodus dangos konstrukcijos sluoksnių storius. Stiprinamos dangos konstrukciją reikia parinkti vadovaujantis detaliais tyrimais ir dangos stiprio skaičiavimais. Kai bendras naujų asfaltbetonio sluoksnių storis mažesnis kaip 12 cm, reikia

numatyti priemonės esamų dangos plyšių pasikartojimui sumažinti (geotechninių gaminių panaudojimas).

Senos deformuotos dangos skersinio ir išilginio profilio nelygumai išlyginami asfaltbetonių. Kai naujos dangos išilginės ir skersinės siūlės nesutampa su pagrindo siūlėmis, reikia numatyti tarpinius geotekstilės sluoksnius.

Dangos taisymo metodai

Asfaltbetonio dangai taisyti dažniausiai taikomi asfaltbetonio dangų regeneravimas. Seno asfaltbetonio danga regeneruojama karštuju būdu, kai ją taisyti, šalinant lokalius defektus, neefektyvu, o naują sluoksnį įrengti dar nebūtina. Rekonstruojant kelią (taisant dangą), nepanaudota senoji asfaltbetonio danga turi būti susmulkinama, perdirbama ir klojama šaltuoju būdu. Perdirbto asfaltbetonio mišiniai naudotini IV–VI klasės dangų konstrukcijose, o vietinės reikšmės keliams – apatiniam ir dėvimajam dangos sluoksniui rengti. Reikalavimai karštuju ir šaltuoju būdu regeneruojamiems bei perdirbamiems asfaltbetonio mišiniams ir klojamiems dangos konstrukcijos sluoksniams išdėstyti atitinkamuose normatyviniuose dokumentuose.

Asfaltbetonio dangos regeneravimo metodus galima suskirstyti į tris pagrindines grupes [11]:

- dangos regeneravimas "permerkimo" būdu, apdorojant dangą "atnaujinančia" medžiaga,
- dangos išlyginimas pakaitinus,
- dangos pjovimas (frezavimas) arba suardymas, perdirbant asfaltbetonį ir paklojant į išardytą vietą.

Asfaltbetonio dangos regeneravimas permerkimu "atnaujinančia" medžiaga yra profilaktinis dangos taisymo atskirose vietose būdas. Jis padeda atstatyti dangos eksploataavimo metu pasenusias bitumo savybes. Asfaltbetonio regeneravimas "atnaujinančia" medžiaga padeda pašalinti tik nedidelius dangos defektus.

Dangos regeneravimo "atnaujinančia" medžiaga technologiniame procese yra šios operacijos: dangos paviršiaus nuvalymas, emulsijos paskleidimas $1,5-3,0 \text{ l/m}^2$ k, dangos paviršiaus tolygus pabarstymas smėliu. Praėjus 2-3 valandoms galima regeneruota danga leisti važiuoti transporto priemonėm, apribojant jų greitį iki 40 km/val. Yra ir kitų kelių dangos regeneravimo "atnaujinančia" medžiaga būdų.

Asfaltbetonio dangų regeneravimas priklauso termoprofilavimo metodų grupei. Universaliausia mašina, remontuojanti dangas termoprofilavimo būdu - "Remikser" tipo Virtgen firmos "Remikseris". Dirbant "Remikser" tipo mašina (toliau - remikseriu), remontuojamos dangos sluoksnis infraraudonaisiais spinduliais iššildomas ir purenamas 2-5 cm gylyje. Išpurentas mišinys paskirstomas išilgine ir skersine kryptimi, jeigu reikia, pridedama

naujo mišinio, išlyginama ir sutankinama. Termoprofilavimas naudojamas išilginiams ir skersiniams dangų nelygumams atstatyti, taip pat juo pašalinami dangų defektai – vėžės, duobės, užslinkimai, plyšiai. Šiuo būdu gali būti remontuojami užmiesčio, miesto keliai, gatvės, aerodromai.

Termoprofilavimas remikseriu gali būti atliktas penkiais režimais:

- 1) nepridedant naujo mišinio, nehomogenizuojant senojo, o tik išlyginant dangą;
- 2) tas pats su seno mišinio homogenizavimu;
- 3) naujo mišinio papildomo sluoksnio klojimas ant suprofiluoto seno sluoksnio – termoklojimas;
- 4) tas pats, tik naujas mišinys sumaišomas su senu ir klojama vienu sluoksniu;
- 5) tas pats, tik naujas mišinys sumaišomas su senu ir klojama vienu sluoksniu – termosumaišymas.

Pirmas režimas paprastas ir ekonomiškasis. Jis gali būti panaudotas tik dangos nelygumams išlyginti, kai visos kitos charakteristikos geros. Dirbant antru režimu asfaltbetonio mišinys išmaišomas, suvienodinamas, vienodžiau įšildomas, todėl geriau tankinasi. Didesniems dangų defektams ištaisyti, t.y. esant didesniems nelygumų amplitudėms, gilesnėms vėžėms, duobėms ir plyšiams, dirbama trečiu arba ketvirtu režimu. Dirbant trečiu režimu reikalingas padidintas naujo mišinio kiekis. Dirbant ketvirtu režimu galima koreguoti seno mišinio sudėtį. Naujo mišinio reikia mažiau, negu dirbant trečiu režimu.

Kelio atkarpose, kur dangos pakitimai įvyko dėl pagrindo apatinių sluoksnių ar žemės sankasos grunto deformacijų, termoprofilavimą taikyti netikslinga.

Prieš parenkant darbo režimą reikia įvertinti dangos lygumą skersine ir išilgine kryptimi, išsiaiškinti skersinių nuolydžių ištaisymo būtinumą, nustatyti seno asfaltbetonio mišinio ir remontuojamos dangos fizines – mechanines savybes, įvertinti viršutinio ir apatinio sluoksnių sukibimą.

Nepridedant naujo mišinio, skersinius nuolydžius galima keisti tik iki 4 %. Norint nuolydžius keisti didesnėse ribose, reikia pridėti naujo mišinio. Pasirinktas darbo režimas taikomas tuo atveju, jeigu suremontuoto sluoksnio storis po mišinio persiskirstymo išilgine ir skersine kryptimi visose kelio atkarpose bus pakankamas jam sutankinti.

Optimalus purenimo gylis priklauso nuo šių faktorių:

- oro temperatūros;
- remontuojamos dangos lygumo;
- seno asfaltbetonio tipo ir senėjimo laipsnio;
- dangai atliktas paviršiaus apdorojimas ar ne.

Didėjant purenimo gyliui, ilgėja regeneruojamos dangos tarnavimo laikas, reikalingas

mažesnis kiekis naujo mišinio, tačiau lėtėja remikserio judėjimo greitis.

Dangų remontas regeneravimo būdu atliekamas remikserio tipo termomaišytuvu. [12]

Kelių dangos regeneravimo išlyginant pakaitinus metodus galima suskirstyti į dvi pagrindines grupes:

- dangos išlyginimas pakaitinus, nepridedant naujų medžiagų;
- dangos išlyginimas pakaitinus, pridedant naujų medžiagų.

Pirmasis metodas sukurtas Vokietijos firmoje "Vogele". Vokietijoje ir JAV jis vadinamas "Reforming", Prancūzijoje - termoprofilavimu. Metodas turi šias technologines operacijas: dangos pašildymą infraraudonaisiais spinduliais, dangos ardymą 30-40 mm gyliu, panaudojant grėblio pavidalo įtaisą (darbo organą), mišinio perskirstymą kelio dangos plotyje, išlyginimą ir pirminį sutankinimą. Danga pilnai (galutinai) sutankinama vibrovolais arba pneumovolais kartu su plentvoliais, turinčiais lygius metalinius valcus. Šis metodas taikomas kai:

- asfaltbetonio fizikiniai ir mechaniniai rodikliai eksploatuojant dangą būna nepakitę, arba pakitę nežymiai,
- dangos asfaltbetonyje esančio bitumo klampa sudaro ne mažiau kaip 30 penetracijos laipsnių,
- dangoje esantis bitumas yra mažiau klampus negu reikalaujama standarte,
- dangos storis ne mažesnis kaip 60 mm, o regeneruojamo sluoksnio storis ne mažesnis kaip 40 mm,
- nevėjuotas oras, oro temperatūra ne žemesnė kaip + 15°C.

Naudojant šį metodą pašalinamos dangos ištrupos, išaižos ir nedidelės duobės. Taikant šį metodą galima pašalinti neilgesnes kaip 4 m kelių dangos bangas. Kai taikomas šis metodas, dangos taisymo darbų savikaina, palyginus su tradiciniais metodais, sumažėja 20 - 25 %.

Metodus, kai danga išlyginama pakaitinus ir pridėjus naujų medžiagų, galima suskirstyti į dvi grupes:

- kai pridedama naujų medžiagų ir nepermaišoma su esama dangos medžiaga,
- kai pridedama naujų medžiagų ir permaišoma su esama dangos medžiaga.

Metodai, kai pridedama naujų medžiagų ir nepermaišoma su dangos medžiaga yra dviejų tipų. Pirmojo tipo atveju dangos regeneravimo technologinis procesas būna vientisas ir vyksta panaudojant vieną mašiną, kuri išildo dangą, ją ardo, išlygina ir sutankina, o vėliau kloja naują asfaltbetonio mišinį, jį išlygina ir sutankina. Vokietijoje ir JAV šis būdas vadinamas "Repaving", o Prancūzijoje - termoregeneracija.

Antrojo tipo atveju darbai atliekami dviem atskirom mašinom. Pirmoji mašina įkaitina dangą, ją suardo ir išlygina bei sutankina seną medžiagą, o antroji - pakloja ir sutankina naują

medžiagą. Vokietijoje šis metodas vadinamas "Scholkopf", JAV - supaprastintu "Repaving", o Prancūzijoje - (ir vėl) termoregeneracija, neatskiriant abiejų tipų.

Taikant abu metodų tipus galima pašalinti dangos išilginio profilio nelygumus, ne gilesnes kaip 20 mm vėžes, ne ilgesnes kaip 13 m išilginės bangas ir kitus žymius dangos defektus. Visais atvejais galima taisyti (remontuoti) kelių dangą tik tada, kai nepažeisti ir nedeformuoti žemiau esantys kelio dangos konstrukcijos sluoksniai. Kelių dangos storis turi būti ne mažesnis nei 80 mm, o regeneruojamo sluoksnio storis turi būti 10 mm didesnis kaip ardomos dangos storis. Darbus leidžiama vykdyti, kai oro temperatūra yra ne žemesnė kaip + 5°C.

Metodą, kai pridedama naujų medžiagų ir sumaišoma su dangos sena medžiaga, Vokietijoje vadina "Remix", o Prancūzijoje - medžiagų pakartotiniu panaudojimu. Darbai atliekami panaudojant dvi firmos "Wirtgen" mašinas. Pirmoji mašina skirta asfaltbetonio dangai įkaitinti, o antroji "Remixer" yra mašinos "Repaver" modernizuotas variantas. Ši mašina turi apšildomą maišyklę. Kelių dangą remontuojant "Remix" metodu pašalinami tie patys defektai kaip ir remontuojant ją "Repaving" būdu. Taikant "Remix" metodą galima kryptingai keisti seno asfaltbetonio savybes (fizikinius ir mechaninius rodiklius), todėl jis gali būti naudojamas be apribojimų.

Vakarų Europos valstybėse ir JAV naudojamas asfaltbetonio dangos išlyginimo pašildžius su plastifikavimu metodas. JAV plastifikatorius įterpiamas tam, kad apatinio asfaltbetonio sluoksnio plyšiai lėčiau būtų perduodami viršutiniam jo sluoksniui ("paveldėtieji" plyšiai), o Prancūzijoje - tam, kad būtų pagerintas seno suardyto asfaltbetonio sutankinimas.

Regeneravimo metodai pašalinant seną asfaltbetonį. Yra du pagrindiniai seno asfaltbetonio pašalinimo būdai: pjovimas (frezavimas) ir laužymas. Pirmuoju būdu senas asfaltbetonis iš dangos išpjauamas frezomis, o antruoju - senas asfaltbetonis sulaužomas buldožeriais ar autogreideriais. Laužant asfaltbetonį praktiškai neįmanoma atskirti vieno sluoksnio nuo kito. Asfaltbetonis laužomas 50 - 500 mm dydžio gabalais. Toks asfaltbetonis smulkinamas ir rūšiuojamas Stacionariose asfaltbetonio gamyklose (ABCJ), arba kilnojamuose smulkinimo ar rūšiavimo agregatuose. Susmulkintas ir surūšiuotas senas asfaltbetonis dažniausiai būna perdirbamas ar regeneruojamas ABG karštuoju būdu "Recycling in place". Regeneruojant seną asfaltbetonį ABG yra įterpiamas bitumas (2 - 6 %) ir plastifikatorius (0,3 - 2 %). Įterpiamo bitumo ir plastifikatoriaus kiekiai skaičiuojami nuo regeneruojamo mišinio (seno asfaltbetonio ir naujų mineralinių medžiagų) masės. Seną asfaltbetonį galima panaudoti kaip priedą gaminant naują asfaltbetonio mišinį.

Užsienio šalyse, regeneruojant seną asfaltbetonį karštuoju būdu, reikalingi savaeigiai asfaltbetonio maišytuvai - jie leidžia (igalina) asfaltbetonio dangą regeneruoti jos taisymo (remonto) vietoje.

Asfaltbetonį regeneruoti "šaltuoju" būdu galima tiek regeneravimo agregatuose, tiek dangos taisymo ar remonto vietoje. Asfaltbetonio regeneravimo būdas dangos taisymo ar remonto vietoje (nepakaitinus) užsienyje vadinamas "Recycling in place". Regeneruojant asfaltbetonį šiuo būdu, sulaužytas ir susmulkintas asfaltbetonis sustumiamas į volelį (nedidelę pailgą rietuvę), į kurį įterpiama katijoninė tepalinė ar bituminė emulsija $1,5 - 3,0 \text{ l/m}^2$. Ši medžiaga gerai išmaišoma ir supilama atgal į taisomą vietą bei sutankinama.

Taisant ir remontuojant asfaltbetonio dangą "šaltuoju" regeneravimo būdu perdirbama visa asfaltbetonio danga ir pagrindas po ja. Surišti ir nesurišti sluoksniai sumaišomi ir paruošiami sudaryti dangos homogenišką sluoksnį. Panaudojant cementą ar bituminę emulsiją (arba jų kombinaciją) sluoksnis regeneruojamas ir paklojamas. Po to paviršiaus apdorojimo būdu įrengiamas dangos dilimo sluoksnis.

1.5 Darbo tikslas ir uždaviniai

Šio darbo pagrindinis tikslas yra išanalizuoti Lietuvos automagistralių asfaltbetonio dangos ir jos konstrukcijos eksploatacines savybes bei asfaltbetonio dangos fizinių ir mechaninių rodiklių įtaką eksploatacinėms kelio savybėms ir pasiūlyti optimalius šių rodiklių dydžius, laiduojančius ilgesnę dangos funkcionavimo trukmę.

Norint pasiekti šio darbo tikslą, reikia išspręsti šiuos svarbiausius uždavinius:

- Išanalizuoti Lietuvos automobilių kelių eksploatacinės būklės vertinimo kriterijus bei jų nustatymo būdų patikimumą;
- Atlikti Lietuvos automagistralių eksploatacinių bei fizinių ir mechaninių rodiklių tyrimų rezultatų analizę. Ištirti atskirų rodiklių tarpusavio įtaką ir priklausomybę;
- Nustatyti normines fizinių ir mechaninių rodiklių ribas, laiduojančias geresnes kelio dangos eksploatacines savybes bei ilgesnę funkcionavimo trukmę.

2 AUTOMOBILIŲ KELIŲ DANGOS IR JOS KONSTRUKCIJOS EKSPLOATAVINĖ BŪKLĖ BEI JOS NUSTATYMO PAGRINDIMAS

Kelių intensyvaus eismo juostose susidarantių vėžės, bangos, išdaužos ir plyšiai rodo, kad ardoma ne tik kelių danga, bet ir jos pagrindai. Defektai kelio dangos paviršiuje blogina eismo sąlygas: mažina važiavimo patogumą ir eismo saugumą, mažina transporto važiavimo greitį bei gadina automobilių važiuoklę.

Svarbiausių Lietuvos magistralinių kelių su asfaltbetonio danga intensyvėjantis irimas rodo, kad išaugus sunkiųjų automobilių eismui, jų dangos konstrukcijos stipris yra nepakankamas. Magistralinių kelių dangos konstrukcijos stiprinimo darbai (naujų sluoksnių klojimas) atliekami ne visuose kelių ruožuose. Kur danga yra labiausiai pažeista, ji regeneruojama „Remix“ metodu, tačiau, pridėjus naujo asfaltbetonio mišinio, jos storis padidėja tik 2-3 cm, nežymiai padidėja ir dangos tamprumo modulis.

Norint pratęsti eksploatuojamos kelių asfaltbetonio dangos funkcionavimo trukmę, galima naudoti organizacines priemones: būtina sumažinti apkrovą, tenkančią automobilio ašiai, apriboti sunkiasvorių automobilių skaičių.

Daugelyje išsivysčiusių valstybių ši problema yra sprendžiama vieninteliu teisingu būdu – kelių dangos konstrukcija stiprinama klojant ne tik dangos dilimo sluoksnius, bet ir pakankamai storus naujo ar regeneruoto asfaltbetonio sluoksnius. Toks kelių dangos stiprinimo būdas ilgam leistų išsaugoti jos eksploatacines savybes, tačiau šitaip stiprinti dangą reikia daug lėšų. [18, 19, 20].

Kelių dangos kokybės blogėjimą tikslinga prognozuoti peržiūrint kelių ūkio valdymo sistemas ir reikalavimus kelių būklei, kelių organizacijas, nustatant kelių mokesčius ir analizuojant kelių tiesimo bei rekonstrukcijos projektų ekonominę dalį. Kelio būklė ir eksploatacinės kokybės laipsniškas blogėjimas dėl dangoje besikaupiančių deformacijų charakterizuojami kartu su besikeičiančiais dangos lygumo rodikliais, plyšių, aižėjimu pažeistų vietų, ištrupų ir išdaužų kiekiu, šiurkštumo sumažėjimu, vėžių ratų judėjimo juostose atsiradimu. Grunto ir žvyro keliuose - nelygumų ir vėžių atsiradimu, dulkėtumu ir nepravažiuojamumu.

Kelio paviršiaus nelygumai traktuojami kaip nuokrypiai nuo geometriškai teisingų matmenų, kurie turi įtakos automobilio judėjimui, važiavimo patogumui, dinaminiam apkrovų poveikiui į kelio dangą ir vandens kaupimuisi važiuojamojoje dalyje.

2.1 Dangos paviršiaus lygumo nustatymas

Dangos paviršiaus lygumas paprastai charakterizuojamas "Tarptautiniu lygumo rodikliu" ("IRI"), aprašytu darbe [21]. Tarptautinis lygumo rodiklis nustatomas matematiškai apdorojus matavimų rezultatus. Matavimų rezultatai - tai kelio paviršiaus nuokrypiai nuo ant jo padėtos kartelės. Galima naudoti ir kitas alternatyvias matavimų priemones, kurioms yra nustatyta jų rodmenų ir lygumo rodiklio verčių koreliacinė sietis.

Keliai laikomi geros būklės jeigu IRI vienam kelio kilometrui yra:

- keliuose su tvirta danga - 1,5-2,5 m/km,
- grunto ir žvyro keliuose - 3,0 - 4,0 m/km.

Dangos nelygumai, išmatuoti pagal IRI reikalavimus, neturi viršyti:

- magistraliniams keliams – 1,5 m/km;
- krašto keliams – 2,5 m/km. [22]

Ypač nelygiais laikomi tie keliai, kurių dangos lygumo rodiklis yra >12 m/km - keliams su tvirta danga ir >15 m/km - grunto ir žvyro keliams.

Naudojamos ir kitos kelių dangos lygumo charakteristikos. Atsižvelgiant į eksploatacinius reikalavimus, kelių dangos lygumą buvo siūloma vertinti nelygumų (smūgių) kiekiu kelio kilometre. Didžiosios Britanijos transporto ir kelių tyrimų laboratorija daugelį metų dangos lygumo tyrimams naudojo profilografus, pagal kurių grafogramas nustatinėjo nelygumų aukščių sumą matuojamame ruože mm/km.

Rusijoje dangos lygumui matuoti naudojami du prietaisai: dinamometrinė priekaba ПКРС - 2Y ir įlinkiomatis ТХК – 2. Jų rodmenis su tarptautiniu lygumo rodikliu galima palyginti pagal bandymų duomenis, gautus ruožuose su plačiu nelygumų kaitos intervalu: nuo labai lygių iki labai nelygių dangos ruožų. ПКРС - 2Y rodmenys svyruoja nuo 100 iki 1200 cm/km, o ТХК- 2 – nuo 20 iki 500 cm/km. Tarptautinio lygumo rodiklio svyravimo ribos 1 – 12 m/km. Kadangi ПКРС - 2Y ir tarptautinis lygumo rodiklis apytikriai turi vienodą nelygumų kaitos intervalą, juos galima laikyti ekvivalentiškais nustatant automobilių kelių priežiūros priemonių einamąsias išlaidas. Tiksliau šiuos lygumo matavimo metodus galima palyginti panaudojus [21] darbe aprašytus standartinius taravimo metodus.

Įvairių konstrukcijų ir skirtingo tikslumo prietaisais gaunamos tarpusavyje sunkiai palyginamos kelio dangos lygumo charakteristikos, nes vieni matavimo prietaisai tiesiogiai matuoja kelio dangos mikroprofilį, kiti skaičiuoja lyginamąsias integralines charakteristikas, iš kurių sunku atkurti realų kelio mikroprofilį. Siekiant suvienodinti, įvairiose šalyse taikomas automobilių kelių dangų eksploatacinių charakteristikų vertinimo sistemos, 1986 metais Pasaulio banko užsakymu Brazilijoje buvo atlikti tyrimai ir sudaryta dangos lygumo įvertinimo metodika. Šios metodikos pagrindinis tikslas - nustatyti tarptautinį lygumo vienetą IRI (International

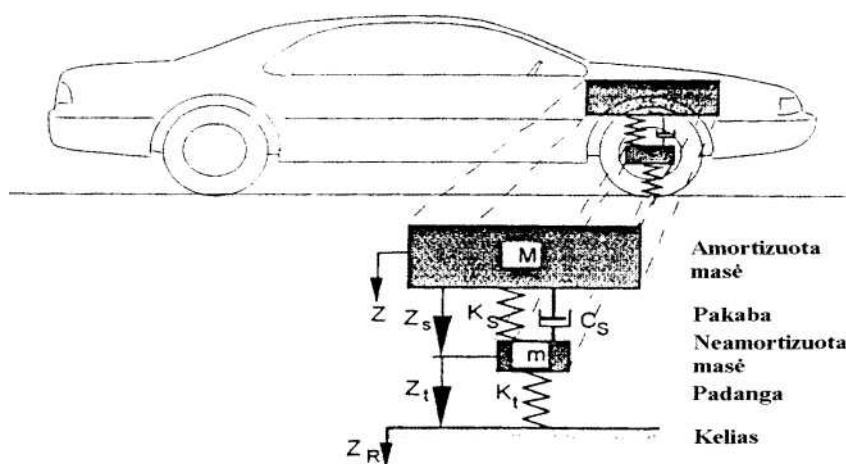
Roughness Index), panaudojus rezultatus, gautus įvairiais matavimo prietaisais.[13]

Tarptautinio lygumo vieneto IRI nustatymo metodika grįsta amortizuotos ir neamortizuotos automobilio masių vertikalių judesių skirtumų sumavimu tam tikro ilgio kelio atkarpose, modeliuojant "Golden Car" modelį su tam tikrais nustatytais parametrais:

$$k_s/M = 63,3; k_t/M = 653, \quad (2.1)$$

$$c_s/M = 6,0; m/M = 0,15. \quad (2.2)$$

čia: k_s - automobilio pakabos standumo koeficientas; c_s - amortizatoriaus vidutinis varžos koeficientas; k_t - automobilio rato standumo koeficientas; M - amortizuota masė; m - neamortizuota masė.



12 pav. "Golden Car" ketvirčio automobilio principinė skaičiuojamoji schema

Kaip matome, "Golden Car" modelis (12 pav.) apima ketvirtį automobilio. Jis nuo Lietuvoje anksčiau naudoto prietaiso ПКРС-2Y skiriasi tik parametų dydžiais. "Golden Car" modelio masių judesiai aprašomi šiomis diferencialinėmis lygtimis:

$$z_s + c/M[z_s - z_t] + k_s/M (z_s - z_t) = 0, \quad (2.3)$$

$$z_s + m/M \cdot z_t + k_t /M (z_s - z_t) = 0. \quad (2.4)$$

Skaičiuojant IRI, be standartinių modelio parametrų, taikoma papildoma sąlyga - "Golden Car" modelis nelygumais juda pastoviu 80 km/h greičiu. Ši sąlyga apibrėžia vertinamojo ruožo ilgį (>50m), nes IRI nustatymo metodika leidžia vertinti 1,22 - 30,5 m ilgio nelygumų bangas. "Golden Car" modeliu neįvertinamas automobilio padangos slopinimas (2.9 ir 2.10 formulėse nėra įvesta vidutinio rato padangos varžos koeficiento $c_t=0$), todėl išmatuotas realus išilginis kelio mikroprofilis yra filtruojamas. Filtras eliminuoja iki 10 mm aukščio ir 250 mm ilgio nelygumus. Juos "sugeria" automobilio rato padangos deformacijos, t.y. jie nepersiduoda automobilio pakabai.[13]

Taigi išmatavus ir nufiltravus realų kelio išilginį mikroprofilį, IRI apskaičiuojamas

pagal (2.5) formulę, kuri gaunama išsprendus (2.3) ir (2.4) lygtis.

$$IRI=1/(n-1)\sum |z_s - z_{st}| \quad (2.5)$$

Kaip matyti iš (2.5) formulės, kelio dangos kokybės vertinimo vienetas IRI yra automobilio kėbulo judesių rato atžvilgiu vidurkis nagrinėjamo kelio ruožo ilgiu. Taigi IRI yra statistinis dydis, nusakantis tam tikrų parametrų automobilio važiavimo keliu patogumą. Atgalinis ryšys tarp IRI ir kelio parametrų neįmanomas, nes iš IRI dydžio negalima nustatyti, kas sukėlė "Golden Car" modelio masių svyravimus: tam tikrų parametrų nelygumų bangos, pavienė kelio įduba, išskyla ar visa kartu.

Keturios dangų nelygumo matavimų metodų ir prietaisų tikslumo klasės.

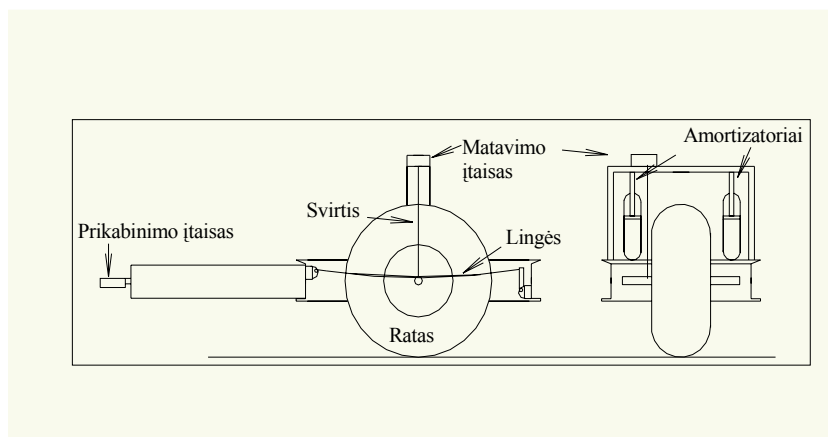
Vienas iš pagrindinių parametrų, nusakančių kelio dangos kokybę, yra kelio dangos išilginis lygumas. Jis tiesiogiai veikia važiavimo komfortą, kuro sąnaudas, saugų eismą ir pan. Išilginis lygumas aprašomas nelygumų skaičiumi, jų dydžiu ir išsidėstymu, tenkančiu kelio dangos ilgio vienetui. Automobilų kelių dangos lygumas nėra stabilus, veikiamas automobilių eismo ir klimato veiksnių, jis nuolat kinta. Iki 1986 metų pasaulyje buvo taikoma daug eksploatacinių automobilių kelių dangos charakteristikų vertinimo metodų. Jų įvairovė priklausė nuo kiekvienos šalies turimų matavimo prietaisų konstrukcijos, charakteristikų ir tikslumo. Šiuo metu pasaulyje naudojami automobilių kelių dangos nelygumų matavimo metodai ir prietaisai yra suskirstyti į keturias tikslumo klases.

Pirmajai klasei priskiriami prietaisai, tiesiogiai matuojantys kelio nelygumus. Tai tikslūs statiniai arba lėtaeigiai dinaminiai kelio nelygumų matavimo prietaisai, kuriais matuojamos kelio dangos mikroprofilio ordinatės užrašomos važiuojamosios dalies paviršiaus bazinės linijos atžvilgiu. Tai 4 metrų ilgio liniuotės, profilografai, prietaisas "Merlin" ir pan. Šios klasės prietaisai yra labai tikslūs, jie naudojami kitų klasių prietaisams kalibruoti. Didžiausias šių prietaisų trūkumas yra tas, kad lygumo matavimas - lėtaeigis, nenašus procesas.

Antrajai klasei priklauso greitaeigiai matavimo prietaisai (APLL, lazeriniai ir ultragarsiniai profilografai ir t.t.). Šiais prietaisais matuojamos kelio dangos mikroprofilio ordinatės jų platformos atžvilgiu; duomenys kaupiami skaitmeninėse laikmenose. Eliminuoama platformos savųjų svyravimų įtaka. Šių prietaisų pagrindinis trūkumas - jie brangūs ir netinkami naudoti labai nelygių kelių dangoms matuoti. Nuo 1996 metų Lietuvoje naudojamas lazerinis profilografas DYNATEST 5051 RSP. Šis prietaisas yra modernizuotas ir pagal charakteristikas priskiriamas pirmajai tikslumo klasei.

Trečiosios klasės prietaisai neužtikrina tikslų automobilių kelių dangų mikroprofilio ordinačių matavimų. Tai įvairūs dinaminiai prietaisai, kuriais matuojami vertikalūs rato ar ašies judesiai transporto priemonės kėbulo atžvilgiu. Šie prietaisai gali būti sumontuoti pačiame automobilyje (smūgiamatis TKX-2), arba atskiroje priekabėlėje, velkamoje automobilio (PIKPC-

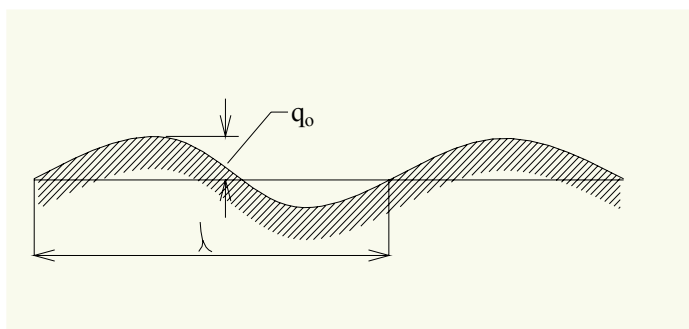
2Y, Bump Integrator, (13 pav.) ir pan. Šių prietaisų esminis trūkumas yra tas, kad juos privaloma dažnai kalibruoti, nes laikui bėgant kinta automobilio ar priekabėlės pakabos parametrai.



13 pav. Kelio nelygumo matavimo įrengimo Bump Integrator principinė schema

Ketvirtajai klasei priskiriami metodai, kur nenaudojama jokių ypatingų prietaisų, jų pritaikymas pagrįstas tyrėjo patirtimi - vizualia apžiūra.

Lygumo matavimas 4m. liniuote. Dangos lygumas yra charakterizuojamas bangos ilgiu (X) ir ją atitinkančiu amplitudės (q) dydžiu (14 pav.).



14 pav. Kelio dangos nelygumo schema.

Nelygumų bangos pagal savo ilgį skirstomos į šias grupes:

- trumpos bangos (bangos ilgis X , nuo 0,3 iki 3 m);
- vidutinės bangos (bangos ilgis X , nuo 3 iki 20 m);
- ilgos bangos (bangų ilgis daugiau kaip 20 m.).

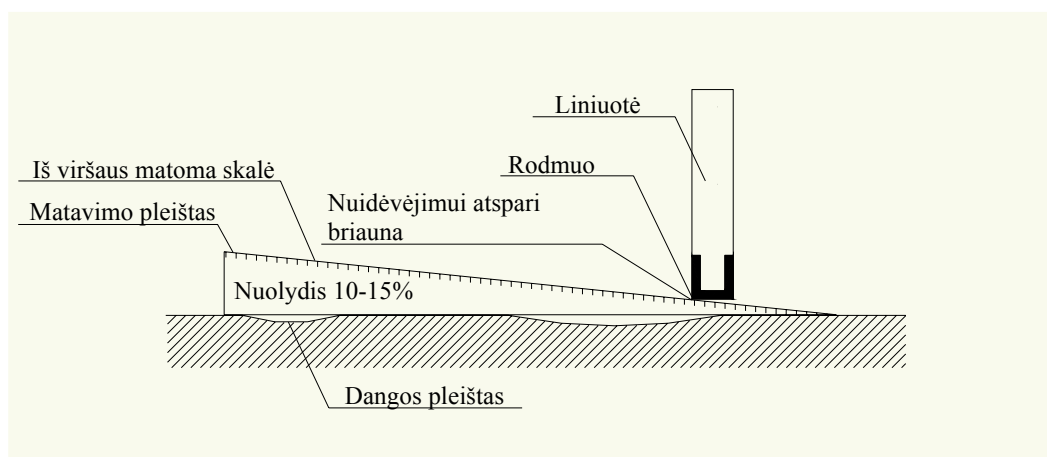
Ypatingai pavojingi yra tie nelygumai, kurių bangos ilgis X gali sukelti automobilių kėbulo (žemo dažnio) ir ratų (aukšto dažnio) svyravimus. Tai apima platų nelygumų bangų ilgių svyravimo spektrą. Yra nustatyta, kad esant automobilio greičiui iki 100 km/h lemiamos įtakos turi nelygumai, kurių bangos ilgis 1,4-28 m, o automagistralėse (kai greitis siekia iki 150 km/h) – 2,1-42 m. Todėl kelio dangos lygumui užtikrinti turi būti taikomi kompleksiniai dangos (pagrindo) lygumo kontrolės metodai:

- a) dangos (pagrindo) lygumo kontrolė 4 m ilgio liniuote;
- b) dangos (pagrindo) išilginio profilio leistinų nuokrypių patikrinimas niveliuojant.

Kelio dangos (pagrindo) lygumo matavimo būdai

4 m ilgio liniuotės ir matavimo pleišto pagrindiniai duomenys, kurie turi būti tenkinami, yra:

1. Tai stačiakampio skerspjūvio 4 m ilgio liniuotė iš duraliuminio, plastmasės ar kitų medžiagų;
 2. Liniuotės įlinkių viduryje nuo nuosavo svorio turi būti ne didesnis kaip 0,5 mm;
 3. Liniuotės apatinės dalies plotis turi būti 50 ± 2 mm;
 4. Liniuotės apatinės dalies nuokrypis nuo plokštumos neturi viršyti 0,2 mm;
 5. Liniuotės šoninės dalies nuokrypis nuo tiesės neturi viršyti 10 mm.
 6. Matavimo pleištas gaminamas iš metalo. Jis turi būti 2,5-3,5 cm pločio. Plokštumos nuolydžio į pagrindą kampas turi būti $54^\circ 45' + 5'$.
 7. Ant pleišto turi būti skalė, ant kurios kas 10 iki 0,1 mm turi būti surašyti skaičiai nuo 1 iki 15.
- 15 pav. pavaizduota liniuotė ir matavimo pleištas matavimo padėtyje. [14]



15 pav. Liniuotė ir matavimo pleištas matavimo padėtyje.

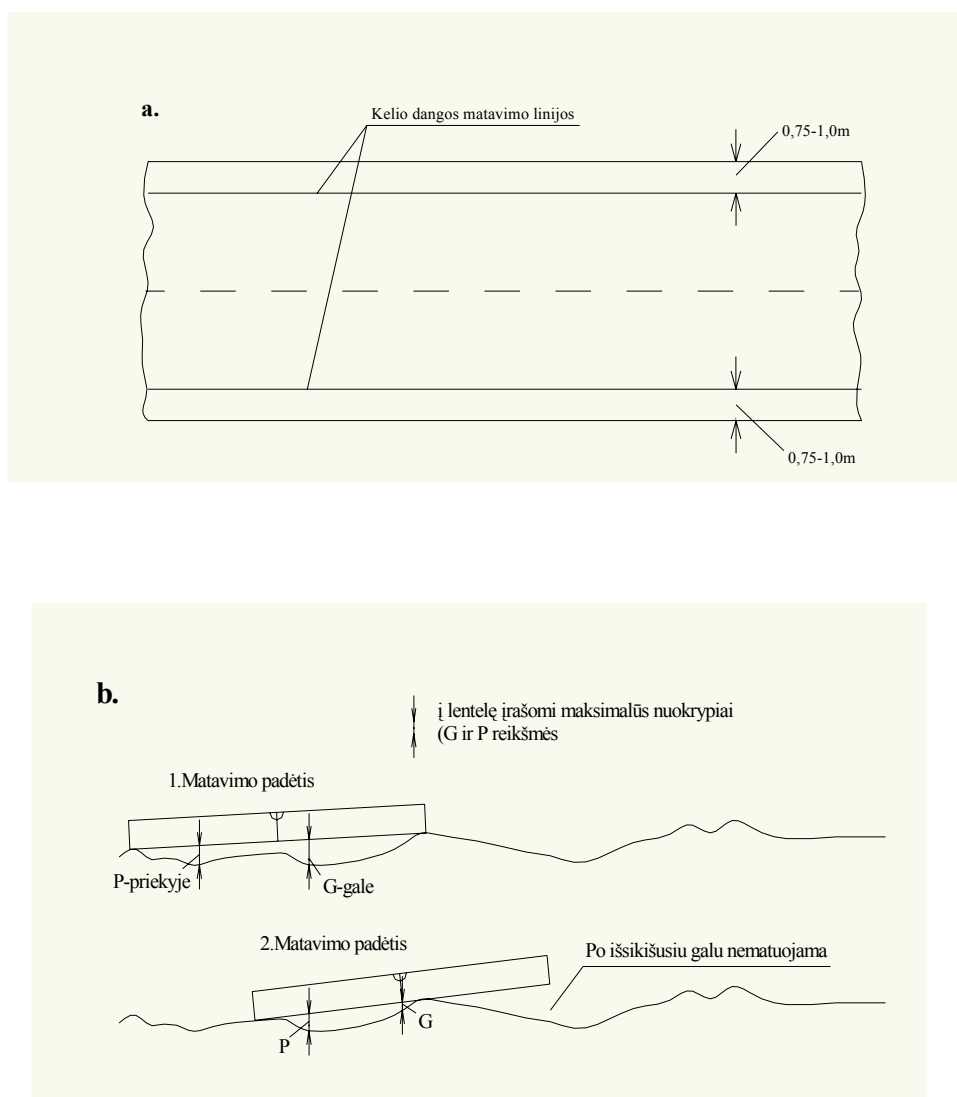
Dangos lygumo matavimas:

- ištisai;
- pasirenkant tam tikras, tiksliai nustatytas vietas.

Kelio dangos lygumo matavimas ištisai, perstumiant 4 m liniuotę kas 2 m.

Taikant šį metodą kelio dangos paviršius matuojamas ištisai 0,75-1,0 m atstumu nuo kelio dangos važiuojamosios dalies krašto. Pleišto pagalba matuojami maksimalūs plyšiai po priekine (P) ir galine (G) liniuotės dalimi. Abi reikšmės suapvalinamos iki sveikų milimetrų ir įrašomos į 1 priede 3 skilties P ir G langelius. Suapvaliname pagal principą, kad skaičiai nuo 0,1 iki 0,5 mm apvalinami iki mažesnio skaičiaus, o nuo 0,6 iki 0,9 - iki didesniojo. Jeigu maksimalus plyšys yra tiksliai po vidurine atžyma, tas pats galioja ir kaip P, ir kaip G reikšmės.

Sluoksnio paviršiaus nuokrypiai ties liniuotės galais nematuojami. Matuojami tik maksimalūs plyšiai tarp liniuotės atramos taškų (16 pav.).



16 pav. Kelio dangos lygumo matavimas ištisai, perstumiant 4 m. ilgio liniuotę kas 2m.

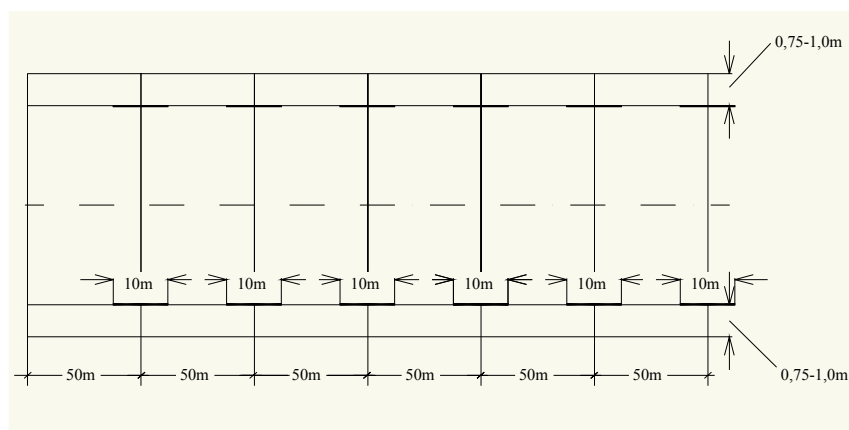
a. Dangos lygumo matavimo linijos plane.

b. 4 m. ilgio liniuotės padėtys išilginiame profilyje.

Toks kelio dangos lygumo matavimo metodas dėl didelių darbo sąnaudų taikytinas tik kelio ruožuose, kurie yra ne ilgesni kaip 1 km.

Kitas metodas - pasirinktų kelio dangos (pagrindo) ruožų lygumo matavimas 10 m ilgio atkarpomis kas 50m, perstumiant liniuotę kas 2m.

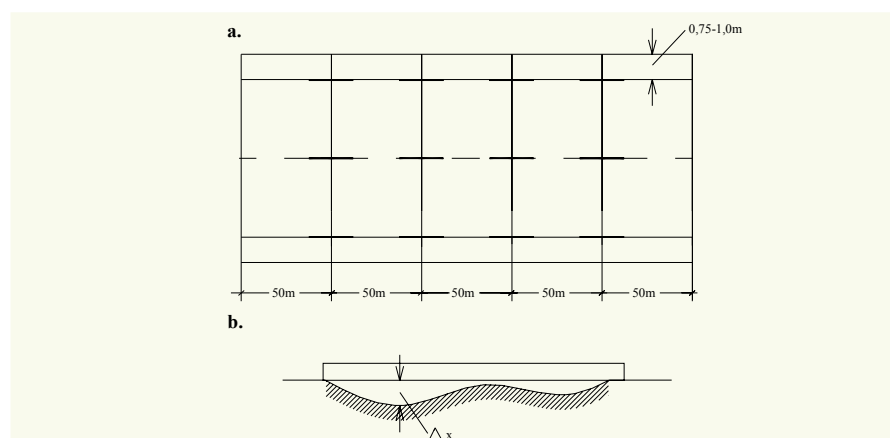
Taikant šį metodą dangos lygumas matuojamas tam tikrose, tiksliai nustatytose vietose. Atkarpos ilgis neturėtų viršyti 10 m. Tai atitinka keturias su liniuote matavimo padėtis, perstumiant ją kas 2 m. Atstumas tarp matuojamų atkarpų priklauso nuo sluoksnių svarbos. Asfaltbetonio dangų lygumo matavimams nustatytas didžiausias 50 m.(17 pav.)



17 pav. Ruožų matavimas 10m. ilgio atkarpomis kas 50 m.

Kelio dangos (pagrindo) lygumo matavimas kas 50 m, matuojant po 4 m ilgio liniuote tik maksimalų plyšį.

Taikant šį metodą dangos lygumas 4 m ilgio liniuote matuojamas kas 50 m trijose skerspjūvio vietose: 0,75-1,0 m atstumu nuo kelio dangos kraštų ir ašyje. Po liniuote matuojamas tik vienas maksimalus plyšys (Δx). Matavimo schema pateikta 18 pav.



18 pav. Dangos lygumo matavimo 4 m ilgio liniuotės schema:

a - 4 m ilgio liniuotės padėtys plane; b - maksimalus plyšio dydis po 4 m ilgio liniuote.

Koreliacinė priklausomybė tarp dangos lygumo matavimo duomenų, išmatuotų pagal IRI reikalavimus ir 4 m ilgio liniuote ir atvirkščiai, pateikta 2.6 ir 2.7 formulėse:

$$Y_{IRI} = 12,53 + 0,388 X_{lin} \quad (2.6);$$

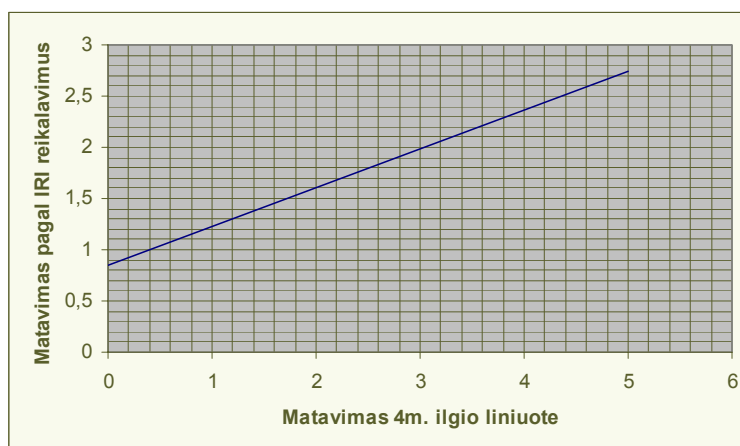
(koreliacijos koeficiento $A_r = 0,51$ su 99 % tikimybe).

$$X_{lin} = 0,3 + 0,684 IRI \quad (2.7);$$

(koreliacijos koeficiento $X = 0,51$ su 99 % tikimybe).

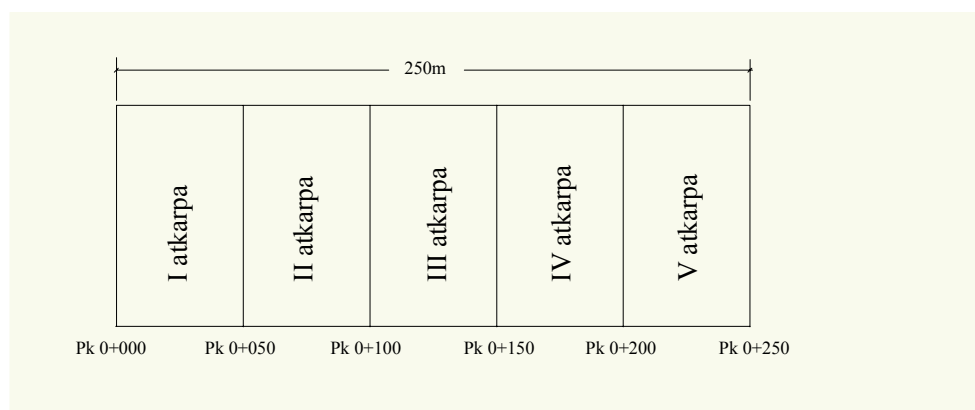
19 pav. parodyta dangos lygumo matavimas pagal IRI ir 4 m ilgio liniuote koreliacinės priklausomybės grafikas.

$$Y_{IRI} = 1,253 + 0,388 X_{in}. \quad (2.8)$$



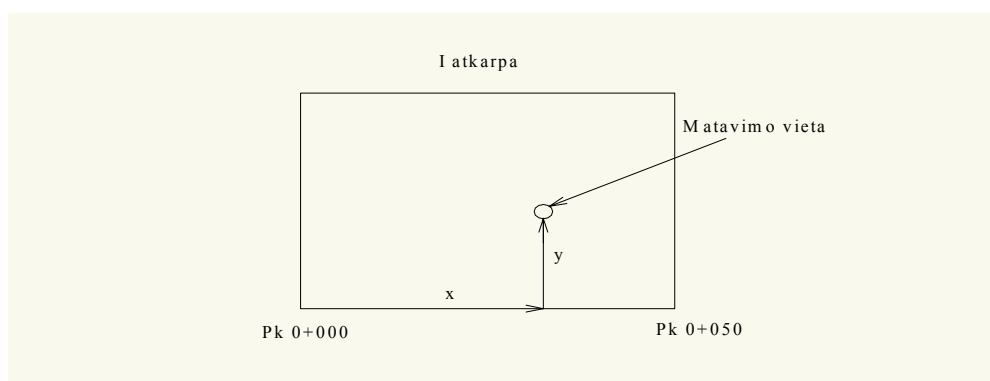
19 pav. Dangų lygumo matavimų pagal IRI ir 4 m ilgio liniuote koreliacinė priklausomybė.

Kelio dangos (pagrindo) lygumo matavimas, parenkant vietas pagal atsitiktinių skaičių lentelę. Kad būtų parinkta vieta dangos (pagrindo) lygumo matavimui, kelio ruožas suskirstomas atkarpomis kas 50 m kaip parodyta 20 pav.



20 pav. Kelio ruožo suskirstymas atkarpomis.

Dangos (pagrindo) lygumo matavimo vieta parenkama pagal schemą, parodytą 21 pav. Žemiau pateikiame dangos lygumo matavimo vietos koordinatinių nustatymo pavyzdį pagal atsitiktinių skaičių lentelę, kai matuojamo ruožo ilgis 250 m ir dangos plotis 7,0 m. Pagal atsitiktinių skaičių lentelę skiltyje x ir y surandame skaičius (2.1 lentelė).



21 pav. Dangos atkarpos lygumo matavimo vietos koordinatės (x; y).

2.1 lentelė. Atsitiktinai pasirinktų skaičių lentelė

X	Y
0,4721	D 0,2091
0,6936	K 0,3 182
0,6112	D 0,2909
0,7930	D 0,8908
0,0652	K 0,48 18

Surastus skaičius dauginame iš atkarpos ilgio (50 m) ir dangos pločio (šiuo atveju 7 m) kaip parodyta žemiau:

I atkarpa (pradžia Pk 0+00):

$$x = 0,4721 \times 50 = 23,6 \text{ m}$$

$$y = D 0,2091 \times 7 = D 1,5 \text{ m.}$$

II atkarpa (pradžia Pk 0+050):

$$x = 0,6936 \times 50 = 24,7 \text{ m}$$

$$y = K 0,3132 \times 7 = K 2,2 \text{ m.}$$

III atkarpa (pradžia Pk 0+100):

$$x = 0,6112 \times 50 = 30,6 \text{ m}$$

$$y = D 0,2909 \times 7 = D 2,0 \text{ m.}$$

IV atkarpa (pradžia Pk 0+150):

$$x = 0,7930 \times 50 = 39,6 \text{ m}$$

$$y = D 0,8908 \times 7 = D 6,2 \text{ m.}$$

V atkarpa (pradžia Pk 0+200):

$$x = 0,0652 \times 50 = 3,3 \text{ m.}$$

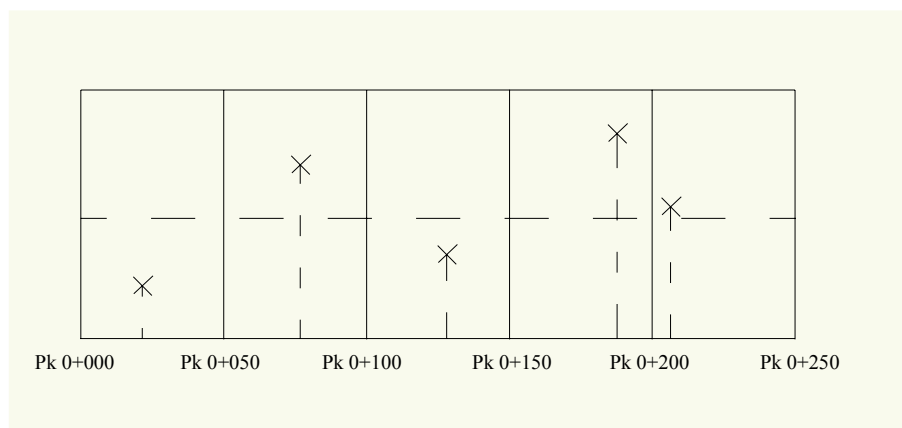
$$y = K 0,4818 \times 7 = K 3,4 \text{ m.}$$

Gautus duomenis surašome į 2.2 lentelę,

2.2 lentelė. Dangos lygumo matavimo vietų parinkimo suvestinė.

Eil. Nr.	Matavimo vietas		
	Atkarpos pradžia Pk+000	Taško koordinatės	
		X	y
I atkarpa	Pk 0+000	23,6	D 1,5 m
II atkarpa	Pk 0+050	24,7	K 2,2 m
III atkarpa	Pk 0+100	30,6	D 2,0 m
IV atkarpa	Pk 0+150	39,6	D 6,2 m
V atkarpa	Pk 0+200	3,3	K 3,4 m

Žemiau pateikiame dangos lygumo matavimo vietų schemą (22 pav.).



22 pav. Dangos lygumo parinktų matavimo vietų schema.

Lygumo matavimas lazeriniu poligrafu Dynatest 5051 RSP

Iki 1996 metų kelio dangos lygumas buvo vertinamas pagal turėto rusų gamybos prietaiso ПКРС-2Y rodmenis. Tai universalus prietaisas, skirtas matuoti kelio dangos lygumą I automobilio rato sukibimo su kelio danga koeficientą. Šio prietaiso principinė schema atitinka "Golden Car" modelį (12 pav.), tačiau skiriasi jo pakabos parametrai bei kelio dangos lygumo vertinimo skalė (cm/km).

Lietuvos kelių direkcijai finansavus, Transporto ir kelių tyrimo institutas įsigijo lygumo matavimo prietaisą - lazerinį profilografą Dynatest 5051 RSP. Tai tikslus greitaeigis, universalus kelio dangos parametrų matavimo prietaisas, skirtas matuoti išilginį ir skersinį kelio mikroprofilį, išilginį, skersinį kelio profilį bei kelio kreives plane. Šis prietaisas sumontuotas automobilio VW Transporter (23 pav.) bazėje.



23 pav. Lazerinis profilografas Dynatest 5051 RSP

Juo Lietuvoje kasmet išmatuojama apie 3500 kilometrų asfaltbetonio dangų. Matuojant šiuo prietaisu kelio dangos lygumo vertinimo skalė (m/km) atitinka vienetui IRI keliamus

reikalavimus. IRI skalės ribos buvo nustatytos pagal 1986 metais Brazilijoje atliktų tyrimų duomenis visiems kelio dangų tipams. 2000 metais atlikti magistralinių ir krašto kelių matavimai parodė, kad net 29,02 % magistralinių ir 29,62 % krašto kelių asfaltbetonio dangų lygumas nepatenkinamas. Tuo tarpu labai geros kokybės kelių dangų yra 11,79 % magistralinių ir 7,05 % krašto kelių tinklo. [13] Dangos lygumų matavimų pavyzdys pateikiamas 1 priede

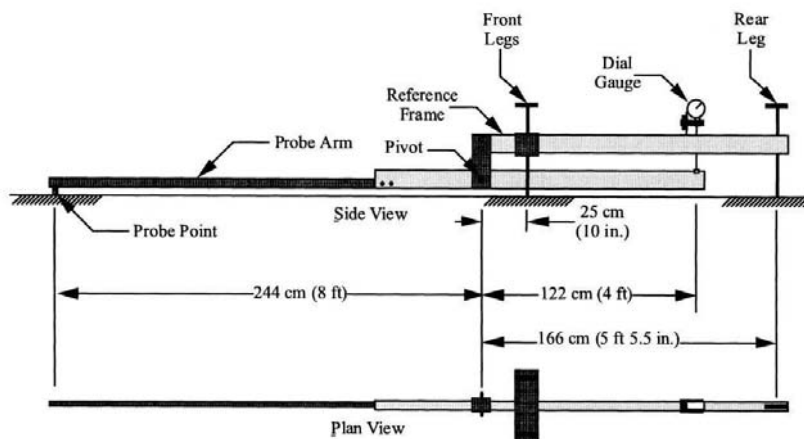
2.2 Kelio dangos konstrukcijos stiprio nustatymo metodai

Didžiausias statybinio projektavimo analitinių metodų pranašumas prieš empirinius metodus yra tas, kad analitiniai metodai yra taikomi bet kurios rūšies medžiagoms ir konstrukcijoms visomis klimato sąlygomis, kai tuo tarpu empiriniai metodai gali būti taikomi tik tomis sąlygomis, kuriose yra sukurti. Todėl didžioji dauguma kelio dangos tyrimų koncentruojami į analitinių metodų kūrimą ir jų vystymą.

Analitiniai metodai taikomi tik tuomet, kai yra galimybė nustatyti dangos sluoksnių modulius. Tai galima padaryti tik tuo atveju, jei bandymo metodas leidžia nustatyti:

- a) jėgos amplitudę ir jos trukmę, apytikriai lygią judančio rato apkrovos poveikiui atsižvelgiant į netiesinių ir tampriai plastinės įtempimo – deformacijos reakciją (elgesį).
- b) labai tikslius įlinkių matavimus, ypač dideliuose atstumuose (t.y. didesniuose nei dangos storis) nuo apkrovos centro. Tai yra esminis dalykas, nustatant tikslų (netiesinio) guolio koeficientą, kuris paprastai sudaro 60-80% viso centrinio įlinkio.[15]

Abi bandymo sistemos, naudojamos Dynatest 8000 KSD (krintančio svorio deflektometro) ir 8081 DSD (didelio svorio deflektometro) tenkina šias sąlygas. O tuo tarpu daugelis vibruojančių įrenginių turi mažą laikomąją (keliamąją) galią.

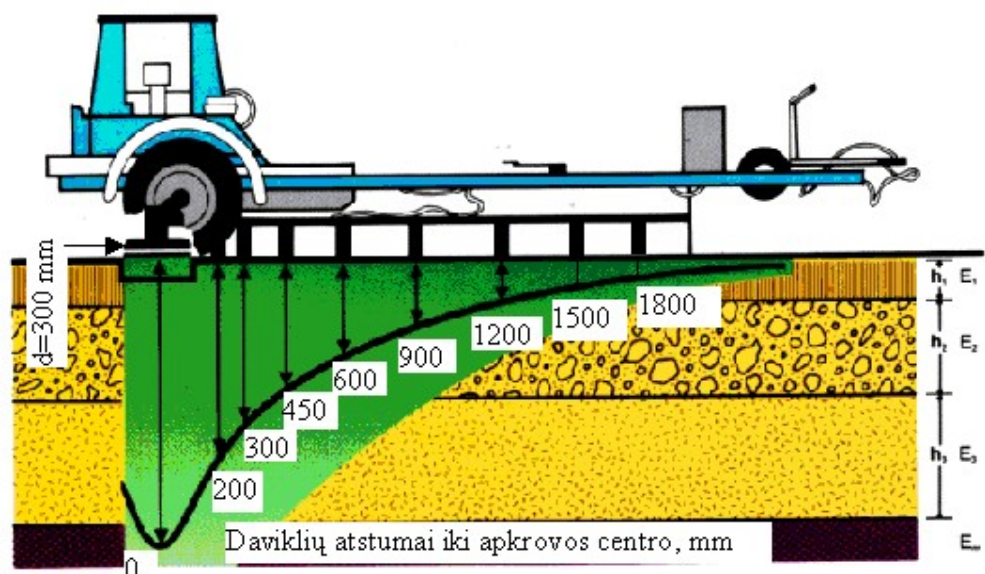


22 pav. Supaprastintas Benkelmano sijos vaizdas

Naudojant Benkelmano siją (22 pav.) ar kitus panašius įrengimus, neįmanoma atlikti tikslių matavimų dideliuose atstumuose nuo apkrovos, kadangi įlinkio matuoklę būtina paremti pačio įlinkio baseino ribose. Todėl KSD ir DSD –skirtingai nuo kitų įrengimų – naudojami su analitiniu statybinio projektavimo metodu.

Dangos stipris yra vienas iš pagrindinių eksploatacinių rodiklių, apsprendžiančių sugebėjimą atlaikyti eismo apkrovas. Dangos konstrukcijos stipris dažniausiai nustatomas Benkelmano sija išmatavus tamprųjų įlinkį po stovinčio projekcinio automobilio sudvejetainu ratu, arba matuojant įlinkį dinaminiais prietaisais. Benkelmano sija pavaizduota 22 pav. Pastaruoju metu kelio dangos stiprio įvertinimui plačiai naudojamas įlinkių matavimas krintančio svorio deflektometru. Deflektometras DYNATEST 8000 FWD plačiai naudojamas visame pasaulyje kelio dangų stiprumui diagnozuoti, kadangi kelio dangos konstrukcijoje (iki penkių sluoksnių) leidžia nustatyti bet kurio sluoksnio deformacijų modulį neardant kelio dangos. Lietuvoje DYNATEST 8000 FWD nebuvo plačiai naudojamas dėl to, kad techninių reikalavimų reglamente STR 2.06.03:2001 Automobilių keliai sluoksnių stipriai nusakyti deformacijų moduliais E_{v2} , kurie matuojami naudojant statinę apkrovą, o deflektometras DYNATEST 8000 FWD naudoja dinaminę apkrovą. [16] Deflektometro DYNATEST 8000 FWD taikymas įgalina:

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



23 pav. Krintančio svorio deflektometro Dynatest 8000 schema

- Krintančio svorio deflektometro priekaba Dynatest 8000;
- Sistemos procesorius Dynatest 9000;
- Kompiuteris ir spausdintuvas;
- Automobilis – vilkikas

Krintančio svorio pagalba Dynatest deflektometras atlieka pusiau sinusoidės formos, vieno 'smūgio' apkrovą, kurios trukmė 25-30 μ s ir yra labai panaši į judančio rato apkrovą. Apkrovos reguliavimo intervalas nuo 7 iki 120 kN. Apkrovą fiksuoja centre įmontuotas dinamometro daviklis, prijungtas prie ant šarnyrų prikabinotos apkrovos plokštės. Kelio dangos įlinkiai fiksuojami 9 seisminiais įlinkių davikliais. Matavimo įrenginys aprūpintas automatine telemechanikos sistema, kurioje yra ir matavimo aukščio pasirinkimas.

Sistemos procesorius Dynatest 9000 susideda iš mikroprocesorinio kortelės ir signalų apdorojimo įrengimo. Jis prijungtas prie krintančio svorio deflektometro priekabos ir kompiuterio. Procesorius aprūpintas sistemos būklės monitoringo sistema, todėl puikiai užtikrina matavimų tikslumą. Įlinkiai matuojami absoliučiu $2\% \pm 2 \mu$ m tikslumu ir tipiniu santykiu $1\% \pm 1\%$ kN tikslumu. Įrenginio skiriamoji geba (įlinkių požiūriu) yra 1 mikronas. Apkrova matuojama didesniu nei $2\% \pm 0,3$ kN tikslumu. Įrengimo skiriamoji geba (apkrovos požiūriu) yra nuo 0,03 iki 0,2 kN, priklausomai nuo dydžio. [15] Dangos stiprio matavimų pavyzdys pateiktas 2 priede

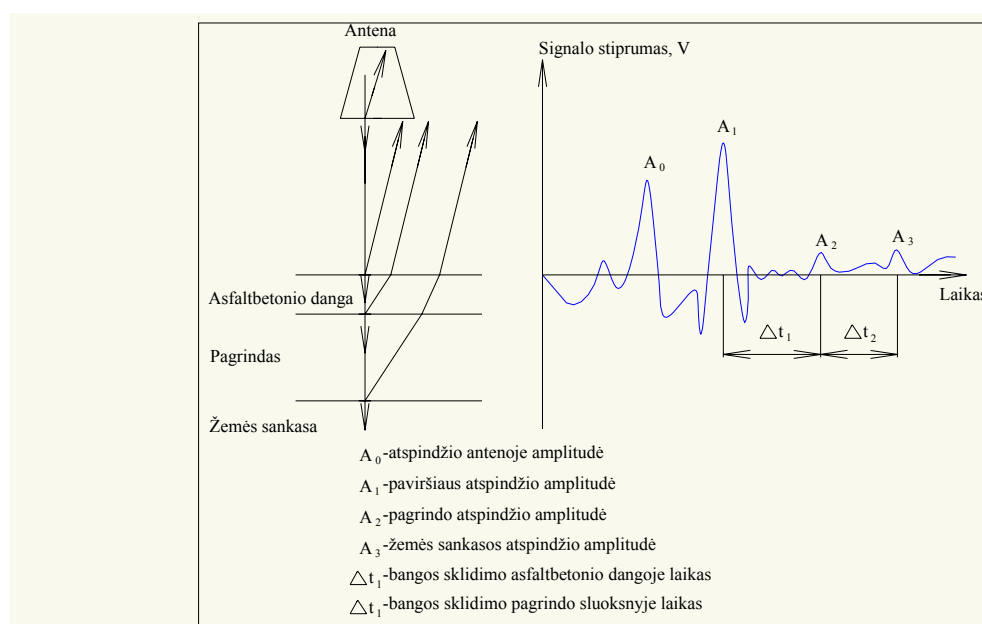
2.3 Kelio dangų defektų tyrimas SIR-H10 sistema

VĮ "Problematika" 1999 metais įsigijo GSSI (JAV) gamybos kelių radarą SIR-10H, atliekantį įvairius kelių ir tiltų tyrimus. 2000 m. išmatuota apie 60 km kelių dangų storiai. Radarą SIR-10H sistemą sudaro antenos 1 GHz ir 2 GHz, pražvalgai per orą, ir 200 MHz, susiliečiančios su paviršiumi. Antenos tvirtinamos prie automobilio, 0,3 - 0,5 m virš kelio paviršiaus. Duomenų surinkimo greitis siekia iki 100 km/h, matavimo gylis - iki 1 m. Naujos dangos sluoksnių storiai nustatomi 3 - 5 % tikslumu, matavimai gali būti atliekami nuo 2,5 cm. Matuojant radaru nesuardoma kelio danga, gaunami duomenys apie dangos storius visu kelio ilgiu. Rekomenduojama gręžti kontrolinius kernus, po vieną į kelio kilometrą. Radarą matuojant dangos storius kernų tenka gręžti mažiau - juos išgręžti brangu, gadinama kelio danga, darbas pavojingas, ypač esant intensyviai eismui. [17]

Radarą galima elektromagnetiniu metodu tirti objektus, esančius po kelio arba žemės paviršiumi. Šis metodas - tai labai aukšto (VHF) ir ultra-(UHF) dažnių elektromagnetinių bangų perdavimas ir jų atspindžio nuo skirtingų terpių paviršiaus bei perėjimo per šias aplinkas registravimas. Gali būti tiriamos kietos ir skystos terpės su skirtingomis dielektrinėmis sa-

vybėmis. Sistema perduoda trumpą elektromagnetinės energijos pulsą į kelio konstrukciją, jis lūžta ir atsispindi nuo kiekvieno sluoksnio. Atspindėta energija parodyta bangos forma. Atspindžio signalo amplitudė nuo kiekvieno sluoksnio yra dielektrinio skirtumo tarp sluoksnių funkcija. Ideali situacija yra įkaitęs asfaltbetonio sluoksnis, granuluotas pagrindas ir molio žemės sankasa. Radarų matavimų rezultatai gaunami tik tuo atveju, kai tarp sluoksnių yra dielektrinis skirtumas. Kai kuriais atvejais, pvz., esant granuliui ant smėlio ir žvyro žemės sankasos, arba betoninei dangai ant cementu sutvirtinto pagrindo, gaunamas labai silpnas atspindys. Radaro veikimo principas parodytas 24 pav. Gauti signalai apdorojami ir skaičiuojami sluoksnių storiai bei dielektrinės reikšmės. Matavimų rezultatai pateikiami spalvotu arba nespalvotu vaizdu. Skirtingos spalvos, arba pilki atspalviai vaizduoja sluoksnius, turinčius skirtingas dielektrines reikšmes. Rezultatams paryškinti gali būti taikomi specialūs signalų apdorojimo metodai, pvz., filtrai, trukdžių pašalinimas. Gauti rezultatai apdorojami rankiniu, pusiau automatiniu arba automatiniu būdu.

Lietuvoje rezultatų skaičiavimams naudojamas automatizuoto duomenų apdorojimo programų paketas RADAN (JAV) ir pusiau automatizuoto duomenų apdorojimo programų paketas Road Doctor (Suomija). Road Doctor programų paketas gali jungti kelių analizės ir projektavimo duomenis, kuriais įvertinama seno kelio būklė, naujo kelio atkūrimo parametrai. Susiejus radaro duomenis su kitų tipų duomenimis, pvz., išilginio profilio, vėžetumo, nustatomos potencialios defektų priežastys.



24 pav. Radaro veikimo principas

Ateityje radaro naudojimo galimybės bus labai didelės. Tyrimų rezultatai gali būti naudojami šiems tikslams:

1. Identifikuoti grunto sluoksnių tipai. Radaras naudojamas po keliu esančių gruntų, durpynų tyrimams, mineralinių medžiagų karjerų žvalgybai.
2. Grunto drėgčio ir atsparumo šalčiui tyrimams. Drėgmės kiekis turi didelę reikšmę deformacinėms kelio konstrukcijos ir žemės sankasos savybėms. Drėgmės susikaupimo vietose žiemos metu atsiranda iškylos. Potencialios neigiamo šalčio poveikio ir ledo lęšių susidarymo vietos tiriamos radaru žiemos metu, nagrinėjant gautas dielektrines sušalusio grunto reikšmes.
3. Nustatyti įvairių požeminių objektų vietoms. Naudojant radarą randamos tuštymų, kabelių, vamzdinių, kolektorių ir pan, vietos.
4. Nustatyti kelio dangos defektams. Radaras gali būti naudojamas nustatyti asfaltbetonio mišinio defektams. Nagrinėjamas radaro grįžtamasis signalas. Pagal jo pobūdį asfaltbetonio sluoksnyje sprendžiama apie sluoksnio homogeniškumą.
5. Nustatyti asfaltbetonio mišinio viršutinio sluoksnio akytumui. Asfaltbetonio akytumas - vienas svarbiausių rodiklių. Tradiciškai akytumui nustatyti naudojami kernai arba radioaktyvusis metodas. Pagal matavimus, atliktus radaru, ir kontrolinių kernų akytumą galima sužinoti viršutinio asfaltbetonio sluoksnio akytumą visu kelio ilgiu.
6. Nustatyti segregacijos vietoms. Klojant asfaltbetonio mišinius nuolatinė problema yra segregacija. Segregacijos vietas galima ištaisyti iš karto paklojus mišinius, tačiau jas labai sunku rasti. Jos tampa matomos tik po 1 - 2 mėnesių, o vėliau atsiranda plyšiai ir duobės. Segregacijos vietoms nustatyti gali būti naudojamas radaras.
7. Plyšių tyrimams. Plyšių tyrimams naudojamos susiliečiančios su paviršiumi antenos; nuskaityma 10 - 20 kartų kiekviename metre. Nustatoma, ar plyšys yra tik paviršinis, ar susijęs su pagrindu. Žinant plyšio atsiradimo priežastis, galima teisingai pasirinkti taisymo būdą: paprastas plyšio taisymas, pagrindo keitimas, geotekstilės klojimas.
8. Vėžių tyrimams. Pagal matavimų radaru duomenis sprendžiama apie vėžių susidarymo priežastis ir rekomenduojami kelio remonto būdai.
9. Kelio projektavimui. Projektuojant seno sluoksnio rekonstrukciją naudojama daug radaru surinktų duomenų: dangos, pagrindo, žemės sankasos, drenažo būklė, kelio konstrukcijos sluoksnių storiai, atsparumas šalčio poveikiui, vietiniai pažeidimai, vėžėtumas. Projektuojama, naudojantis pusiau automatinio projektavimo programų paketais, tuomet reikalingi ir radaro, kontrolinių kernų, kitų kelių tyrimų rezultatai, video vaizdas. Projektuojama trimatėje erdvėje.
10. Tiltų perdangų tyrimams. Naudojant radarą atliekami įvairūs tiltų perdangų betono būklės, vienalytiškumo, drėgčio, armatūros vietos nustatymo tyrimai.

Dangos sluoksnių storių ir kitų tyrimų, atliktų radaru, duomenys galėtų būti įtraukti

į Kelio dangų valdymo sistemą. [17]

2.4 Automobilio ratų sukibimo su danga nustatymo metodai

Ratų su danga sukibimo koeficientą galima nustatyti pagal automobilio stabdymo kelio ilgį, pagal greičio sumažėjimą stabdant automobilį ir panaudojant dinamometrinės priekabas [23].

Paprasčiausias ir dažniausiai naudojamas ratų su danga sukibimo koeficiento φ nustatymo metodas - pagal automobilio stabdymo kelio ilgį:

$$\varphi = \frac{v^2}{254S_{st}} \pm i \quad (2.9),$$

čia: v - automobilio važiavimo greitis, km/h ;

S_{st} – stabdymo kelių ilgis, m ;

i - kelio išilginis nuolydis.

Stabdymo metu nustačius automobilio pagreitį, koeficientas φ apskaičiuojamas formule:

$$\varphi = \frac{I_{max}}{g} \quad (2.10),$$

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

g - laisvai krintančių kūnų (žemės traukos) pagreitis, $g = 9,81 m/s^2$.

Stabdymo kelio ilgis nustatomas esant skirtingam automobilio greičiui, dažniausiai $v = 40$ ir $50 km/h$, o matuojant šlapios ir purvinos dangos sukibimo koeficientą – $v = 30$ ir $40 km/h$.

Koeficientui φ išmatuoti plačiai naudojama unifikuota vienaašė priekaba ПКРС-2У. φ nustatomas pagal reaktyvinio stabdymo momento vertę priekabos rato stabdžio atraminiame diske. SN ir T (Rusija) pateiktos sukibimo koeficiento φ vertės, kurias naudojant galima įvertinti kelių dangos kokybę pagal ratų su danga sukibimą (2.3 lentelė).

2.3 lentelė. Koeficiento φ norminės vertės (Rusija)

Dangos kokybės įvertinimas	Sukibimo koeficientas φ , esant	
	sausai dangai	šlapiai dangai
Labai gera	$\geq 0,98$	$\geq 0,61$
Gera	$0,82 - 0,97$	$0,51 - 0,60$
Patenkinama	$0,66 - 0,81$	$0,41 - 0,50$
Nepatenkinama	$\leq 0,65$	$\leq 0,40$

M.Nemčinovas duomenimis [24], mažiausios leistinos sukibimo koeficiento φ vertės, laiduojančios saugų eismą esant šlapiai dangei, pateiktos 2.4 lentelėje. Sankibos

matavimų pavyzdys pateiktas 3 priede.

2.4 lentelė. Mažiausios leistinos sukibimo koeficiento φ vertės esant šlapiai dangai

Eismo sąlygos	Koeficiento φ vertės, esant važiavimo greičiui, km/h			
	40	60	80	100
Lengvos	0,45	0,35	0,26	0,23
Apsunkintos	0,50	0,40	0,28	0,25
Pavojingos	0,55	0,45	0,30	0,28

2.5 Kelių dangos dilumo (dėvėtumo) nustatymo metodai

Plačiai paplitusiame dangos dilumo nustatymo metode į dangą įmontuojamos minkšto metalo arba klinčių sijelės, kurios dyla kartu su danga. Išmatavus sijelės briaunos ilgį l_1 ir žinant jos pradinį ilgį l , galima nustatyti dangos nudilimą per T metų:

$$h_T = (l_1 - l) / 2. \quad (2.11)$$

Dangoje, įrengtoje panaudojant bitumines medžiagas, nuo judančių automobilių ratų šios sijelės gali nusėsti. Dangos dilumui nustatyti kartais į dangą įmontuojami reperiai. Nustatant kelio dangos nudilimą Lietuvoje naudojami МАДИ ir VISI (dabar VGTU) sukurti prietaisai, o Vokietijoje – prietaisas “Stratotest”.

2.6 Automobilių kelių būklės kompleksinis vertinimas

Darbų analizė rodo, kad yra daug metodų kelio dangos ir jos konstrukcijos būklei nustatyti, tačiau jie gana sudėtingi, juos naudojant reikalingi sudėtingi prietaisai, aparatūra ir įrengimai. Dangos būklei vertinti nepasiūlytas kompleksinis rodiklis, kurio vertėms nustatyti nebūtų reikalingi sudėtingi prietaisai ir (arba) sudėtinga metodika. Pastaraisiais metais toks priimtinas rodiklis ir dangos būklės vertinimo metodas yra pasiūlyti VGTU Kelių katedroje [16]. Šis rodiklis – tai dangos suirimo lygis D . Naudojant rodiklį D ir metodą kelių asfaltinės dangos būklei vertinti, buvo nustatyta, kad jis pakankamai tiksliai ir objektyviai atspindi kelių dangos ir jos konstrukcijos eksploatacines savybes: dangos lygumą ir dangos konstrukcijos stiprį, o metodas yra labai operatyvus – viename 30 – 50 m ilgio kelio dangos ruože dangos būklę galima nustatyti per 3 – 5 minutes [18, 19]. Dangos suirimo lygis D , išreikštas %, nustatomas formule:

$$D = \frac{S_d + S_{pl} + S_p + \sum_{i=1}^n l_i b_i}{S} \cdot 100, \quad (2.12)$$

čia: S - tiriamo kelio ruožo dangos plotas, m^2 ; siūloma tirti 40 m ilgio kraštinės

(sunkiausio eismo) važiavimo juostos kelio dangos ruožus; kai važiavimo juostos plotis $b = 3,25 \text{ m}$, $S = 130 \text{ m}^2$, kai $b = 3,50 \text{ m}$, $S = 140 \text{ m}^2$ ir kai $b = 3,75 \text{ m}$, $S = 150 \text{ m}^2$;

S_d - tiriamame ruože pažeistas išdaužomis, ištrupomis, išaižomis bei įlūžomis

dangos plotas, m^2 ;

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

S_p - bangomis, vėžėmis ir kitomis plastinėmis bei šlyties deformacijomis

pažeistos dangos plotas, m^2 ;

l_i - atskiro i -jo plyšio ilgis, m ;

b_i - dangos juostos, prardusios stiprį (laikomąją galią) plotis iš abiejų i – jo plyšio pusių, priklausantis nuo jo (plyšio) pločio, nustatomas pagal [25] metodiką, m .

Atlikti tyrimai [19] leidžia vertinti dangos būklę balais, priklausomai nuo jos suirimo lygio D verčių (2.5 lentelė).

2.5 lentelė. Automagistralių asfaltbetonio dangos būklės, priklausomai nuo suirimo lygio D verčių, vertinimas balais

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

Automobilių kelių būklės kompleksinis vertinimas reikalingas tam, kad būtų galima giliai ir visapusiškai išanalizuoti kelio ar kelių tinklo eksploatacines savybes ir nustatyti, ar jie tenkina vežimams keliamus ekonominius bei eismo saugumo reikalavimus; kad būtų galima suplanuoti priemones ir išlaidas kelių priežiūrai ir remontams, įvertinti kelio tiesimo kapitalinio remonto ar rekonstrukcijos kokybę, objektyviai palyginti savo ir kitų šalių būklę [26].

Visus kelių būklės kompleksinio vertinimo metodus sąlyginai galima suskirstyti į tris grupes:

- kelio dangos konstrukcijos kokybės ir būklės vertinimo metodai,
- dangos geometrinių elementų įtakos automobilių važiavimo greičiui ir eismo saugumui vertinimo metodai,
- kelio būklės ir jo inžinerinės įrangos poveikio vairuotojams ir keleivių aptarnavimo lygiui vertinimo metodai.

Aptarsime pirmajai grupei priskirtus kelio dangos konstrukcijos kokybės ir būklės

vertinimo metodus. Bendriausias kelio dangos konstrukcijos eksploatacinių savybių rodiklis yra jos stiprio koeficientas, tačiau jis nepakankamai atspindi kelio dangos ir jos konstrukcijos būklę

Rusijoje mokslinių tyrimų institute СоюздорНИИ ir Ukrainoje automobilių ir kelių institute ХАДИ buvo sukurta sistema kelių dangos būklei vertinti [27]:

Gera būklė	Dangoje plyšių nėra. Nelygumas po 2 m ilgio kartele mažesnis kaip 10 mm.
Kritinė būklė	Dangoje plyšių nėra. Nelygumas po kartele - 10 - 20 mm.
Bloga būklė	Vėžės pažeistos plyšiais. Nelygumas po kartele didesnis kaip 20 mm.

Šis vertinimas leidžia sukonkretinti kelių dangos vizualios apžiūros rezultatus. Jis susieja efektyvųjį E_{ef} ir ekvivalentinį E_e kelio dangos konstrukcijos tamprumo modulius:

$$E_{ef} = K_{st} E_e, \quad (2.13)$$

čia: K_{st} - kelio dangos konstrukcijos stiprio koeficientas, nustatomas naudojant balų sistemą (2.6 lentelė).

2.6 lentelė. Kelių dangos būklės, priklausomai nuo dangos konstrukcijos stiprio, vertinimas balais

Būklės vertinimas balais	Kelio važiuojamosios dalies būklė	Stiprio koeficientas K_{st}
I / 1	Važiuojamosios dalies paviršius lygus. Išlikęs projektinis skersinis profilis. Deformacijų dėl nepakankamo dangos konstrukcijos stiprio nėra. Dėl važiuojamosios dalies būklės automobilių važiavimo greitis nėra sumažėjęs	1,00
I / 2	Yra periodiškai pasikartojantys (kas 10 - 15 m) skersiniai plyšiai ir kitos atskiros deformacijos	0,95
I / 3	Yra periodiškai pasikartojantys (kas 5 - 10 m) skersiniai ir trumpi bei reti išilginiai plyšiai, nedideli nelygumai ir ištrupomis pažeisti dangos nedideli plotai	0,90
I - II	Ruožai, kuriuose tik pradeda atsirasti atskiros deformacijos, rodantys, kad kelio dangos konstrukcija funkcionuoja ant stiprio ribos. Skersinis profilis neženkliai iškreiptas, yra atskiros deformacijos (siauri išilginiai plyšiai vėžėse, skersiniai plyšiai)	0,85
II	Skersinis ir išilginis profiliai daugelyje vietų iškreipti. Yra atskiri negilūs dangos nuosėdžiai (vėžės vietoje) su plyšių tinklu. Pravažiuojant krovininiam automobiliui, dangos konstrukcija neženkliai deformuojasi be pastebimų liekamųjų deformacijų	0,75 - 0,80
	Ženklius skersinio profilio iškrypiai ir nelygumai dėl dangos konstrukcijos nepakankamo stiprio pavasari. Atskiros įlūžos. Pravažiuojant krovininiam automobiliui, dangos konstrukcija ženkliai deformuojasi ir pastebimos ženklios liekamosios deformacijos	0,65 - 0,75

Kelių būklę nustatant vizualiai, dažniausiai naudojamos projektinės tamprumo modulių vertės, kurios koreguojamos įvedant pataisos koeficientus.

Naudojant СоюздорНИИ metodą, nustatomas ekvivalentinis tamprumo modulis neapėria to paties tipo kelio dangų konstrukcijų įvairovės ir ypač atskirų sluoksnių galimo būvio įvairovės. Šiuo atveju tikslinga įvertinti šiuos veiksnius [27]:

- atskirų sluoksnių stiprio priklausomybę nuo šių sluoksnių medžiagos komponentų stiprio bei nuo rišiklio kintančios būklės;
- šių sluoksnių įrengimo, ypač išmaišymo ir sutankinimo, technologinės kokybės skirtingumus;
- sluoksnių funkcionavimo sąlygų, būtent - sluoksnio vietos daugiasluoksnėje sistemoje ir, atitinkamai, apkrovų poveikio laipsnio, įvairių šaltinių sukeliama drėkinimo laipsnio, skirtingumus;
- dangos konstrukcinių, ypač skaldos, sluoksnių per funkcionavimo laikotarpį nusidėvėjimo laipsnį.

Siekiant įvertinti išvardintus veiksnius, nustatant tamprumo modulį, rekomenduojama [27] panaudoti pataisos koeficientus: sluoksnį sudarančių komponentų stiprio įtakos k_{st} ; rišiklio įtakos k_r ; technologijos įtakos k_t ; funkcionavimo sąlygų įtakos k_f .

Kiekvieno sluoksnio faktinis tamprumo modulis nustatomas taip:

$$E_f = E_l \cdot k_{st} \cdot k_r \cdot k_t \cdot k_f, \quad (2.14)$$

čia: E_l - imama iš lentelės norminių dokumentų tamprumo modulio vertė.

Pagal sluoksnių storį vertes (imamas kelių matavimo rezultatų aritmetinis vidurkis) ir nustatytus faktinius sluoksnių tamprumo modulius nustatomas kelio dangos konstrukcijos ekvivalentinis tamprumo modulis E_e :

$$E_e = \frac{\sum_{i=1}^n E_i \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i}, \quad (2.15)$$

čia: E_i - i -tojo sluoksnio faktinis tamprumo modulis;

h_i - i -tojo sluoksnio faktinis storis.

Pateikta metodika [28] leidžia objektyviai nustatyti kelio dangos konstrukcijos ekvivalentinį tamprumo modulį ir prognozuoti dangos būklę, tačiau nėra paaiškinta, kaip nustatyti koeficientus k_{st} , k_r , k_t ir k_f .

Detalesnė kelio dangų konstrukcijų pagal stiprį klasifikacija buvo sukurta Maskvos automobilių ir kelių institute (Technikos universitete) МАДИ [29], kurioje nustatyti penki dangos būklės pagal vizualų vertinimą lygiai: 5 balai – defektų nėra, arba yra tik atskiri plyšiai; 4

balai – atskiri, arba retai pasitaikantys plyšiai; 3 balai – dažnai pasitaikantys plyšiai; 2 balai – plyšių tinklas ir nedidelis vėžėtumas; 1 balas – nuosėdžiai, ženklus vėžėtumas, įlūžos.

Nustatyta priklausomybė tarp dangos konstrukcijos stiprio koeficiento ir jos būklės:

Dangos konstrukcijos būklė, balais	5	4	3	2	1
Laukiamas stiprio koeficientas K_{st}	1	0,95	0,85	0,8	0,7

Vizualus kelio dangos būklės vertinimas taikomas nustatant kelio ruožus, kuriuose reikia atlikti detalią instrumentinę dangos būklės kontrolę, apytikriai nustatant kelių remonto darbų apimtį ir t.t.

A.P.Vasiljevas [26] pasiūlė automobilių kelių vertinimo pagal jų naudojimo (vartotojiškas) savybes metodiką. Ši metodika pakankamai tiksliai ir objektyviai atspindi automobilių kelių naudojimo, t.y. eksploatacines savybes, tačiau joje yra gausybė vertinimo rodiklių, kurie yra suvedami į vieną apibendrintą rodiklį Π :

$$\Pi = K\Pi K_{o\delta} K_3, \quad (2.16)$$

čia: Π – kelio kokybės ir jo priežiūros lygio apibendrinto kompleksinio įvertinimo rodiklis;

$K\Pi$ – kelio eksploatacinės būklės rodiklis;

$K_{o\delta}$ – kelio inžinerinės įrangos rodiklis;

K_3 – kelio eksploatacinės priežiūros rodiklis.

Norint nustatyti apibendrintą rodiklį Π , reikia turėti rodiklių $K\Pi$, $K_{o\delta}$ ir K_3 vertes, kurias nustatyti yra sudėtinga, nes kiekvienas šių rodiklių yra kompleksinis, susidedantis iš kelių arba daugiau atskirų rodiklių.

Daugelyje Vakarų Europos šalių ir JAV kelių būklė vertinama panaudojant kompleksinius rodiklius. Plačiausiai žinomas JAV Kelių asociacijos AASHO nustatytas eksploatacinio patikimumo (eksploatacinės būklės) indeksas p . Kelių nestandžių dangų konstrukcijoms indeksas p nustatomas formule [30]:

$$p = 5,03 - 1,91 \lg(1 + SV) - 0,01 \sqrt{C + P} - 1,38(RD)^2, \quad (2.17)$$

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

C – plyšių kiekis, $m/1000 m^2$;

P – užtaisytų duobių dangoje santykinis plotas, $m^2/1000 m^2$;

RD – vidutinis vėžės gylis.

Esant indekso p vertei $p = 2,5$, dangą dar leidžiama eksploatuoti. Apskaičiavus gauta: kai $p = 2,5$, nelygumų vertės turi būti nedidesnės kaip 3,45 cm [27]. Nestandžios

dangos konstrukcijos eksploataavimo pradžioje indekso p vertės turi būti: $p \geq 4,2$.

Kitais duomenimis [26] indeksas p nustatomas formule:

$$p = 11,683 - 3,9 \lg R - 0,01 \sqrt{3,08C + P} - 0,241(RD)^2, \quad (2.18)$$

čia: R – dangos lygumas, nustatytas smūgiomačiu, kiti dydžiai tie patys kaip formulėje (2.28).

Pateikta [26] dangos būklės pagal indeksą p vertinimo skalė: kai $p > 3,5$ – dangos būklė labai gera, kai $p = 2,5 - 3,5$ – gera, kai $p = 1,5 - 2,5$ – patenkinama ir kai $p < 1,5$ – nepatenkinama. Šį rodiklį kompleksiniu vadinti negalima, nes jis įvertina tik dangos būklę. Daugelyje šalių yra naudojamos panašios šio rodiklio modifikacijos.

Dangos būklės vertinimo indekso p ir jo modifikacijų pagrindinis trūkumas – jų empiriškumas. Juos galime taikyti tik esant toms konkrečioms sąlygoms, kurios buvo juos nustatant. Kelio dangos eksploatacinei būklei įvertinti patogų turėti apibendrintą universalų rodiklį, atspindintį kelio dangos lygumą ir jos konstrukcijos stiprį bei kitas svarbias eksploatacines savybes.

Atliktų darbų apžvalga rodo, kad kol kas dar nėra pasiūlyta kelių ar kelių dangos būklei vertinti universalus ir patogaus rodiklio. Patogiausias rodiklis kelių dangos būklei vertinti – VGTU Kelių katedros pasiūlytas kelių dangos suirimo lygis D [18].

2.7 Antrojo skyriaus išvados

Iš antrojo skyriaus galima padaryti šias išvadas:

1. Defektai kelio dangos paviršiuje blogina eismo sąlygas: mažina važiavimo patogumą ir eismo saugumą, mažina transporto važiavimo greitį bei gadina automobilių važiuoklę.
2. Svarbiausių Lietuvos magistralinių kelių su asfaltbetonio danga intensyvėjantis irimas rodo, kad išaugus sunkiųjų automobilių eismui, jų dangos konstrukcijos stipris yra nepakankamas.
3. Kelių dangos kokybės blogėjimą tikslinga prognozuoti peržiūrint kelių ūkio valdymo sistemas ir reikalavimus kelių būklei, kelių organizacijas, nustatant kelių mokesčius ir analizuojant kelių tiesimo bei rekonstrukcijos projektų ekonominę dalį.
4. Svarbiausias eksploatacinis rodiklis, charakterizuojantis ir apsprendžiantis asfaltbetonio dangos funkcionavimo trukmę, yra jos lygumas.
5. Dangos lygumas priklauso nuo kelio dangos konstrukcijos stiprio ir nuo asfaltbetonio sudėties, struktūros, fizinių ir mechaninių, deformacijos ir kitų rodiklių.
6. Dangos paviršiaus lygumas paprastai charakterizuojamas "Tarptautiniu lygumo rodikliu" ("IRI").
7. Didžioji dauguma kelio dangos tyrimų koncentruojami į analitinių metodų kūrimą ir jų vystymą.
8. Dangos stipris yra vienas iš pagrindinių eksploatacinių rodiklių, apsprendžiančių sugebėjimą atlaikyti eismo apkrovas.
9. Radarų SIR-10H galima elektromagnetiniu metodu tirti objektus, esančius po kelio arba žemės paviršiumi, matuojant radaru nesuardoma kelio danga, gaunami duomenys apie dangos storius visu kelio ilgiu.
10. Ratų su danga sukibimo koeficientą galima nustatyti pagal automobilio stabdymo kelio ilgį, pagal greičio sumažėjimą stabdant automobilį ir panaudojant dinamometrines priekabas.
11. Atliktų darbų apžvalga rodo, kad kol kas dar nėra pasiūlyta kelių ar kelių dangos būklei vertinti universalaus ir patogaus rodiklio.
12. Patogiausias rodiklis kelių dangos būklei vertinti – VGTU Kelių katedros pasiūlytas kelių dangos suirimo lygis D .

3 DANGOS ASFALTBETONIO FIZINIŲ – MECHANINIŲ RODIKLIŲ ĮTAKOS KELIŲ EKSPLOATACINĖMS SAVYBĖMS TYRIMAI

3.1 Dangos asfaltbetonio fizinių – mechaninių rodiklių įtakos dangos funkcionavimo trukmei tyrimas

Įvairios asfaltbetonio savybės - tokios, kaip tamprumo modulis, atsparumas tempimui lenkiant, rišlumas, atsparumas nuovargiui, vandens ir šalčio poveikiui, nudilimui, šlyčiai, senėjimui, standartiniais fiziniais ir mechaniniais rodikliais priklauso nuo jo sudėties ir struktūros. Minėtos savybės, paimtos kartu, charakterizuoja asfaltbetonio potencines galimybes eksploatuojant dangą bei charakterizuoja dangos darbo trukmę. Tačiau iki šiol nėra pateikta priklausomybių tarp asfaltbetonio savybių ir jo dangos darbo trukmės. Dangos funkcionavimo trukmė ir patikimumas priklauso ne tik nuo asfaltbetonio sudėties, bet ir nuo jo sutankinimo laipsnio, pradinių medžiagų, panaudotų konstrukciniams sluoksniams įrengti, kokybės, sluoksnių storio bei kitų veiksnių. Manoma kad labai sunku pakankamu tikslumu prognozuoti asfaltbetonio darbą kelio dangos konstrukcijoje, priklausomai nuo jo sudėties ir fizinių bei mechaninių ar kitų jo savybių. Atlikus šių darbų apžvalgą, negalima nustatyti pagrindinių veiksnių, nulemiančių asfaltbetonio dangos būklę įtakos bei pateikti efektyvių dangos būklės pagerinimo priemonių.

Nustatant kelio asfaltbetonio fizinių – mechaninių rodiklių įtaką kelio funkcionavimo trukmei, darbe panaudojau senus kelio Vilnius - Kaunas – Klaipėda (A1) 1985-1994 metų asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių tyrimų duomenis, kuriems reikalavimai nustatyti standarte GOST 9128-84. Tyrimų duomenys pateikti 5 priede.

Standarte GOST 15467-79 (ST SEV 3519-81) pasakyta, kad produkcijos kokybė - tai savybių, apsprendžiančių jos tinkamumą tenkinti reikalavimus, susijusius su jos paskirtimi, visuma. Asfaltbetonis naudojamas įrengiant automobilių kelių dangą, todėl jo kokybę reikia vertinti pagal charakteristikas, modeliuojančias jo būklę dangos eksploatavimo metu. Asfaltbetonis turi tenkinti reikalavimus, keliamus jo fiziniams ir mechaniniams rodikliams, kurie deja nepilnai modeliuoja jo darbo sąlygas dangoje, todėl asfaltbetonio kokybę reikia vertinti ir pagal jo tamprumo modulio (E) bei atsparumo tempimui lenkiant (R_1) atitikimą projektinių charakteristikų E ir R_1 reikšmėms, nustatytoms nestandžių dangų projektavimo instrukcijoje "VSN 46-83" [31].

Manoma, kad esant įvairioms temperatūroms, asfaltbetonio darbą dangoje modeliuoja mechaniniai ir deformaciniai kokybės rodikliai: atsparumas gniuždant, esant + 50 °, 0°, - 10°C

temperatūroms - R_{50} , R_0 , R_{-10} ; tamprumo modulis E ir atsparumas tempimui lenkiant R_1 ; energijos nuostolių koeficientas Kn bei kinetinės charakteristikos P_1/P_2 esant $+ 50^\circ$ ir $- 10^\circ C$ temperatūroms. Asfaltbetonio korozinį (erozinį) atsparumą, t.y. jo atsparumą šalčio bei vandens poveikiui, dalinai turėtų modeliuoti vandens sugertis W , brinkimas H , atsparumas gniuždymui esant $+ 20^\circ C$ temperatūrai R_{20} , atsparumo vandens poveikiui koeficientas K_v .

Tačiau iki šiol dar nėra tiksliai nustatytų priklausomybių tarp dangos darbo trukmės ir asfaltbetonio fizinių ir mechaninių savybių. Standarte "GOST 9128-84" tik nustatyti reikalavimai asfaltbetonio fiziniams ir mechaniniams rodikliams, tačiau šie reikalavimai nėra pakankamai pagrįsti, todėl reikia juos tikslinti, atsižvelgiant į konkrečias asfaltbetonio dangos darbo sąlygas. Jeigu asfaltbetonio kokybės rodiklis netelpa tiksliai nustatytų normų ribose (yra didesnis arba mažesnis), tai dangos būklė tiek pablogės, kad jai neatidirbus norminio laiko, reikės atlikti vidutinį (arba kapitalinį) remontą.

Nustatant asfaltbetonio kokybės rodiklių (K) atitikimą techniniams reikalavimams, gali būti trijų tipų nelygybės su vienpusėmis arba dvipusėmis ribomis (apatinė T_a ir viršutinė T_v):

$$K < T_v \text{ (rodikliams } R_0, H, K_v, P_1/P_2 \text{ (esant } t = + 50^\circ C)),$$

$$K > T_a \text{ (rodikliams } R_{20}, R_{50}, K_v, R_b, E, K_s, P_i/P_2 \text{ (esant } t = - 10^\circ C)),$$

$$T_a < K < T_v \text{ (rodikliams } W, LP, SK, SM, MM, B, B/MM)$$

čia: K_s , LP - atitinkamai asfaltbetonio tankio koeficientas ir liekamas porėtumas; SK , SM , MM , B - atitinkamai grūdelių, stambesnių kaip 5 (2) mm (skaldos), 0,071-5 (2) mm stambumo (smėlio), smulkesnių kaip 0,071 (0,09) mm (mineralinių miltelių) ir bitumo kiekiai asfaltbetonyje, masės %.

Tikslinant asfaltbetonio fizinius ar mechaninius rodiklius, būtina įrodyti, kad kiekvienas iš jų modeliuoja tam tikrą asfaltbetonio darbą dangoje. Jeigu du ar daugiau rodiklių modeliuoja vieną ir tą patį asfaltbetonio darbą dangoje, reikia silpniau koreliuojančių su dangos eksploatacinėmis savybėmis rodiklių visiškai atsisakyti, paliekant tik geriausiai jos darbą atspindintį rodiklį. Reikia atsisakyti ir tokių nedubliuotų rodiklių, kurie silpnai modeliuoja tam tikro pobūdžio dangos darbą.

Nuo asfaltbetonio sudėties ir struktūros, t.y. nuo rodiklių LP , SK , SM , MM , B , B/MM , K_s , o taip pat nuo asfaltbetonio gamybai naudojamų pradinių medžiagų priklauso dydžių W , H , K_v , R_{50} , R_{20} , R_0 , P_1/P_2 , Kn , R_1 , E reikšmės ir eksploatuojamų asfaltbetonio dangų būklė.

I. Šerbakovas įrodė [32], kad nuo asfaltbetonio sudėties ir struktūros priklauso ne tik dydžių R_1 ir E reikšmės, bet ir jo atsparumas nuovargiui.

T. Kiriuchinas archyvinių duomenų pagrindu nustatė koreliacinę priklausomybę tarp asfaltbetonio dangos darbo trukmės ir asfaltbetonio sudėties bei bitumo struktūrinių rodiklių [33]:

$$T = 8 + 11,1 \frac{A}{D + T_p} \cdot \frac{MM}{B} - 2,7 \frac{MM}{B}, \quad (3.1)$$

čia: T - asfaltbetonio dangos darbo trukmė, metais;

A, D, T_p - atitinkamai asfaltenu, dervų ir tepalų kiekis bitume, masės %.

Labai svarbus asfaltbetonio dangos kokybės rodiklis yra jų vienodumas pagal sudėtį ir struktūrą bei fizinius ir mechaninius rodiklius. Įrodyta [34, 35], kad užtikrinus reikiamą asfaltbetonio dangos vienodumą pagal sudėtį, tuo pačiu metu užtikrinamas ir reikiamas jos vienodumas pagal fizinius ir mechaninius rodiklius.

Atliekamo tyrimo tikslas išanalizuoti kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda dangos funkcionavimo trukmę ir nustatyti priklausomybes tarp pagrindinių fizinių ir mechaninių rodiklių bei dangos funkcionavimo trukmės T.

Pirma, naudodamas statistinį paketą “Statgraphics 5.1 plus”, atlieku dangos funkcionavimo trukmės statistinę analizę A1 kelio ruožuose: Vilnius – Kaunas, Kaunas – Klaipėda ir visame kelyje. Kelio dangos ruožų tarnavimo trukmės duomenys pateikti 6 priede

1 Ruožo *Vilnius – Kaunas* dangos funkcionavimo trukmės T statistinė analizė

Imtis = 36

Vidurkis = 12,0556

Nuokrypis = 18,9683

Standartinė paklaida = 4,35526

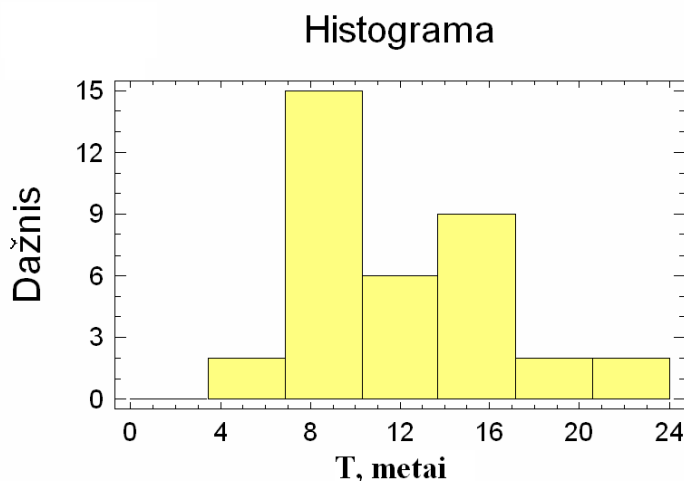
Minimumas = 5,0

Maksimumas = 23,0

Imties plotis = 18,0

Asimetrijos koef. = 2,11991

Ekscesas = 0,295445



27 pav. T , metais (Vilnius – Kaunas) dažnių histograma

2. Ruožo *Kaunas - Klaipėda* dangos funkcionavimo trukmės T statistinė analizė

Imtis = 37

Vidurkis = 11,4595

Nuokrypis = 14,4219

Standartinė paklaida = 3,79762

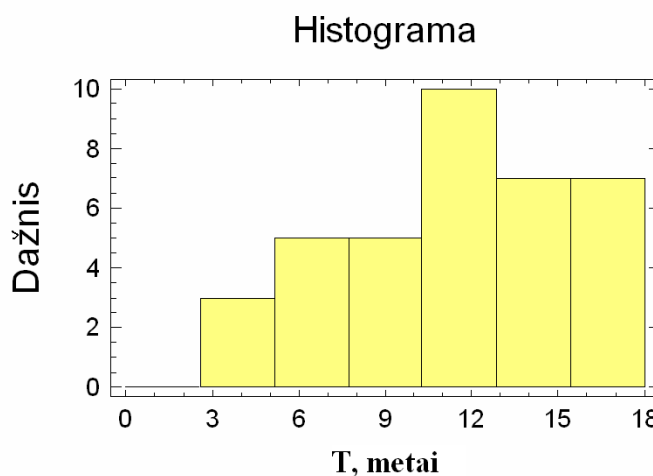
Minimumas = 4,0

Maksimumas = 17,0

Imties plotis = 13,0

Asimetrijos koef. = -0,799168

Ekscesas = -0,981736



28 pav. T, metais (Vilnius – Kaunas) dažnių histograma

3. Kelio *Vilnius – Kaunas - Klaipėda* dangos funkcionavimo trukmės T statistinė analizė

Imtis = 73

Vidurkis = 11,7534

Nuokrypis = 16,5217

Standartinė paklaida = 4,06469

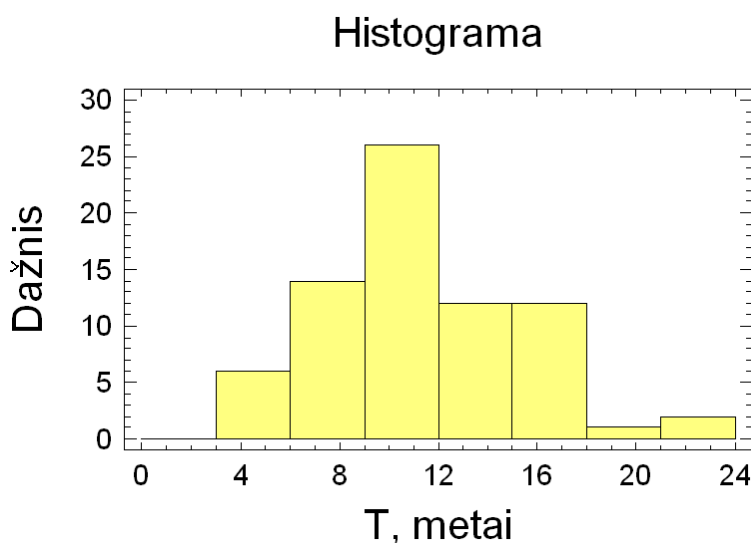
Minimumas = 4,0

Maksimumas = 23,0

Imties plotis = 19,0

Asimetrijos koef. = 1,41448

Ekscesas = 0,0589692



29 pav. T, metais (Vilnius – Kaunas - Klaipėda) dažnių histograma

Apibendrinti magistralės dangos funkcionavimo trukmės rezultatai pateikti 3.1 lentelėje

3.1 lentelė. A1 kelio funkcionavimo trukmės statistinė išraiška

Ruožas	Tirtų ruožų sk	Vidutinė dangos tarnavimo trukmė, metais	Standartinė paklaida
Vilnius - Kaunas	36	12,1	18,97
Kaunas - Klaipėda	37	11,5	14,42
Vilnius – Kaunas - Klaipėda	73	11,8	16,52

Kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda dangos asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių tyrimų duomenys pateikti 4 priede. Duomenyse pateikti 1985-1995 metais remontuotų ruožų B tipo asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių tyrimo rezultatai:

- R_{50} - atsparumas gniuždant esant + 50 °C temperatūrai, MPa;
- R_{20} - atsparumas gniuždant esant + 20 °C temperatūrai, MPa;
- R_V - atsparumas gniuždant esant vandens prisotintam paviršiui, MPa;
- W – vandens įgertis, %;
- A – išbrinkimas, %;
- γ – tūrio masė, g/cm³;
- K_V – atsparumo vandens poveikiui koeficientas,
- T – kelio ruožo tarnavimo trukmė metais.

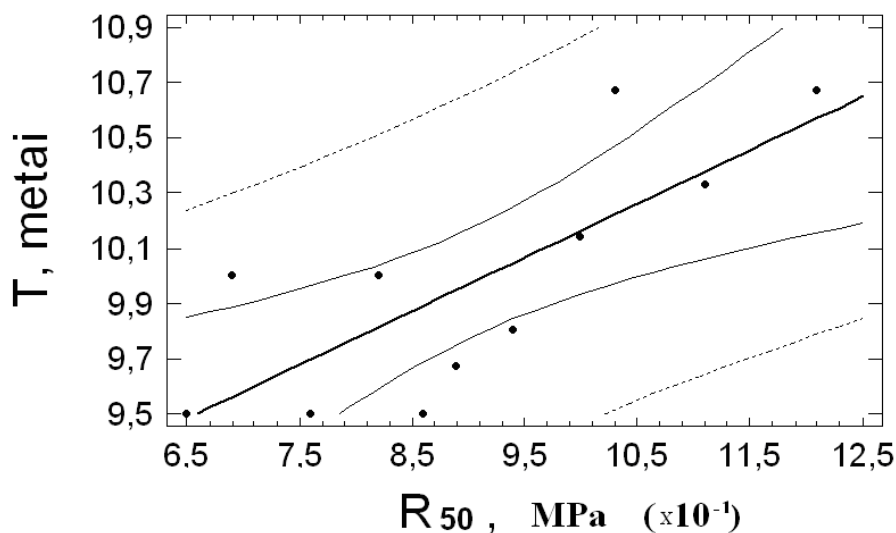
Priklausomybės tarp pagrindinių fizinių ir mechaninių rodiklių ir dangos tarnavimo trukmės analize atlieku naudojant statistinį paketą “Statgraphics 5.1 plus”. Atlieku porinę ir daugybinę regresines analizes ir gaunu priklausomybes tarp ruožų tarnavimo trukmės ir tarp fizinių – mechaninių rodiklių, gautų atlikus asfaltbetonio tyrimus juose. 3.1 lentelėje pateikta suvestinė kelio A1 fizinių -mechaninių rodiklių statistika .

3.2 lentelė. Suvestinė fizinių, mechaninių ir kitų duomenų statistika

	A	γ	K_V	R_{20}	R_{50}
KIEKIS	44	44	44	44	44
VIDURKIS	0,199432	2,37886	1,01114	31,3318	9,47273
NUOKRYPIS	0,0175677	0,0005824	0,00412659	45,0315	2,52203
STANDARTINĖ	0,132543	0,024133	0,0642385	6,71055	1,58809
PAKLAIDA					
MINIMUMAS	0,02	2,3	0,79	19,5	6,4
MAKSIMUMAS	0,5	2,42	1,12	47,6	13,1

	R_V	T	W
KIEKIS	44	44	44
VIDURKIS	31,7659	10,1364	0,965682
NUOKRYPIS	49,046	2,72516	0,272634
STANDARTINĖ	7,00329	1,65081	0,522144
PAKLAIDA			
MINIMUMAS	17,1	5,0	0,19
MAKSIMUMAS	47,8	14,0	2,84

Porinė paprastoji regresinė analizė

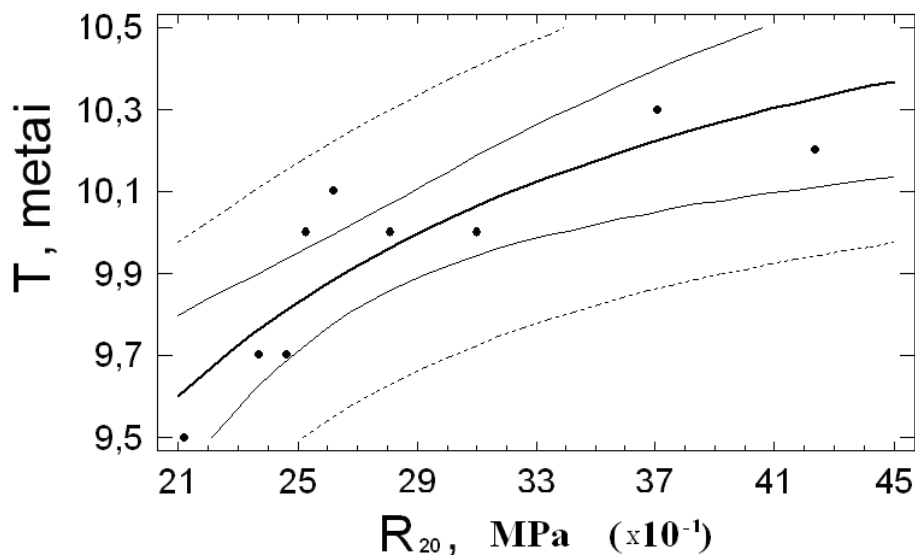


X	Y
6,5	9,5
6,9	10,0
7,6	9,5
8,2	10,0
8,6	9,5
8,9	9,7
9,4	9,8
10,0	10,1
10,3	10,7
11,1	10,3
12,1	10,7

28 pav. Atsparumo gniuždant esant + 50 °C temperatūrai -R₅₀, MPa ir kelio funkcionavimo trukmės sietis

Regresinės analizės modelis $Y = a + b \cdot X$, Koreliacijos koef. $R = 0,773267$,
 $T = 8,21619 + 0,194798 \cdot R_{50}$

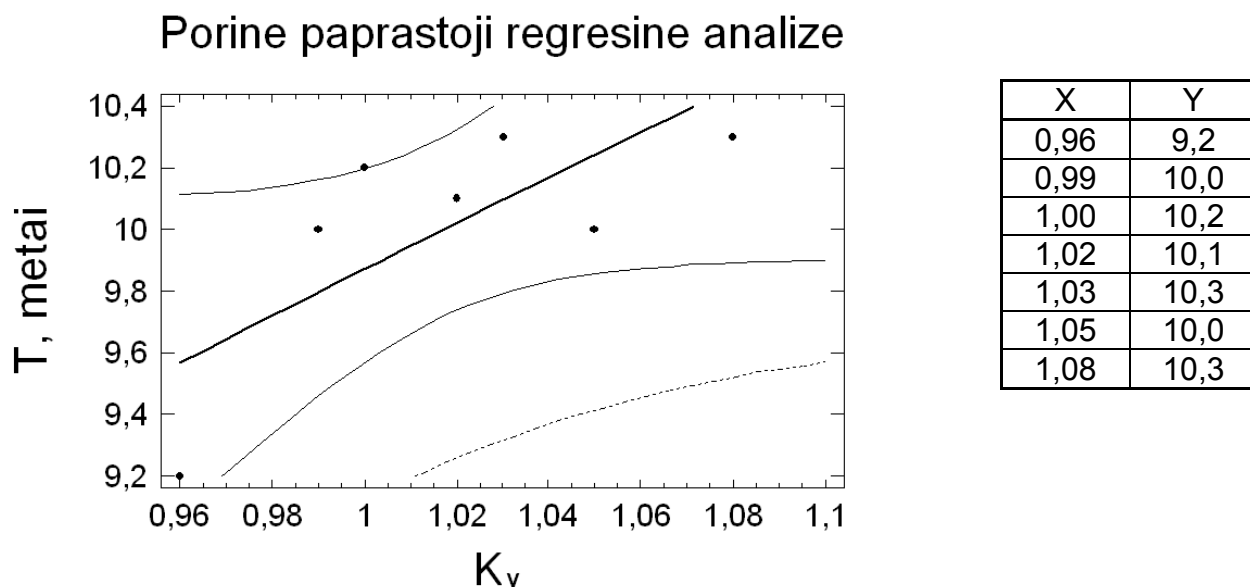
Porinė paprastoji regresinė analizė



X	Y
21,2	9,5
23,5	9,7
24,5	9,8
25,0	10,0
26,5	10,1
28,0	10,0
31,0	10,0
37,0	10,3
42,0	10,2

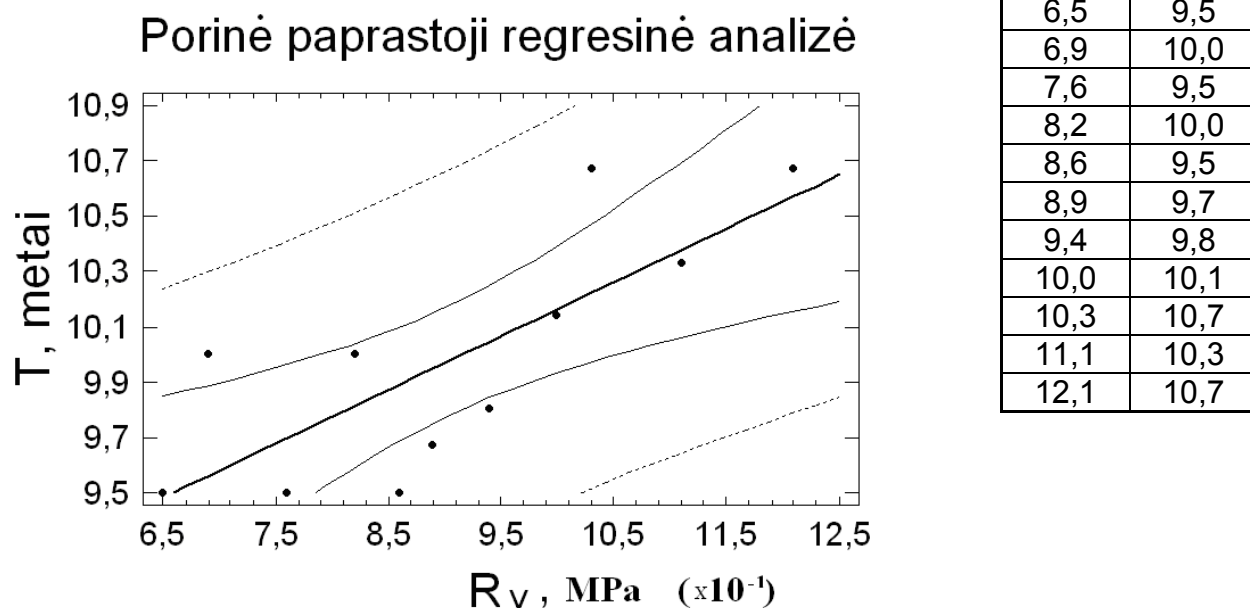
29 pav. Atsparumo gniuždant esant + 20 °C temperatūrai – R₂₀, MPa ir kelio funkcionavimo trukmės T, metais sietis

Regresinės analizės modelis $Y = a + b/X$, koreliacijos koef. $R = -0,875687$
 $T = 11,0439 - 30,3453/R_{20}$



30 pav. Atsparumo vandens poveikiui koeficiento K_v ir kelio funkcionavimo trukmės T , metais sietis

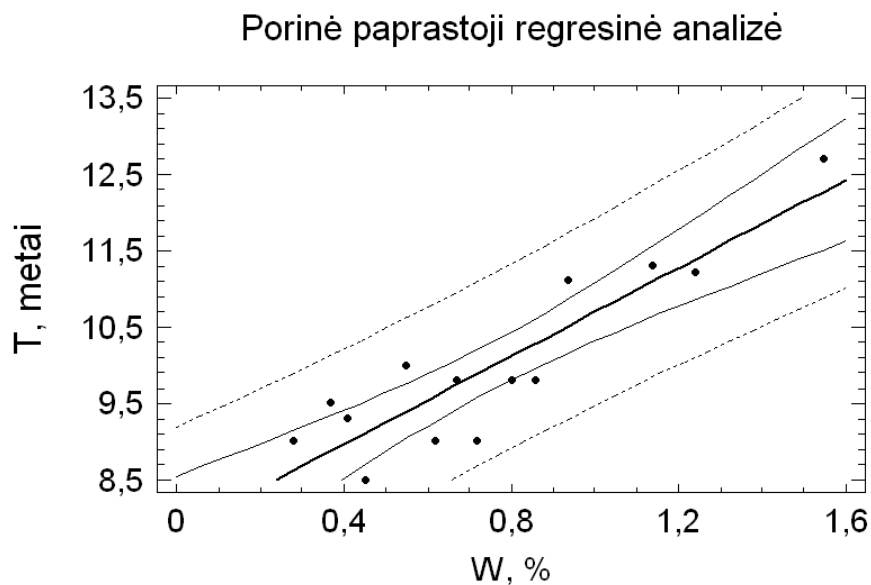
Regresinės analizės modelis $Y = 1/(a + b/X)$, koreliacijos koef. $R=0,734916$
 $T = 1/(0,0240406 + 0,0772576/ K_v)$



31 pav. Atsparumo gniuždant esant vandens prisotintam paviršiui - R_v , MPa ir kelio funkcionavimo trukmės T , metais sietis

Regresinės analizės modelis $Y = a + b \cdot X$, koreliacijos koef. $R=0,773267$

$$T = 8,21619 + 0,194798 \cdot R_V$$

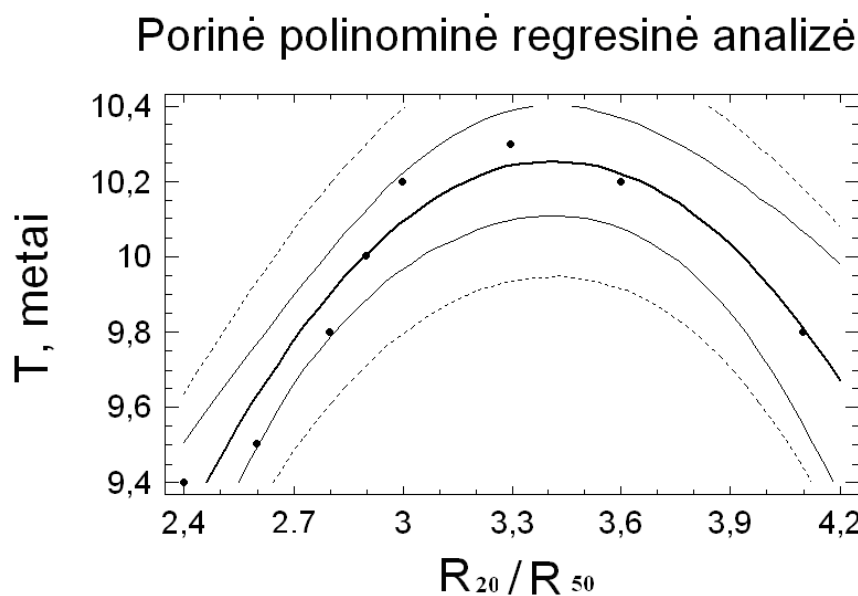


X	Y
0,28	9,0
0,37	9,5
0,41	9,3
0,45	8,5
0,55	10,0
0,62	9,0
0,67	9,8
0,72	9,0
0,80	9,8
0,86	9,8
0,94	11,1
1,14	11,3
1,24	11,2
1,55	12,7

32 pav. Vandens įgerties W , % ir kelio funkcionavimo trukmės T , metais sietis

Regresinės analizės modelis $Y = a + b \cdot X$, koreliacijos koef. $R = 0,897911$

$$T = 7,81492 + 2,88595 \cdot W$$

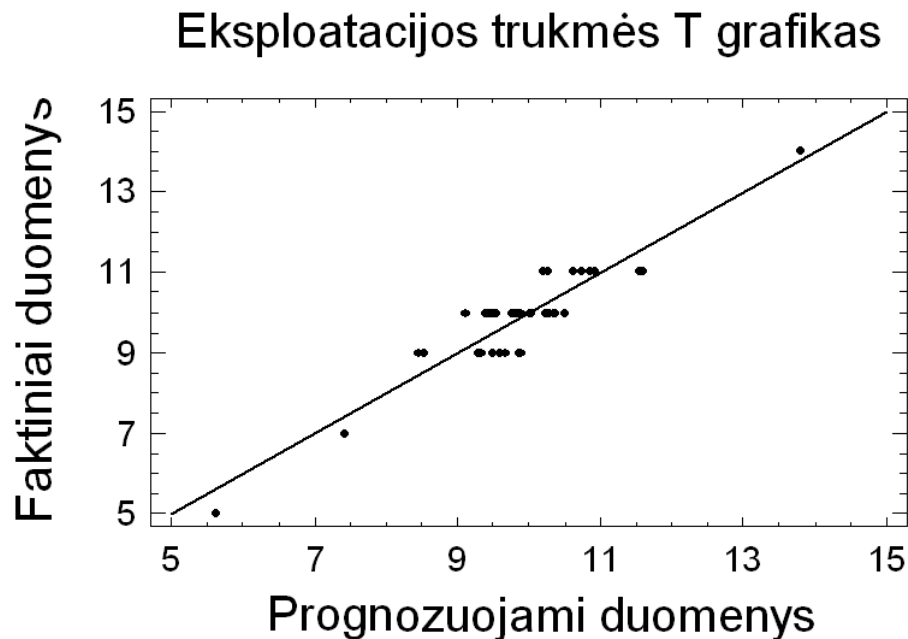


X	Y
2,4	9,4
2,6	9,5
2,8	9,8
2,9	10,0
3,0	10,2
3,3	10,3
4,1	9,8
3,6	10,2

33 pav. Atsparumo gniuždant esant + 20 °C temperatūrai – R_{20} , MPa ir atsparumo gniuždant esant + 50 °C temperatūrai – R_{50} , MPa sietis

koreliacijos koef. $R = 0,9639$, $T = -0,724831 + 6,43492 * R_{20}/R_{50} + 0,942801 * R_{20}/R_{50}^2$

Atlieku daugybinę regresinę analizę visų fizinių ir mechaninių rodiklių įtakai dangos funkcionavimo trukmei nustatyti.



34 pav. Asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių įtaka kelio dangos eksploatacinei trukmei
 $R = 0,9225$, $T = 41,0218 - 0,155963 * R_{50} - 1,53698 * R_{20} + 1,5259 * R_V - 30,625 * K_V + 1,05156 * W$

Atlikus daugybinę regresinę analizę visų fizinių ir mechaninių rodiklių įtakai dangos funkcionavimo trukmei nustatyti, matome kad didžiausią svorį nulemiant kelio dangos funkcionavimo trukmę turi K_V – atsparumo vandens poveikiui koeficientas. Atliktų porinių bei daugybinių regresijų analizių rezultatai pateikti 3.3 lentelėje.

3.3 Regresinių analizių rezultatai

Koreliacijos

koef.

Priklausomybė

$$0,77 \quad T = 8,21619 + 0,194798 * R_{50}$$

$$0,88 \quad T = 11,0439 - 30,3453 / R_{20}$$

$$0,73 \quad T = 1 / (0,0240406 + 0,0772576 / K_V)$$

$$0,77 \quad T = 8,21619 + 0,194798 * R_V$$

$$0,90 \quad T = 7,81492 + 2,88595 * W$$

$$0,96 \quad T = -0,724831 + 6,43492 * R_{20}/R_{50} + 0,942801 * R_{20}/R_{50}^2$$

$$0,92 \quad T = 41,0218 - 0,155963 * R_{50} - 1,53698 * R_{20} + 1,5259 * R_V - 30,625 * K_V + 1,05156 * W$$

3.2 Asfaltbetonio mišinių fizinių ir mechaninių rodiklių nustatymas bei jiems keliami reikalavimai

Fiziniai ir mechaniniai asfaltbetonio mišinio rodikliai buvo nustatyti laboratorijoje. Pastovumas, kN (LST 1362.16: 1995), dabar nustatomas pagal (LST EN 12697-34:2004). Plastiškumas, mm (LST 1362.16: 1995), dabar nustatomas pagal (LST EN 12697-34:2004). Liekamasis akytumas, % (LST 1362.15: 1995), dabar nustatomas pagal (LST EN 12697-8:2003). Mišinio 0/11 S-M pavyzdžiai paimti iš 1999- 2002 metais kelyje Vilnius – Kaunas – Klaipėda remontuotų ruožų.

Tyrimų atlikimo metodika

Kad nustatyti asfaltbetonio fizines ir mechanines savybes: pastovumą - P, plastiškumą - PI, liekamąjį akytumą L.A. pagal Maršalą, bei tankį ρ , gaminami vieno pavyzdžio 3 bandiniai. Pakaitintas iki +130 - +140 °C asfaltbetonio mišinys supilamas į pakaitintą formą (< +150 °C) ir sutankinamas specialiu Maršalo sutankinimo prietaisu .

Asfaltbetonio pastovumas ir plastiškumas nustatomas pagal pasipriešinimo mechaniniam poveikiui parametą vertes.

Pastovumui ir plastiškumui nustatyti naudojamas gniuždymo jėgos ir deformacijos užrašymo įrenginys: įjungus Maršalo prietaisą, bandinys deformuojamas 50 mm/min +/- 3 mm/min greičiu tol, kol pasiekama didžiausia gniuždymo jėga. Tada deformacijų matavimo rodytuvo sraigtas sulaikomas ir fiksuojamas rodmuo .

Bandymo didžiausia gniuždymo jėga išmatuojama 0,1 kN tikslumu. Ji yra nepakoreguotas pastovumo rodiklis pagal Maršalą.

Deformacijų matavimo rodytuvo rodmenys fiksuojami 0,1 tikslumu. Skirtumas tarp rodytuvo rodmenų prieš bandinio gniuždymą ir po gniuždymo yra plastiškumas pagal Maršalą.

Kiekvieno bandinio pastovumas pagal Maršalą apskaičiuojamas taip:

Pastovumas pagal Maršalą - tai didžiausia gniuždymo jėga, padauginta iš koregavimo koeficiento [7]. Koregavimo koeficientas priklauso nuo bandinio aukščio.

Pastovumas ir plastiškumas pagal Maršalą nustatomas kaip aritmetinis trijų rezultatų vidurkis.

Liekamasis sutankintų asfaltbetonio mišinių akytumas procentais apskaičiuojamas pagal formulę:

$$A = (\rho_{R,bit} - \rho_A) / \rho_{R,bit} * 100\%$$

čia : $\rho_{R,bit}$ – asfaltbetonio mišinio vidutinis tankis (g/cm^3);

ρ_A – vidutinis asfaltbetonio tankis (g/cm^3).

čia: m - piknometro su antdėklu masė, gramais;

m - piknometro su bandiniu ir antdėklu masė, gramais;

m - piknometro su bandiniu, bandymo skysčių ir antdėklu masė, gramais;

V - piknometro tūris iki matavimo žymos, cm^3 ;

ρ_L - bandymo temperatūros, bandymo skysčio tankis, g/cm^3 .

Vienam pavyzdžiui reikalingi du bandiniai.

Vidutinis asfaltbetonio tankis apskaičiuojamas formule :

$$\rho = \frac{m_0}{\frac{m_5 - m_4}{\rho_{H_2O}}},$$

čia: m_0 - sauso bandinio masė, gramais;

m_4 - vandenyje laikyto bandinio masė vandenyje, gramais;

m_5 - vandenyje laikyto bandinio masė ore, gramais;

ρ_{H_2O} - bandymo temperatūros vandens tankis, g/cm^3 .

Asfaltbetonio mišinių sutankinimo laipsnis k yra asfaltbetonio iškartų vidutinio tankio ρ_A ir bandinių, pagamintų pagal standartinį Maršalo metodą, to pačio asfaltbetonio mišinio vidutinio tankio ρ_A santykis:

$$k = \rho_A / \rho'_A * 100\%,$$

čia: ρ'_A - vidutinis asfaltbetonio iškartos tankis (g/cm^3); ρ_A - vidutinis asfaltbetonio tankis (g/cm^3).

Reikalavimai asfaltbetonio dangos mišinių fizinių ir mechaninių rodikliams pateikti statybos rekomendacijose R 35-01 – automobiliu keliu asfaltbetonio ir zvyro dangos. Asfaltbetonio mišinio 0/11 S-M fiziniams ir mechaniniams rodikliams pateikiami šie reikalavimai:

- Maršalo bandinio liekamasis akytumas, tūrio % - (2.....4);
- Pastovumo ir plastiškumo santykis, kN - $\geq 1,75$

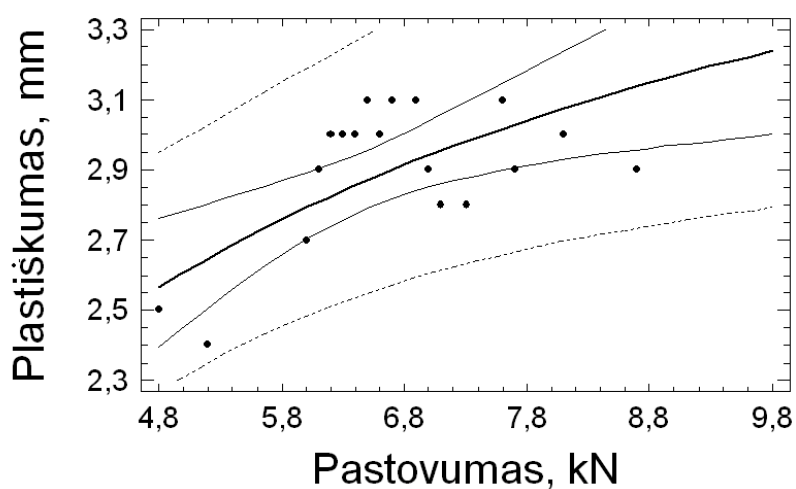
Nustatau asfaltbetonio 0/11 S-M mišinių pagrindinių fizinių ir mechaninių rodiklių tarpusavio sietį. Priklausomybių analize atlieku atlieku naudojant statistinį paketą “Statgraphics 5.1 plus”. Fiziniai ir mecaniniai asfaltbetonio mišinio rodikliai buvo nustatyti VI “Problematika” bandymų

laboratorijoje, mišinio 0/11 S-M pavyzdžiai paimti iš 1999-2002 metais kelyje Vilnius – Kaunas – Klaipėda remontuojamų ruožų. Laboratorinių bandymų rezultatai pateikti 6 priede

3.4 lentelė fizinių ir mechaninių rodiklių statistinės vertės

	Pastovumas	Plastiskumas	Akytumas
Imtis	535	535	535
VIDURKIS	6,85	4,07	2,79
NUOKRYPIS	0,74	0,60	0,69
STANDARTINĖ PAKLaida	0,86	0,78	0,84
MINIMUMAS	4,8	2,1	1,2
MAKSIMUMAS	13,0	5,9	10,1
IMTIES PLOTIS	8,2	3,8	8,9
ASIMETRIJA	11,39	-3,80	16,06
EKSCESAS	23,99	-0,40	50,88

Porinė paprastoji regresinė analizė



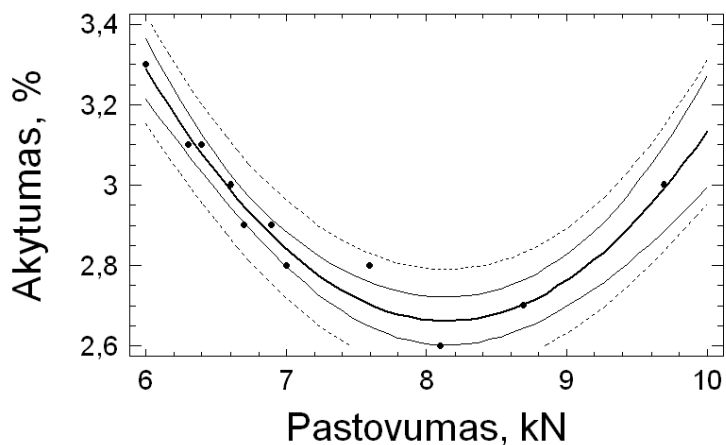
X	Y
4,8	2,5
5,2	2,4
6,0	2,7
6,1	2,9
6,2	3,0
6,3	3,0
6,4	3,0
6,5	3,1
6,6	3,0
6,7	3,1
6,9	3,1
7,0	2,9
7,1	2,8
7,3	2,8
7,6	3,1
7,7	2,9
8,1	3,0
8,7	2,9

35 pav. Pastovumo, kN ir plastiškumo, mm sietis

Regresinės analizės modelis $Y = 1/(a + b/X)$ $R=0,665616$

$$PLAST = 1/(0,23059 + 0,765145/PAST)$$

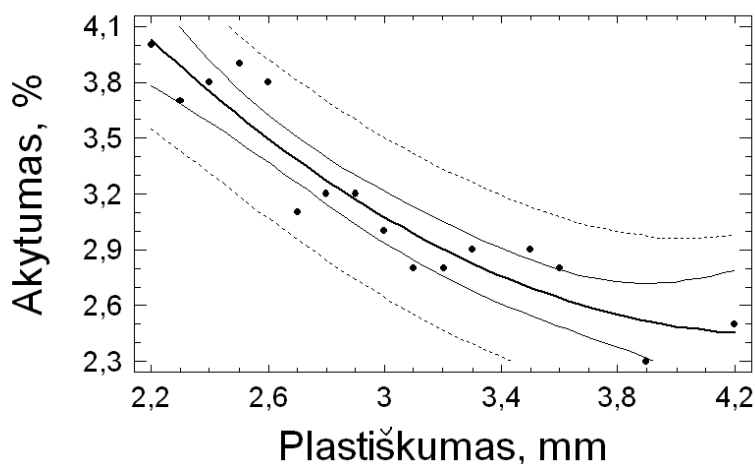
Porinė polinominė regresinė analizė



X	Y
6,0	3,3
6,3	3,1
6,4	3,1
6,6	3,0
6,7	2,9
6,9	2,9
7,0	2,8
7,6	2,8
8,1	2,6
8,7	2,7
9,7	3,0

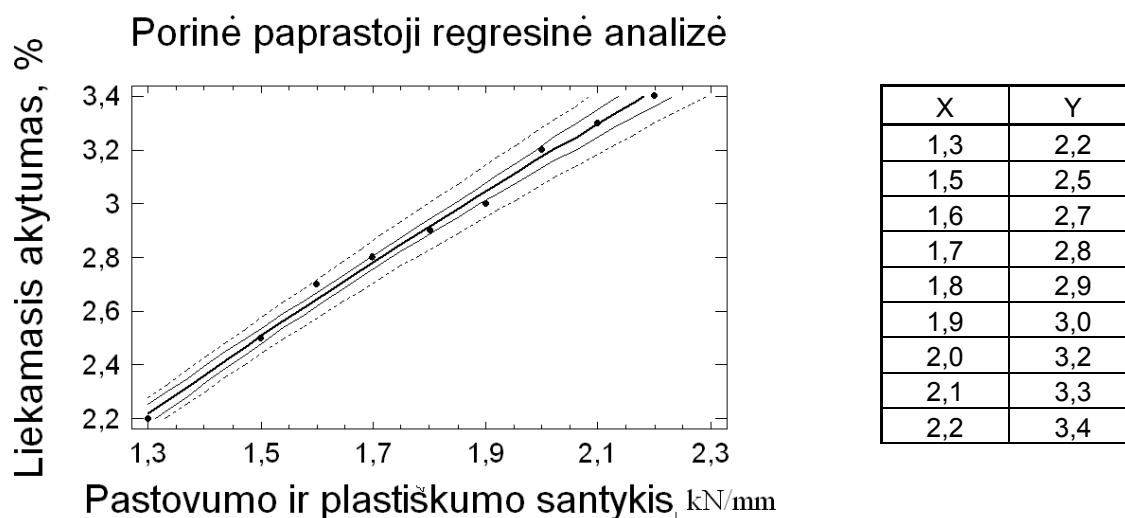
36 pav. Porinė polinominė regresinė analizė: Pastovumas, kN – Plastiškumas, mm
 $R=0,97544$, $AKYT = 11,7234 - 2,22577 * PAST + 0,136678 * PAST^2$

Porinė polinominė regresinė analizė



X	Y
2,2	4,0
2,3	3,7
2,4	3,8
2,5	3,9
2,6	3,8
2,7	3,1
2,8	3,2
2,9	3,2
3,0	3,0
3,1	2,8
3,2	2,8
3,3	2,9
3,5	2,9
3,6	2,8
3,9	2,3
4,2	2,5

37 pav. Porinė polinominė regresinė analizė: Liekamasis akytumas, tūrio % – Plastiškumas, mm
 $R=0,94159$, $AKYT = 8,89148 - 2,95486 * PLAST + 0,338529 * PLAST^2$



38. pav. Porinė paprastoji regresinė analizė: Liekamasis akytumas, tūrio % – Pastovumo ir plastiškumo santykis, kN/mm

Regresinės analizės modelis $Y = 1/(a + b/X)$, $R = 0,997158$

$$A = 1/(0,0625319 + 0,505078/PA/PL)$$

3.4 Regresinių, fizmechaninių rodiklių tarpusavio sieties, analizių rezultatai

Koreliacijos

koef.

Priklausomybė

0,67	$PLAST = 1/(0,23059 + 0,765145/PAST)$
0,98	$AKYT = 11,7234 - 2,22577 * PAST + 0,136678 * PAST^2$
0,94	$AKYT = 8,89148 - 2,95486 * PLAST + 0,338529 * PLAST^2$
0,99	$A = 1/(0,0625319 + 0,505078/PA/PL)$

Atlikus pagrindinių fizinių ir mechaninių rodiklių tarpusavio sieties regresinę analizę kad geriausia sietis yra tarp akytumo, tūrio% ir pastovumo ir plastiškumo santykio, kN/mm. Šias gautas priklausomybes bus galima panaudoti šiuos rodiklius norminant.

3.3 Dangos asfaltbetonio fizinių – mechaninių rodiklių įtakos kelio dangos lygumui tyrimas

Pagrindinis kelio eksploatacinis rodiklis įtakojantis dangos eksploatavimo trukmę yra kelio dangos lygumas. Dangos lygumas priklauso nuo kelio konstrukcijos stiprumo, o taip pat – nuo asfaltbetonio sudėties, struktūros fizinių ir mechaninių ir kitų rodiklių. Šiame skyriuje analizuojami fizinių ir mechaninių rodikliai įtaką kelio dangos lygumo degradacijai ΔY_{IRI} , m/km per metus. Fiziniai ir mechaniniai asfaltbetonio mišinio rodikliai buvo nustatyti VI „Problematika“ bandymų laboratorijoje, mišinio 0/11 S-M pavyzdžiai paimti iš 1999-2002 metais kelyje Vilnius – Kaunas – Klaipėda remontuojamų ruožų. Laboratorinių bandymų rezultatai pateikti 6 priede. Lygumo matavimai atlikti 200, 2002 ir 2004 metais lazeriniu profilografu Dynatest 5051 RSP, matavimus atliko Transporto ir kelių tyrimo institutas. Lygumo matavimai pateikti 3 priede.

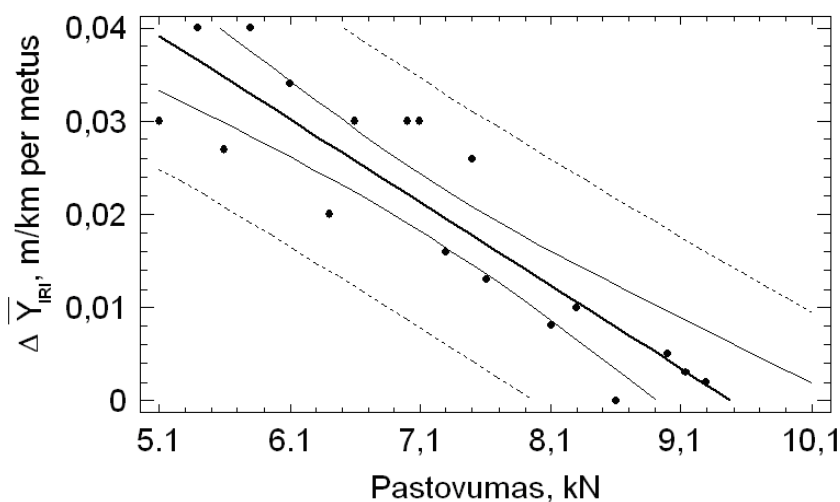
Pagrindiniai duomenų imties statistiniai rodikliai pateikti 3.5 lentelėje.

3.5 lentelė. Suvetinė dangos fizinių ir mechaninių rodiklių bei dangos degradacijos per metus statistika

	Pastovumas	Plastiskumas	Akytumas	ΔY_{IRI}
Imtis	535	535	535	535
VIDURKIS	6,85	4,07	2,79	0,05
NUOKRYPIS	0,74	0,60	0,69	0,02
STANDARTINĖ PAKLAIDA	0,86	0,78	0,84	0,14
MINIMUMAS	4,8	2,1	1,2	-0,515
MAKSIMUMAS	13,0	5,9	10,1	0,795
IMTIES PLOTIS	8,2	3,8	8,9	1,31
ASIMETRIJA	11,39	-3,80	16,06	12,79
EKSCESAS	23,99	-0,40	50,88	27,35

Priklausomybių tarp dangos fizinių ir mechaninių rodiklių ir dangos lygumo degradacijos ΔY_{IRI} analizę atlieku atliekama naudojant statistinį paketą „Statgraphics 5.1 plus”.

Porinė paprastoji regresinė analizė



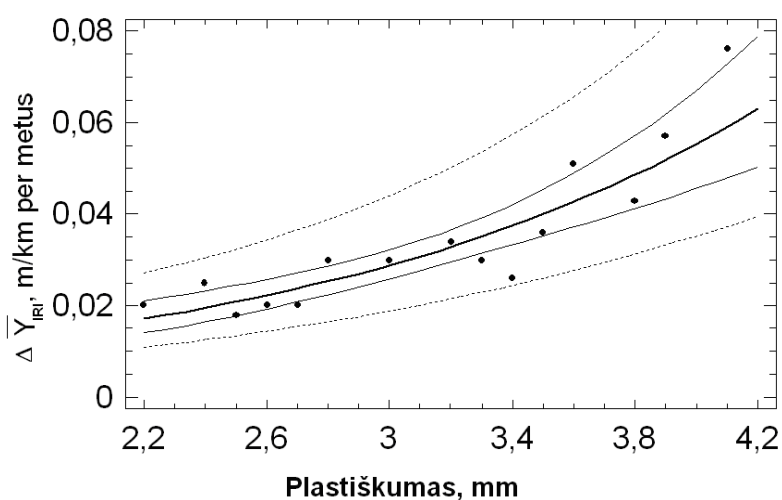
X	Y
5,1	0,03
5,4	0,04
5,6	0,03
5,8	0,04
6,4	0,02
6,6	0,03
7,0	0,03
7,1	0,03
8,6	0,00
9,3	0,00
6,1	0,03
7,3	0,02
7,5	0,03
7,6	0,01
8,1	0,01
8,3	0,01
9,0	0,01

39 pav. Pastovumo, kN įtaka kelio dangos lygumo degradacijai, ΔY_{IRI} , m/km per metus

Regresinės analizės modelis $Y = a + b \cdot X$, $R = -0,893669$

$$\Delta Y_{IRI} = 0,0849428 - 0,00896545 \cdot \text{Pastovumas}$$

Porinė paprastoji regresinė analizė



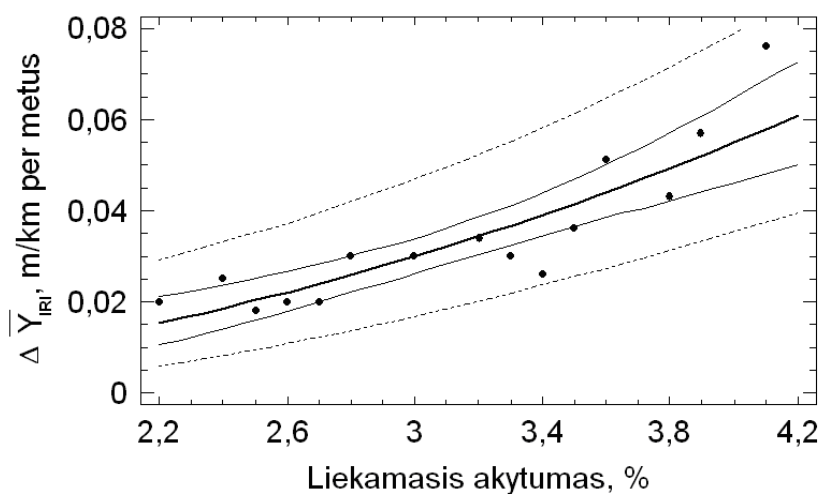
X	Y
2,2	0,02
2,4	0,03
2,5	0,02
2,6	0,02
2,7	0,02
2,8	0,03
3,0	0,03
3,2	0,03
3,3	0,03
3,5	0,04
3,6	0,05
3,8	0,04
4,1	0,08
3,4	0,03
3,9	0,06

40 pav. Plastiškumo, mm įtaka dangos lygumo degradacijai ΔY_{IRI} , m/km per metus

Regresinės analizės modelis $Y = \exp(a + b \cdot X)$, $R = 0,902294$

$$\Delta Y_{IRI} = \exp(-5,49771 + 0,650783 \cdot \text{Plastiškumas})$$

Porinė paprastoji regresinė analizė



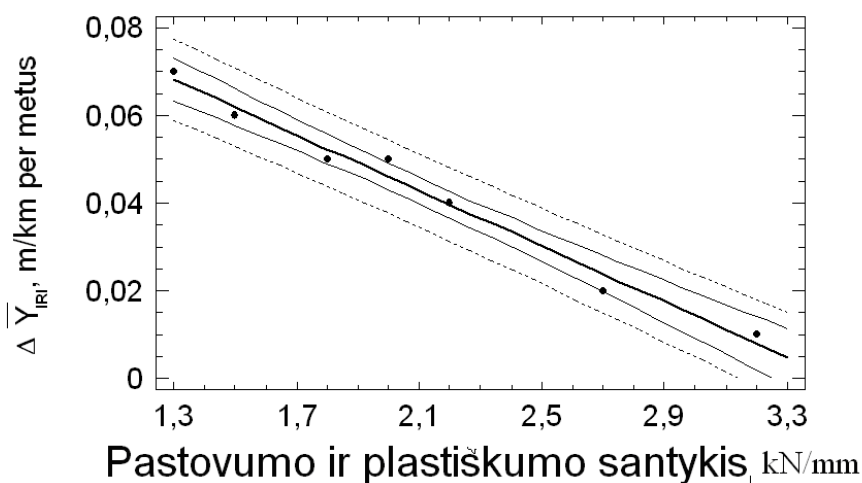
X	Y
2,0	0,05
2,2	0,05
2,4	0,03
2,6	0,03
2,7	0,02
2,8	0,04
3,0	0,02
3,1	0,04
3,2	0,03
3,3	0,03
3,4	0,01
3,5	0,02
3,8	0,03
4,0	0,02
4,3	0,01
4,6	0,01
4,8	0,00
5,0	0,00
2,5	0,04

41 pav. Liekamojo aktyumo įtaka dangos lygumo degradacijai ΔY_{IRI} , m/km per metus

Regresinės analizės modelis $Y = (a + b * X)^2$, $R=0,887287$,

$$\Delta Y_{IRI} = (-0,0111013 + 0,061405 * \text{Akytumas})^2$$

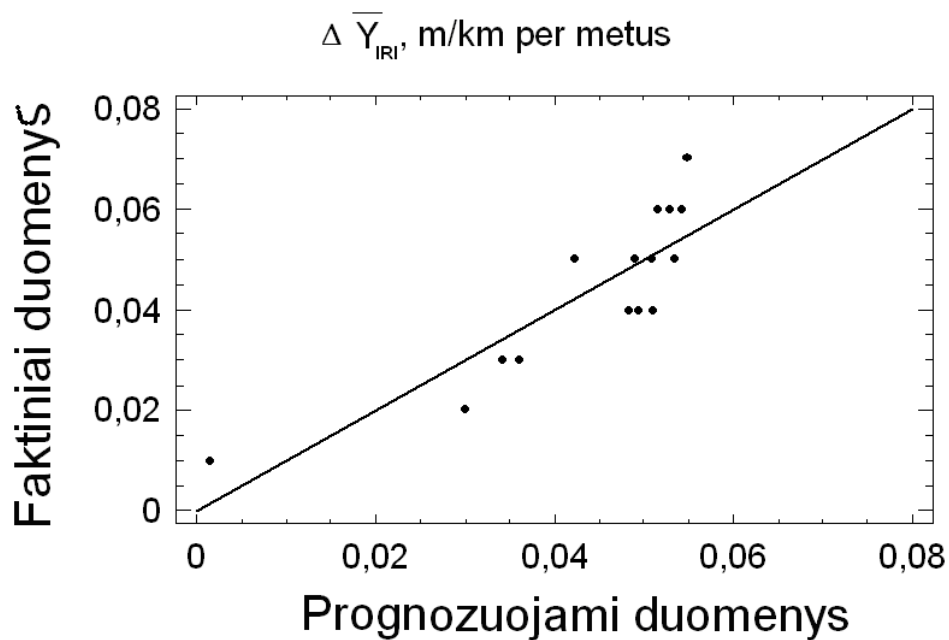
Porinė paprastoji regresinė analizė



42 pav. Pastovumo ir plastiškumo santykio, kN/mm įtaka dangos lygumo degradacijai ΔY_{IRI} , m/km per metus

Regresinės analizės modelis $Y = a + b * X$, $R=-0,991402$,

$$\Delta Y_{IRI} = 0,109462 - 0,0317164 * \text{PA/PL}$$



43. pav. Kelio dangos fizinių ir mechaninių rodiklių įtakos kelio dangos lygumo degradacijai daugybinės regresinės analizės grafikas

$R = 0,861$

$$\Delta Y_{IRI} = 0,0379397 + 0,0465704 * A - 0,066721 * plpa$$

Atlikę dangos fizinių ir mechaninių rodiklių įtakos kelio dangos lygumo kitimui nustatėme kad daugiausia lygumas priklauso nuo pastovumo ir plastiškumo santykio. Taip pat nustatyta kad didėjant pastovumo vertėms kelio dangos degradacija mažėja o didėjant plastiškumui ir akytumui ji auga.. Atlikus dangos lygumo kitimą eksploatuojant kelią nustatyta kad vidutinė lygumo pagal IRI vertė eksploatacijos pradžioje lygi 0,94 m/km Gautas sietis bus panaudotos norminant fizinius ir mechaninius rodiklius.

3,6 Dangos fizmechaninių roiklių įtaka kelio dangos lygumo degradacijai

Koreliacijos

koef.

Priklausomybė

0,89	$\Delta Y_{IRI} = 0,0849428 - 0,00896545 * \text{Pastovumas}$
0,90	$\Delta Y_{IRI} = \exp(-5,49771 + 0,650783 * \text{Plastiškumas})$
0,89	$\Delta Y_{IRI} = (-0,0111013 + 0,061405 * \text{Akytumas})^2$
0,99	$\Delta Y_{IRI} = 0,109462 - 0,0317164 * PA/PL$
0,86	$\Delta Y_{IRI} = 0,0379397 + 0,0465704 * A - 0,066721 * plpa$

3.4 Trečiojo skyriaus išvados

Atlikus, kelyje Vilnius – Kaunas – Klaipėda, tirtų rodiklių statistinę analizę bei tarp jų esančias koreliacines regresines priklausomybes, galima padaryti šias išvadas:

1. Vidutinė Vilniaus – Kauno – Klaipėdos kelio dangos funkcionavimo trukmė lygi 11,7 metai;
2. Atlikus daugybinę regresinę analizę, visų fizinių ir mechaninių rodiklių įtakai dangos funkcionavimo trukmei nustatyti, matome kad didžiausią svorį nulemiant kelio dangos funkcionavimo trukmę turi K_V – atsparumo vandens poveikiui koeficientas;
3. Atlikus pagrindinių fizinių ir mechaninių rodiklių tarpusavio sieties regresinę analizę paaiškėjo kad geriausia sietis yra tarp akytumo, tūrio% ir pastovumo ir plastiškumo santykio, kN/mm;
4. Atlikę dangos fizinių ir mechaninių rodiklių įtakos kelio dangos lygumo kitimui nustatėme kad daugiausia lygumas priklauso nuo pastovumo ir plastiškumo santykio;
5. Atlikus dangos lygumo kitimą eksploatuojant kelią nustatyta kad vidutinė lygumo pagal IRI vertė eksploatacijos pradžioje lygi 0,94 m/km;

4. PASIŪLYMAI ASFALTBETONIO FIZINIAMS IR MECHANINIAMS RODIKLIAMS SUNORMINTI

Tikslinant asfaltbetonio fizinių ar mechaninių rodiklių reikiamas vertes, būtina įrodyti, kad kiekvienas jų modeliuoja tam tikrą asfaltbetonio darbą dangoje. Jeigu du ar daugiau rodiklių modeliuoja vieną ir tą patį asfaltbetonio darbo dangoje ypatumą, reikia silpniau koreliuotų su dangos eksploatacinėmis savybėmis rodiklių visiškai atsisakyti, paliekant tik geriausiai jos darbo ypatumus atspindinčius rodiklius. Reikia atsisakyti ir nedubliuotų rodiklių, kurie silpnai modeliuoja tam tikro pobūdžio dangos darbą.

Tarptautinio lygumo vieneto IRI ribos eksploatuojamoms dangoms yra tokie: AM ir AI kategorijų keliams kai kelio dangos nelygumo vertinimas yra labai geras - ≤ 1 m/km, geras - 1-2 m/km, patenkinamas - 2 - 3 m/km, nepatenkinamas - ≥ 3 m/km. Atsižvelgdamas į reikalavimus keliamus eksploatuojamų dangų lygumui, priimu sugiežtintą ribinę lygumo pagal IRI vertę laiduojančią normalias kelio dangos eksploatacines savybes. $Y_{IRI} \leq 2,2$ m/km. Išanalizavęs turimus dangos lygumo matavimo duomenys nustačiau:

- vidutinę lygumo pagal IRI vertę kelio dangos eksploatacijos pradžioje - $Y_{IRI} = 0,94$ m/km
- vidutinę lygumo pagal IRI kitimo (degradacijos) per metus vertę - $\Delta Y_{IRI} = 0,05$ m/km per metus.

Nustačiau didžiausią lygumo pagal IRI kitimo (degradacijos) per metus vertę, kuriai esant priimta ribinė dangos lygumo pagal IRI vertė $Y_{IRI} = 2,2$ m/km bus pasiekta ne anksčiau kaip po gautos vidutinės dangos funkcionavimo trukmės - 11,75 metų - $\Delta Y_{IRI} = 0,11$ m/km per metus

Reikalavimai asfaltbetonio dangos mišinių fizinių ir mechaninių rodikliams pateikti statybos rekomendacijose R 35-01 – automobiliu keliu asfaltbetonio ir zvyro dangos. Asfaltbetonio mišinio 0/11 S-M fiziniams ir mechaniniams rodikliams pateikiami šie reikalavimai:

- Maršalo bandinio liekamasis akytumas, tūrio % - (2.....4);
- Pastovumo ir plastiškumo santykis, kN - $\geq 1,75$

Naudojant atliktų fizinių ir mechaninių rodiklių bandymų ir lygumo matavimų rezultatus bei jų tarpusavio koreliacinius ryšius sunorminau fizinių ir mechaninių rodiklių vertes, laiduojančias kad esant dangos lygumo degradacijai ($0,05 \leq \Delta Y_{IRI} \leq 0,11$) m/km per metus, priimta ribinė dangos lygumo pagal IRI vertė $Y_{IRI} = 2,2$ m/km bus pasiekta po $\geq 11,75$ dangos eksploatacijos metų. Duomenys naudoti rodiklių norminimui pateikti 7 priede, sunormintos

asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių vertės pateiktos 4.1 lentelėje.

4.1 lentelė. Sunormintų asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių vertės

Rodiklis	Leistina mažiausia	Leistina didžiausia	Leistinoji sklaida
	vertė, T_m	vertė, T_d	
Pastovumas, kN	4,3	8,8	4,5
Plastiškumas, mm	2,4	3,2	0,8
Pastovumo ir plastiškumo santykis, kN/mm	1,75	2,8	1,05
Liekamasis akytumas, tūrio %	3,0	4,5	1,5

Siekiant laiduoti asfaltbetonio dangos funkcionavimo trukmę, būtina laiduoti ir reikiamą asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių vienodumą, kurį galima išreikšti leistinąja sklaida δ , vidutinės vertės nuokrypiu nuo racionalios (projektinės) jo vertės Δ_{leist} bei komponentių leistiniu vidutiniu kvadratinu nuokrypiu σ_{leist} .

Rodiklio δ vertes galima nustatyti taip:

$$\delta = T_d - T_m, \quad (4.1)$$

čia: T_d ir T_m - asfaltbetonio komponentės kiekio didžiausia T_d ir mažiausia T_m leistinoji vertė

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

$$P(T_m < X < T_d) = F(t_2) - F(t_1) = F(t), \quad (4.2)$$

$$t_1 = \frac{(\Delta_{leist} + X_p) - T_m}{\sigma_{leist}}, \quad t_2 = \frac{T_d - (\Delta_{leist} + X_p)}{\sigma_{leist}}, \quad (4.3)$$

čia: $F(t)$ - Laplaso funkcija, kurios vertės nustatomos naudojantis matematinės statistikos lentelėmis;

X_p - projektinė (racionali) komponentės kiekio vertė, dažniausiai sutampanti su ribinių leistinių verčių aritmetiniu vidurkiu:

$$X_p = \frac{T_m + T_d}{2}. \quad (4.4)$$

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

$$\Delta_{leist} = \delta - 6 \sigma_{leist}, \quad \sigma_{leist} = \frac{\delta - \Delta_{leist}}{6}, \quad \Delta_{leist} = Z_p \sigma_{leist}, \quad (4.5)$$

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 pateiktos 4.2 lentelėje.

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

Rodiklių žymuo	Pastovumas, kN	Plastiškumas, mm	Pastovumo ir plastiškumo santykis, kN/mm	Liekamasis akytumas, % tūrio
δ	4,50	0,8	1,05	1,5
Δ_{leist}	0,51	0,09	0,12	0,17
σ_{leist}	0,75	0,13	0,175	0,25

Laiduojant asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių vienodumą nurodytose ribose, bus laiduota asfaltbetonio dangos funkcionavimo, veikiant ciklinei automobilių ratų apkrovai, trukmė $T \geq 11,7$ metų.

4.1 Ketvirtojo skyriaus išvados

Iš ketvirtojo skyriaus galima daryti šias išvadas:

1. Tikslinant asfaltbetonio fizinių ar mechaninių rodiklių reikiamas vertes, būtina įrodyti, kad kiekvienas jų modeliuoja tam tikrą asfaltbetonio darbą dangoje;
2. Siekiant laiduoti asfaltbetonio dangos funkcionavimo trukmę, būtina laiduoti ir reikiamą asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių vienodumą;
3. Laiduojant asfaltbetonio fizinių ir mechaninių rodiklių vienodumą nurodytose ribose, bus laiduota asfaltbetonio dangos funkcionavimo, veikiant ciklinei automobilių ratų apkrovai, trukmė $T \geq 11,7$ metų;
4. Gauti sunorminti asfaltbetonio dangos fiziniai ir mechaniniai rodikliai skiriasi nuo ribinių reikšmių pateiktų rekomendacijose., tačiau ištyrus jų įtaką kelio dangos lygumo kitimui.

BENDROSIOS IŠVADOS IR REKOMENDACIJOS

1. Svarbiausių Lietuvos magistralinių kelių su asfaltbetonio danga intensyvėjantis irimas rodo, kad išaugus sunkiųjų automobilių eismui, jų dangos konstrukcijos stipris yra nepakankamas. Defektai kelio dangos paviršiuje blogina eismo sąlygas: mažina važiavimo patogumą ir eismo saugumą, mažina transporto važiavimo greitį bei gadina automobilių važiuoklę. Dominuojantys suirimai yra temperatūros plyšiai ir nuovargio suirimai bei suirtys atsirandančios dėl kelių dangos nepakankamo stiprio. Plačiausiai Lietuvoje paplitęs kelių asfaltinės dangos taisymo būdas – jos regeneravimas;
2. Pagrindinis asfaltbetonio dangos funkcionavimo trukmę apibūdinantis rodiklis yra jos lygumas. Jis priklauso nuo dangos konstrukcijos stiprio ir nuo asfaltbetonio kokybės. Dangos paviršiaus lygumas paprastai charakterizuojamas "Tarptautiniu lygumo rodikliu" ("IRI"). Kiti dangos eksploataciją apspendžiantys eksploataciniai rodikliai yra dangos stipris, ratų su danga sukibimo koeficientas ir kt. Patogiausias rodiklis kelių dangos būklei vertinti – VGTU Kelių katedros pasiūlytas kelių dangos suirimo lygis D .
3. Atlikus, kelyje Vilnius – Kaunas – Klaipėda, tirtų rodiklių statistinę analizę bei tarp jų esančias koreliacines regresines priklausomybes, nustatyta:
 - vidutinė Vilniaus – Kauno – Klaipėdos kelio dangos funkcionavimo trukmė lygi 11,75 metai;
 - didžiausią svorį nulemiant kelio dangos funkcionavimo trukmę turi K_V – atsparumo vandens poveikiui koeficientas;
 - daugiausia lygumo degradacija priklauso nuo pastovumo ir plastiškumo bei nuo jų santykio;
 - didėjant pastovumo vertėms kelio dangos degradacija mažėja;
 - didėjant plastiškumui ir akytumui ji auga;
 - gauti sunorminti asfaltbetonio dangos fiziniai ir mechaniniai rodikliai skiriasi nuo ribinių reikšmių pateiktų rekomendacijose. Maršalo bandinio liekamas akytumas, tūrio % - esamos (2 – 4), gautos (3,0 – 4,5). Pastovumo ir plastiškumo santykis, kN/mm - esamos $\geq 1,75$, gautos (1,75 – 2,8)

Rekomendacijos asfaltbetonio dangos tarnavimo trukmei padidinti:

- geriau ištirti kelio dangos sudėties bei jos fizinių ir mechaninių rodiklių įtaką dangos eksploatacinėms savybėms ir funkcionavimo trukmei,
- asfaltbetonio gamybai naudoti kokybiškas, visus reikalavimus tenkinančias, medžiagas, tinkamai įrengti dangą ir laiku atlikti reikiamus jos priežiūros darbus,
- tinkamai pasinaudoti kitų šalių patirtimi, atsižvelgiant į sąlygas esančias Lietuvoje,
- užtikrinti griežtą darbų kokybės kontrolę,
- tobulinti kelių dangos eksploatacinių savybių nustatymo būdus bei jų vertinimo kriterijus,
- sugriežtinti ribinę lygumo pagal IRI vertę laiduojančią normalias kelio dangos eksploatacines savybes iki $Y_{IRI} \leq 2,2$ m/km, pasiekus šią ribą siūlau imtis priemonių kelio dangos lygumui pagerinti. Nustatyti minimalią dangos tarnavimo trukmę $T \geq 11,75$ metai. Taip būtų galima laiduoti geresnes kelio eksploatacines savybes visu dangos funkcionavimo laikotarpiu.
- sugriežtinti dabar galiojančias fizinių ir mechaninių rodiklių vertes. Siūlau tokias ribas:
 - Pastovumui, kN – (4,3 - 8,8)
 - Plastiškumui, mm – (2,4 – 3,2)
 - Maršalo bandinio liekamasis akytumui, tūrio % - (3,0 – 4,5)
 - Pastovumo ir plastiškumo santykis, kN/mm – (1,75 – 2,8)Nustatytos ribos laiduoja : esant dangos lygumo degradacijai ($0,05 \leq \Delta Y_{IRI} \leq 0,11$) m/km per metus, priimta ribinė dangos lygumo pagal IRI vertė $Y_{IRI} = 2,2$ m/km bus pasiekta po $\geq 11,75$ dangos eksploatacijos metų.

LITERATŪRA

1. Lietuvos Respublikos kelių įstatymas. Valstybės žinios, 1995, Nr. 44-1076, 3 str.
2. Lietuvos automobilių kelių direkcijos interneto svetainė <http://www.lra.lt>. 2005 m.
3. K. AKROMAS, A. BRUŽAS ir kt. Vilniaus – Kauno – Klaipėdos Automagistralė. Kaunas. AB “Kelprojektas”, 1997. 127p.
4. R. JAZBUTIS, A. DOMANTAS. Automagistralės A1 plėtra bus tęsiama / Lietuvos keliai 2004/2 Vilnius p. 14-18.
5. „IXB transporto koridoriaus Klaipėdos-Vilnius-Minskas plėtros programa 2000-2020 metams“ ruošiamas pagal Lietuvos automobilių kelių direkcijos ir VĮ „Transporto ir kelių tyrimo instituto“ sutartį Nr.2/03-11, sudarytą 2000 m. 9 p.
6. V. PUODŽIUKAS. Asfaltbetonio dangų būklės tyrimai ir stiprinimo poreikis Lietuvos keliuose. Daktaro disertacija: technikos mokslai, statyba (7J). Vilnius, 1999. 115 p.
7. КЕЙРОС Ц. Техничко экономические проблемы ремонта и содержания автомобильных дорог / Перевод санлтского языка и редакция В. Ф. Бабкова. 1995. 57 с.
8. Kelių fondo pagrindimas 1999 metams / TKTI tyrimo darbo "Kelių priežiūros ir dangų valdymo sistemos kūrimas ir panaudojimas Kelių fondo lėšų pagrindimui ir paskirstymui". tarpinė ataskaita. Tomas 2. Kaunas, 1999. 51 p.
9. E. Palšaitis, K. Sakalauskas, L. Vidugiris. „Kelių eksploatacija“ Vilnius „mokslas“ 1990m. 37p.
10. „Kelių priežiūros vadovas“ pirmoji dalis „KPV PN-01“. Patvirtinta įsakymu Nr. 485 2001m. gruodžio 29d. 1p.
11. БАХРАХ Г.С., ГОРЛИНА Г.С. Проблема регенерации автомобильных покрытий / Автомоб дороги. 1981. но. 9. С. 17-20.
12. ŽSN “ Kelių asfaltbetonio dangų įrengimo regeneravimo būdu” instrukcijos sk.
13. A. PAKALNIS, M. DIMAITIS. Kelio dangos lygumo vertinimas Lietuvoje/ Lietuvos keliai. 2001/02. Vilnius 2001 P. 52-56.
14. „Kelio dangų (pagrindų) lygumo matavimo atmintinė“ „Lietuvos automobilių kelių direkcija“ paruošė inž. S. Pratusėvičius Vilnius 1999m. 2p.
15. Dynatest 8000 FWD „Test system owner’s manual“ 1995.06.17.

16. G. JAZDAUSKAS. Deflektometro naudojimas kelių dangų tyrimams/ Lietuvos keliai 2001/1. Vilnius 2001 P. 56-59.
17. A. JUODIS. Radaro metodas kelių tyrimuose/ Lietuvos keliai. 2001/1. Vilnius, 2001. P. 27-29.
18. K. PETKEVIČIUS, A. LAURINAVIČIUS. Racionalių tarpremontinių periodų nustatymas ir pagrindimas eksploatuojamiems automobilių keliams / Mokslo tyrimo darbo ataskaita. Vilnius, 1997. 120 p.
19. K. PETKEVIČIUS. Lietuvos automagistralių asfaltbetonio dangos patikimumas // Statyba ir architektūra. 1999. Nr. 7-8. P. 40-41.
20. ПЕТКЯВИЧЮС К. Нормирование однородности дорожного асфальтбетона // Новая техника и технология в строительстве автомобильных дорог: Матерю республ. научно – техн. конф. ”Пути повышения тспользования новой техники и технологии в строительстве”, 3-5 февраль 1988 г. Вильнюс, 1988. С. 23-26.
21. SAYERS M., GILLESPIE T., QUEIROZ C. The International Road Roughness Experiment. World Babk Technical Paper Number 45. Washington, 1986.
22. Techninių reikalavimų reglamentas STR 2,06,03:2001. Automobilių keliai. Pirmasis leidimas. Vilnius, 2001. 80 p.
23. СИДЕНКО В. М., МИХОВИЧ С.И. Эксплуатация автомобильных дорог. Москва: Транспорт, 1976. 288 с.
24. НЕМЧИКОВ М.С. Сцепные качества дорожных покрытий и безопасность движения автомобилей. Москва: Транспорт, 1985. 231 с.
25. БАКАЕВ А.В. ВИЗГАЛОВ Е.В. КРЯХОВ В.В. О необходимости учета влияния различных трещин на величину упругого прогиба нежестких дорожных одежд // Повышение эксплуатационной надежности автомобильных дорог: Тр. ГипродорНИИ. 1980. Вып. 30. С. 81-88.
26. ВАСИЛЬЕВ А.П., СИДЕНКО В.М. Эксплоатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. Москва Транспорт, 1990. 304 с.
27. Усилие нежестких дорожных одежд / О.Т.Батраков, Н.А.Медведкова, В.П.Плевако, В.Н.Ряпухин. Москва Транспорт, 1985. 144 с.
28. АБДУРАХМАНОВ Ю.П. Исследование метода оценки прочности нежестких дорожных одежд установкой динамического нагружения с передачей усилия через колеса на пневмошинах УДН-НК . Автореф.дис. ... канд.техн.наук 05.23.14. Москва, 1982. 17 с.

29. КОГАНЗОН М.С. , ЯКОВЛЕВ Ю.М. Работоспособность дорожных одежд нежесткого типа Учебное пособие для вузов /МАДИ. Москва, 1985. 51 с.
30. SCAZZIGA J. Die langzeitbeobachtung ausgewahlter Strassenabshhnitte Strasse und Verkehr. 1974. 60. No 12. S. 606-610.
31. Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа ВСН 46-83 /Минтрансстрой СССР. М.: Транспорт, 1985. 157 с.
32. ЩЕРБАКОВ И.М. Исследование и учет структурно-механических характеристик асфальтобетона при назначении конструкций дорожных одежд (на примере юга УССР). Автореф.дис....канд.техн.наук: 05.22.03. Балашиха, 1979. 23с.
33. КИРЮХИН Г. Исследование влияния качества битумов на работоспособность асфальтобетонных покрытий. Автореф.дис....канд.техн.наук: 05.23.14. М., 1982. 21 с.
34. ПЕТКЕВИЧИОС К. Контроль и регулирование технологического процесса приготовления асфальтобетонных смесей. Дис. ... канд.техн.наук: 05.23.14. Вильнюс, 1986. 334 с.
35. ПЕТКЕВИЧИОС К.Н. Нормирование однородности дорожного асфальтобетона // Новая техника и технология в строительстве автомобильных дорог: Матер.республ.научно-техн.конф. „Пути повышения использования новой техники и технологии в строительстве“, 3-5 февр. 1988 г. Вильнюс, 1988. с. 23-26.

PRIEDAI

1. PRIEDAS

Kelio dangos lygumo nustatymo pavyzdys.

LYG	A1	2	2	141.9	2002.09.23	DYNATEST 5051
RSP						
141.95	1.18	1				
142	0.95	0.76				
142.05	0.9	0.8				
142.1	1.07	0.85				
142.15	1.06	0.9				
142.2	0.86	0.92				
142.25	1.31	1.13				
142.3	1.33	1.28				
142.35	1.3	1.73				
142.4	1.32	1.29				
142.45	0.9	1.15				
142.5	1.5	1.59				
142.55	1.27	1.43				
142.6	1.13	0.99				
142.65	1.26	1.07				
142.7	1.08	1.01				
142.75	1.33	1.41				
142.8	0.67	0.98				
142.85	0.95	1.19				
142.9	1.22	1.43				
142.95	1.19	1.7				
143	0.88	1.34				
143.05	0.85	1				
143.1	0.94	1.31				
143.15	1.21	1.47				
143.2	0.86	0.9				
143.25	0.69	0.97				
143.3	0.93	0.96				
143.35	0.82	0.93				
143.4	1.63	1.15				
143.45	0.98	1.16				
143.5	0.85	1.1				
143.55	1.1	0.99				
143.6	1.76	1.57				
143.65	1.17	0.99				
143.7	1.07	1.27				
143.75	0.83	1.17				
143.8	0.97	0.97				
143.85	1.09	1.17				
143.9	0.93	0.86				
143.95	1.27	1.17				
144	1.11	1.15				
144.05	1.23	1.43				
144.1	1.6	1.51				

2. PRIEDAS

Dangos stiprio matavimų pavyzdys, matuojant įlinkį krintančio svorio deflektometru DYNATEST 8000 FWD

Apskaičiuotos deformacijos modulių reikšmės kelio A1 Vilnius – Kaunas – Klaipėda ruože

50.00 – 51.90 km (kairė pusė) 2003 birželio 24 dieną

Atstumas, km	Žemės sankasos iš šalčiui jautrių gruntų Ev2, MPa	Pagrindo sluoksnis Ev2, MPa
50.00	95	186
50.05	82	196
50.10	102	197
50.15	92	181
50.20	132	179
50.25	117	204
50.30	131	224
50.35	110	199
50.40	97	192
50.45	75	194
50.50	108	197
50.55	112	191
50.60	98	183
50.65	83	191
50.70	87	169
50.75	95	211
50.80	98	180
50.85	103	189
50.90	95	184
50.95	98	192
51.00	100	192
51.05	99	187
51.10	101	178
51.15	98	199
51.20	92	182
51.25	74	184
51.30	96	182
51.35	94	196
51.40	107	150
51.45	134	205
51.50	110	213
51.55	71	192
51.60	79	180
51.65	66	196
51.70	75	197

3. PRIEDAS

Sukibimo matavimo pavyzdys.

Kelias A1 Vilnius - Kaunas - Klaipėda 69.90 - 70.30 km (3-4 juostos)

Matavimo data: **1999.10.20**

Kilometražas, km	Sukibimo koeficientas	
	3 juosta	4 juosta
69,90	0,40	0,39
70,00	0,49	0,48
70,10	0,43	0,44
70,20	0,42	0,42
70,30	0,43	0,41
Vidurkis	0,43	0,43
Bendras ruožo vidurkis		0,43

4. PRIEDAS

Kelio dangos funkcionavimo trukmės nustatymas kelyje A1

RUOŽO PRADŽIA	RUOŽO PABAIGA	2 REMONTO METAİ	1 REMONTO METAİ	T, metai	PUSE
11,90	15,20	2002	1993	9	k.p.
15,00	16,30	2002	1994	8	d.p.
17,60	19,00	2002	1994	8	d.p.
18,99	20,00	1997	1992	5	k.p.
19,00	22,00	2003	1994	9	d.p.
20,18	21,75	1999	1993	6	k.p.
21,75	29,00	2003	1993	10	k.p.
22,81	24,06	1997	1985	12	d.p.
29,00	34,04	2002	1992	10	k.p.
32,90	34,00	1995	1985	10	d.p.
38,40	45,05	1999	1992	7	k.p.
45,05	46,20	2001	1987	14	k.p.
46,00	48,00	2003	1993	10	d.p.
46,20	50,00	2001	1992	9	k.p.
48,00	53,10	2002	1986	16	d.p.
50,00	51,90	2004	1993	11	k.p.
53,10	60,00	1996	1986	10	d.p.
57,24	60,60	2001	1992	9	k.p.
60,05	65,40	2002	1991	11	d.p.
60,60	63,38	2001	1990	11	k.p.
64,53	67,70	2004	1993	11	k.p.
67,70	69,40	2004	1984	20	k.p.
70,31	73,00	2001	1984	17	k.p.
76,10	81,00	1999	1985	14	d.p.
81,00	83,50	2001	1990	11	k.p.
81,13	82,60	2004	1990	14	d.p.
82,60	85,20	2004	1996	8	d.p.
83,50	84,80	2001	1983	18	k.p.
84,80	86,00	2001	1984	17	k.p.
85,20	87,40	2003	1986	17	d.p.
87,40	89,40	2003	1989	14	d.p.
91,00	91,80	2002	1979	23	k.p.
91,00	96,40	2004	1995	9	d.p.
91,80	93,98	2004	1994	10	k.p.
94,00	96,40	2000	1978	22	k.p.
96,40	97,50	2004	1990	14	d.p.
97,50	103,30	2002	1990	12	d.p.
97,60	103,50	2001	1990	11	k.p.
103,55	107,20	2002	1991	11	k.p.
108,00	112,20	1999	1995	4	k.p.
113,44	116,90	2002	1995	7	d.p.
116,90	118,00	2003	1998	5	d.p.
117,27	120,90	2001	1991	10	k.p.
118,00	122,30	2002	1985	17	d.p.
120,90	126,00	2001	1994	7	k.p.

4. PRIEDAS

RUOŽO PRADŽIA	RUOŽO PABAIGA	2 REMONTA METAİ	1 REMONTA METAİ	T, metai	PUSE
129,50	132,00	2003	1986	17	k.p.
134,00	137,50	2003	1988	15	d.p.
136,30	141,90	1999	1989	10	k.p.
137,50	141,00	2001	1989	12	d.p.
141,90	144,10	2002	1987	15	k.p.
143,00	145,30	2003	1987	16	d.p.
144,10	148,00	2003	1987	16	k.p.
145,30	152,20	2002	1987	15	d.p.
152,00	154,50	2003	1989	14	k.p.
152,20	153,00	2004	1988	16	d.p.
153,00	157,00	2004	1987	17	d.p.
154,50	161,50	2003	1989	14	k.p.
157,40	160,50	2004	1988	16	d.p.
166,50	169,01	2002	1996	6	k.p.
174,20	178,20	2001	1991	10	k.p.
175,15	178,70	2001	1991	10	d.p.
199,00	200,50	2003	1991	12	k.p.
200,50	202,70	2003	1991	12	k.p.
207,80	209,00	2001	1993	8	k.p.
228,02	233,80	2004	1997	7	k.p.
252,80	264,00	2002	1995	7	k.p.
280,26	283,55	2002	1989	13	k.p.
283,90	285,90	2001	1990	11	d.p.
288,45	291,80	2004	1990	14	d.p.
297,30	297,70	2002	1991	11	k.p.
297,50	301,20	2001	1990	11	d.p.
300,95	301,70	2002	1991	11	k.p.
304,90	306,30	2002	1998	4	d.p.

5. PRIEDAS

Asfaltbetonio dangos fizinių ir mechaninių rodiklių bandymo duomenys (1985 – 1994) Vilnius – Kaunas – Klaipėda, bei ruožų tarnavimo trukmė.

ĮRENGIMO METAI	PK	PUSĖ	R ₅₀	R ₂₀	R _v	K _v	γ	W	A	REMONT O metai
1992	0125+00	k	8,0	39,2	39,2	1,00	2,34	1,58	0,08	2002
1992	0125+00	k	8,1	23,4	23,5	1,00	2,42	0,82	0,02	2002
1992	0131+00	k	6,5	25,0	24,9	0,99	2,39	1,03	0,03	2002
1992	0131+00	k	8,5	26,1	26,4	1,03	2,46	0,80	0,07	2002
1992	0135+00	k	8,8	36,7	36,5	0,99	2,37	1,54	0,10	2002
1992	0135+00	k	9,0	37,5	36,4	0,97	2,39	2,42	0,18	2002
1992	0141+00	k	6,7	23,7	23,1	0,98	2,40	1,19	0,21	2002
1992	0145+00	k	9,4	33,5	33,8	1,01	2,34	0,61	0,03	2002
1992	0145+00	k	9,3	26,0	26,8	1,03	2,40	0,80	0,07	2002
1985	0180+00	d	9,1	39,3	36,6	0,93	2,37	1,80	0,14	1994
1987	0180+00	k	10,5	25,3	27,9	1,01	2,36	1,20	0,80	1997
1987	0180+00	k	13,9	33,5	32,0	0,96	2,37	1,29	0,18	1997
1985	0185+00	d	9,5	31,3	30,0	0,96	2,37	0,70	0,20	1994
1992	0195+00	k	9,8	25,5	25,6	1,00	2,37	0,63	0,04	1997
1992	0196+00	k	8,3	24,1	28,5	0,98	2,37	0,91	0,15	1997
1992	0200+00	k	8,1	25,6	26,5	1,04	2,38	0,74	0,03	1997
1992	0257+00	k	7,5	24,7	21,7	0,88	2,37	0,91	0,15	2003
1993	0275+00	k	10	38,7	39,5	1,02	2,37	0,51	0,27	2003
1993	0284+00	k	7	27,5	28,3	1,03	2,37	0,19	0,04	2003
1992	0303+00	k	10,1	30,7	31,0	1,01	2,40	0,77	0,17	2002
1992	0309+50	k	8,5	19,5	17,1	0,88	2,40	0,86	0,43	2002
1992	0366+00	k	10,8	38,2	33,7	0,88	2,37	0,49	0,32	1997
1991	0384+00	k	9,5	37,7	39,3	1,1	2,32	2,12	0,19	1999
1991	0390+00	k	9	38,7	40,8	1,06	2,33	2	0,05	1999
1992	0395+50	k	12,5	41,3	39,4	0,95	2,36	0,77	0,15	1999
1986	0400+00	d	10,8	37,1	37,5	1,01	2,39	0,90	0,50	1997
1992	0400+00	k	9,5	24,6	29,0	1,18	2,38	0,44	0,06	1999
1992	0400+50	k	10,5	39,0	39,4	1,01	2,37	0,88	0,22	1999
1992	0412+50	k	8,3	20,3	22,4	1,10	2,36	0,31	0,07	1999
1992	0465+00	k	7,5	24,5	23,5	0,96	2,36	1,15	0,05	2001
1992	0470+00	k	6,4	22,8	18	0,79	2,38	1,03	0,32	2001
1993	0470+00	d	11,2	25,8	29	1,12	2,41	0,68	0,09	2003
1993	0475+00	d	10	24,8	27	1,08	2,32	0,99	0,03	2003
1992	0480+00	k	8	22,2	22,5	1,02	2,37	0,67	0,24	2001
1993	0480+00	d	9,7	43	36,7	0,85	2,37	0,83	0,14	2003
1992	0490+00	k	9,8	29,8	25	0,84	2,385	0,41	0,07	2001
1992	0495+00	k	11,5	35,8	30,8	0,86	2,375	0,88		2002
1992	0498+00	k	11,2	31,3	32,2	1,03	2,39	0,67	0,35	2002
1993	0505+00	k	10,1	41,2	42,2	1,02	2,4	0,95	0,4	2004
1993	0511+00	k	13,3	42,3	43,1	1,02	2,39	0,85	0,00	2004
1993	0515+00	k	8,3	29,7	28,1	0,94	2,4	0,66	0,08	2004
1993	0515+00	d	13,1	41,6	42,7	1,02	2,41	0,67	0,17	2002
1993	0515+00	k	11,4	46,2	47,8	1,03	2,4	0,94	0,42	2004
1993	0525+00	d	9,3	29,6	31,4	1,06	2,39	0,35	0,09	2002
1993	0531+00	k	12,9	39,0	36,6	0,99	2,39	0,60	0,42	2004

6. PRIEDAS

Dangos fizinių ir mechaninių rodiklių įtakos lygumos degradacijai, nustatymo duomenys. Matavimai atlikti 1999-2004 metais kelyje Vilnius – Kaunas – Klaipėda. Pateikta tik dalis duomenų.

Pastovumas (LST 1362.16: 1995)	Plastiškumas (LST 1362.16: 1995)	Liekamasis aktyumas, (LST 1362.15: 1995)	Lygumo pagal IRI degradacija 2000-2004
kN	mm	%	
10,7	2,2	3,2	0,05
8,1	3,0	3,0	0,00
8,1	3,3	2,0	-0,01
9,9	3,0	3,0	-0,03
6,5	2,4	3,4	-0,04
8,9	4,0	2,7	-0,04
6,8	3,5	2,4	-0,01
5,7	3,7	3,7	0,01
6,3	4,1	3,3	-0,09
7,7	3,2	2,0	0,10
6,4	3,2	2,5	0,01
7,7	2,1	3,5	-0,12
5,8	3,6	3,4	-0,13
7,3	2,4	4,1	0,11
6,2	2,8	2,9	0,08
6,4	2,7	2,8	0,08
6,6	3,5	2,9	-0,01
5,6	3,0	2,8	0,01
6,2	3,1	2,6	-0,02
8,0	3,0	3,5	0,00
6,1	3,1	3,0	0,02
5,8	2,6	2,6	-0,03
6,5	3,6	2,8	-0,01
7,2	3,0	2,7	0,01
8,6	2,5	3,9	0,06
5,9	3,5	3,0	0,00
6,9	2,7	2,8	0,03
8,4	2,6	4,4	0,10
6,6	3,0	3,1	0,01
7,4	3,1	2,1	0,05
6,4	3,1	3,1	-0,01
7,7	3,6	2,2	-0,01
6,1	3,6	2,3	0,10
5,5	3,3	3,3	0,05
7,1	2,5	2,9	0,03
6,6	5,9	1,2	0,10
6,0	3,4	3,5	0,10
5,9	3,0	2,9	0,03
6,6	2,5	3,9	0,12
6,2	4,3	2,0	0,04
7,0	2,8	2,6	0,10
7,6	3,7	2,7	0,03

7. PRIEDAS

Duomenys naudoti fizinių ir mechaninių rodiklių norminimui.

PA/PL	A	ΔY_{IRI}	T metai, YIRI= 1,5	T metai YIRI=2,5	T metai YIRI= 2,2
2,2	1,5	-0,04	-14,3	-40,0	-32,3
2,2	1,6	-0,03	-16,3	-45,4	-36,7
2,2	1,7	-0,03	-18,8	-52,5	-42,4
2,2	1,8	-0,03	-22,3	-62,3	-50,3
2,2	1,9	-0,02	-27,4	-76,5	-61,8
2,2	2,0	-0,02	-35,6	-99,2	-80,1
2,2	2,1	-0,01	-50,5	-141,1	-113,9
2,2	2,2	-0,01	-87,4	-243,8	-196,9
2,2	2,3	0,00	-322,0	-898,5	-725,5
2,2	2,4	0,00	191,1	533,3	430,6
2,2	2,5	0,01	73,7	205,6	166,0
2,2	2,6	0,01	45,6	127,4	102,8
2,2	2,7	0,02	33,1	92,3	74,5
2,2	2,8	0,02	25,9	72,3	58,4
2,2	2,9	0,03	21,3	59,5	48,0
2,2	3,0	0,03	18,1	50,5	40,8
2,2	3,1	0,04	15,7	43,9	35,4
2,2	3,2	0,04	13,9	38,8	31,3
2,2	3,3	0,04	12,5	34,8	28,1
2,2	3,4	0,05	11,3	31,5	25,4
2,2	3,5	0,05	10,3	28,8	23,2
2,2	3,6	0,06	9,5	26,5	21,4
2,2	3,7	0,06	8,8	24,6	19,8
2,2	3,8	0,07	8,2	22,9	18,5
2,2	3,9	0,07	7,7	21,4	17,3
2,2	4,0	0,08	7,2	20,1	16,3
2,2	4,1	0,08	6,8	19,0	15,3
2,2	4,2	0,09	6,4	18,0	14,5
2,2	4,3	0,09	6,1	17,0	13,8
2,2	4,4	0,10	5,8	16,2	13,1
2,2	4,5	0,10	5,5	15,5	12,5

7. priedo tęsinys

PA/PL	A	$\Delta YIRI$	T 1,5	T 2,5	T 2,2
1,10	1,5	0,03	16,2	45,3	36,6
1,10	1,6	0,04	14,3	39,9	32,2
1,10	1,7	0,04	12,8	35,6	28,8
1,10	1,8	0,05	11,5	32,2	26,0
1,10	1,9	0,05	10,5	29,4	23,7
1,10	2,0	0,06	9,7	27,0	21,8
1,10	2,1	0,06	9,0	25,0	20,2
1,10	2,2	0,07	8,3	23,3	18,8
1,10	2,3	0,07	7,8	21,7	17,6
1,10	2,4	0,08	7,3	20,4	16,5
1,10	2,5	0,08	6,9	19,2	15,5
1,10	2,6	0,09	6,5	18,2	14,7
1,10	2,7	0,09	6,2	17,3	13,9
1,10	2,8	0,09	5,9	16,4	13,3
1,10	2,9	0,10	5,6	15,6	12,6
1,10	3,0	0,10	5,4	14,9	12,1
1,10	3,1	0,11	5,1	14,3	11,6
1,10	3,2	0,11	4,9	13,7	11,1
1,10	3,3	0,12	4,7	13,2	10,6
1,10	3,4	0,12	4,5	12,7	10,2
1,10	3,5	0,13	4,4	12,2	9,9
1,10	3,6	0,13	4,2	11,8	9,5
1,10	3,7	0,14	4,1	11,4	9,2
1,10	3,8	0,14	3,9	11,0	8,9
1,10	3,9	0,15	3,8	10,7	8,6
1,10	4,0	0,15	3,7	10,3	8,3
1,10	4,1	0,16	3,6	10,0	8,1
1,10	4,2	0,16	3,5	9,7	7,9
1,10	4,3	0,16	3,4	9,5	7,6
1,10	4,4	0,17	3,3	9,2	7,4
1,10	4,5	0,17	3,2	9,0	7,2

7. priedo tęsinys

PA/PL	A	ΔY_{IRI}	T, $Y_{IRI}=1,5$	T $Y_{IRI}=2,5$	T $Y_{IRI}=2,2$
3,20	1,5	-0,11	-5,3	-14,7	-11,9
3,20	1,6	-0,10	-5,5	-15,4	-12,5
3,20	1,7	-0,10	-5,8	-16,2	-13,1
3,20	1,8	-0,09	-6,1	-17,0	-13,7
3,20	1,9	-0,09	-6,4	-17,9	-14,5
3,20	2,0	-0,08	-6,8	-18,9	-15,3
3,20	2,1	-0,08	-7,2	-20,0	-16,2
3,20	2,2	-0,07	-7,6	-21,3	-17,2
3,20	2,3	-0,07	-8,2	-22,8	-18,4
3,20	2,4	-0,06	-8,8	-24,4	-19,7
3,20	2,5	-0,06	-9,4	-26,4	-21,3
3,20	2,6	-0,05	-10,2	-28,6	-23,1
3,20	2,7	-0,05	-11,2	-31,3	-25,3
3,20	2,8	-0,05	-12,4	-34,5	-27,9
3,20	2,9	-0,04	-13,8	-38,5	-31,1
3,20	3,0	-0,04	-15,6	-43,5	-35,1
3,20	3,1	-0,03	-17,9	-50,0	-40,3
3,20	3,2	-0,03	-21,0	-58,7	-47,4
3,20	3,3	-0,02	-25,5	-71,2	-57,5
3,20	3,4	-0,02	-32,4	-90,5	-73,0
3,20	3,5	-0,01	-44,4	-124,0	-100,1
3,20	3,6	-0,01	-70,6	-196,9	-159,0
3,20	3,7	0,00	-171,5	-478,5	-386,4
3,20	3,8	0,00	398,9	1113,2	898,9
3,20	3,9	0,01	92,2	257,3	207,8
3,20	4,0	0,01	52,1	145,5	117,5
3,20	4,1	0,02	36,3	101,4	81,9
3,20	4,2	0,02	27,9	77,8	62,8
3,20	4,3	0,02	22,6	63,1	51,0
3,20	4,4	0,03	19,0	53,1	42,9
3,20	4,5	0,03	16,4	45,8	37,0

7. priedo tęsinys

PA/PL	A	$\Delta YIRI$	T, $YIRI=1,5$	T $YIRI=2,5$	T $YIRI=2,2$
1,75	1,5	-0,01	-62,3	-173,8	-140,4
1,75	1,6	0,00	-129,6	-361,6	-292,0
1,75	1,7	0,00	1606,5	4483,1	3620,1
1,75	1,8	0,01	111,6	311,4	251,5
1,75	1,9	0,01	57,8	161,3	130,3
1,75	2,0	0,01	39,0	108,8	87,9
1,75	2,1	0,02	29,4	82,1	66,3
1,75	2,2	0,02	23,6	65,9	53,3
1,75	2,3	0,03	19,7	55,1	44,5
1,75	2,4	0,03	17,0	47,3	38,2
1,75	2,5	0,04	14,9	41,4	33,5
1,75	2,6	0,04	13,2	36,9	29,8
1,75	2,7	0,05	11,9	33,2	26,8
1,75	2,8	0,05	10,8	30,2	24,4
1,75	2,9	0,06	9,9	27,7	22,4
1,75	3,0	0,06	9,2	25,6	20,7
1,75	3,1	0,07	8,5	23,8	19,2
1,75	3,2	0,07	8,0	22,2	17,9
1,75	3,3	0,07	7,5	20,8	16,8
1,75	3,4	0,08	7,0	19,6	15,8
1,75	3,5	0,08	6,6	18,5	15,0
1,75	3,6	0,09	6,3	17,5	14,2
1,75	3,7	0,09	6,0	16,7	13,5
1,75	3,8	0,10	5,7	15,9	12,8
1,75	3,9	0,10	5,4	15,2	12,2
1,75	4,0	0,11	5,2	14,5	11,7
1,75	4,1	0,11	5,0	13,9	11,2
1,75	4,2	0,12	4,8	13,3	10,8
1,75	4,3	0,12	4,6	12,8	10,4
1,75	4,4	0,13	4,4	12,4	10,0
1,75	4,5	0,13	4,3	11,9	9,6

7. priedo tęsinys

PA/PL	A	IRI	T 1,5	T 2,5	T 2,2
1,1	3,0	0,10	5,4	14,9	12,1
1,2	3,0	0,10	5,7	16,0	12,9
1,3	3,0	0,09	6,1	17,1	13,8
1,4	3,0	0,08	6,6	18,5	14,9
1,5	3,0	0,08	7,2	20,1	16,2
1,6	3,0	0,07	7,9	22,0	17,8
1,7	3,0	0,06	8,7	24,3	19,6
1,8	3,0	0,06	9,7	27,1	21,9
1,9	3,0	0,05	11,0	30,6	24,7
2,0	3,0	0,04	12,6	35,3	28,5
2,1	3,0	0,04	14,9	41,5	33,5
2,2	3,0	0,03	18,1	50,5	40,8
2,3	3,0	0,02	23,1	64,4	52,0
2,4	3,0	0,02	31,9	89,0	71,8
2,5	3,0	0,01	51,5	143,7	116,0
2,6	3,0	0,00	133,7	373,2	301,3
2,7	3,0	0,00	-223,8	-624,4	-504,2
2,8	3,0	-0,01	-60,9	-170,0	-137,3
2,9	3,0	-0,02	-35,3	-98,4	-79,4
3,0	3,0	-0,02	-24,8	-69,2	-55,9
3,1	3,0	-0,03	-19,1	-53,4	-43,1
3,2	3,0	-0,04	-15,6	-43,5	-35,1

PA/PL	A	IRI	T 1,5	T 2,5	T 2,2
1,1	1,5	0,03	16,2	45,3	36,6
1,2	1,5	0,03	20,1	56,2	45,4
1,3	1,5	0,02	26,5	74,0	59,8
1,4	1,5	0,01	38,8	108,3	87,5
1,5	1,5	0,01	72,4	202,0	163,1
1,6	1,5	0,00	536,1	1496,1	1208,1
1,7	1,5	-0,01	-99,2	-276,8	-223,5
1,8	1,5	-0,01	-45,4	-126,7	-102,3
1,9	1,5	-0,02	-29,4	-82,1	-66,3
2,0	1,5	-0,03	-21,8	-60,8	-49,1
2,1	1,5	-0,03	-17,3	-48,2	-38,9
2,2	1,5	-0,04	-14,3	-40,0	-32,3
2,3	1,5	-0,05	-12,2	-34,1	-27,6
2,4	1,5	-0,05	-10,7	-29,8	-24,0
2,5	1,5	-0,06	-9,5	-26,4	-21,3
2,6	1,5	-0,07	-8,5	-23,7	-19,2
2,7	1,5	-0,07	-7,7	-21,5	-17,4
2,8	1,5	-0,08	-7,1	-19,7	-15,9
2,9	1,5	-0,09	-6,5	-18,2	-14,7
3,0	1,5	-0,09	-6,0	-16,9	-13,6
3,1	1,5	-0,10	-5,6	-15,7	-12,7
3,2	1,5	-0,11	-5,3	-14,7	-11,9