



16-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,**  
vykusios 2013 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 8 мая 2013 г., Вильнюс, Литва

## VALSTYBINĖS REIKŠMĖS KELIŲ NAUJOS ASFALTO DANGOS IR RATO SUKIBIMO KOEFICIENTO TYRIMAS IR VERTINIMAS

Rimas Plioplys<sup>1</sup>, Henrikas Sivilevičius<sup>2</sup>

*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

*El. paštas: <sup>1</sup>rimas.plioplys@gmail.com, <sup>2</sup>henrikas.sivilevicius@vgtu.lt*

**Santrauka.** Kelio danga turi būti tokios tekstūros, kuri leidžia laiduoti rato sukibimo su danga koeficiento (RSDK) reikšmę, ne mažesnę kaip  $\phi_L \geq 0,40$  magistralinių kelių ir ne mažesnę kaip  $\phi_L \geq 0,35$  reikšmę krašto ir rajoninių kelių. Priimamos eksploatuoti naujos, rekonstruotos, regeneruotos ar padengtos paviršiaus apdaru kelio dangos RSDK reikšmė nustatoma blokuoto rato SRT–3 priekaba, jį stabdant kas 200 m. matuojamo kelio ilgio. Darbe pateikti 2011 ir 2012 metais išmatuotų valstybinės reikšmės kelių su nauju ar atnaujintu viršutiniu dangos sluoksniu RSDK statistiniai duomenys. Eksperimentiniai RSDK padėties ir sklaidos parametrai, jo normaliojo skirstinio teorinės tikimybių tankio kreivės leido nustatyti šio svarbiausio kelio dangos eksploatacinio rodiklio atitiktį normų reikalavimams tendencijas. Visų kelių RSDK aritmetiniai vidurkiai sumažėjo, o standartiniai nuokrypiai palyginti pagal Batleto kriterijų, statistiškai skyrėsi ir padidėjo tik magistralinių kelių.

**Reikšminiai žodžiai:** kelio danga, tekstūra, rato sukibimo su danga koeficientas (RSDK), SRT–3, statistiniai rodikliai, normų reikalavimai.

### Įvadas

Rato sukibimo su kelio danga koeficientas (RSDK) yra svarbus kelio dangos eksploatacinis parametras. Nuo jo priklauso automobilių ratų sukibimo su kelio danga jėgos ir avarių tikimybė. Kuo didesnis šis koeficientas, tuo trumpesnis gali būti automobilio stabdymo ir įsibėgėjimo laikas.

Transporto sistemos (TS) sėkmingas veikimas priklauso nuo jos elementų tarpusavio sąveikos (Sivilevičius 2011). Transporto sistemos materialų elementų modelyje automobiliai priskiriami antrajai, o kelio danga trečiajai TS elementų grupei. Automobilio ratai yra transporto priemonės dalis, o kelio danga – transporto infrastruktūros dalis. Nuo šių elementų sąveikos parametrų priklauso kelių transporto saugumas, važiavimo greitis, vežimo išlaidos, triukšmas.

RSDK matuojamas ir apskaičiuojamas skirtingais būdais. Vienas populiariausių ir tiksliausiai imituojančių realias važiavimo sąlygas yra tempiamos priekabos stabdomo rato jėgos matavimo būdas. Apskaičiuojamas sustabdyto rato trinties jėgos ir priekabos sunkio jėgos

santykis. Tokiu būdu gaunama sukibimo koeficiento reikšmė išilgine kryptimi. Norint gauti daugiau duomenų naudojami sudėtingesni įrenginiai, kurie gali matuoti RSDK, kai rato santykinis slydimas keičiamas. Cerezo *et al.* (2009) pristatė įrenginį, kurio rato santykinis slydimas keičiamas nuo 0 iki 100 %, matavimo greitis nuo 20 iki 130 km/h. Išpildo vandens sluoksnis po matavimo ratu gali būti nuo 0,5 iki 3 mm. Šiuo įrenginiu galima nustatyti kelio dangos kokybės parametrus, esant skirtingoms sąlygoms.

Kelio dangos kokybę, pagal atsparumą slydimui, gali būti nustatoma matuojant asfalto dangos šiurkštumą. Matuojant kelio dangos paviršiaus šiurkštumą smėlio dėmės metodu ar švytuokliniu matuokliu gaunami rezultatai gali būti vertinami, kaip papildomieji.

Daugelio tyrimų ir realių bandymų patirtis rodo aiškių ryši tarp važiuojant šlapia danga eismo įvykių skaičiaus ir jos atsparumo slydimui. Dėl to, kelio eksploatacijoje, reikia matuoti jo slidumą ir vertinti eismo saugumą taikant tam tinkamus modelius (Rezaei *et al.* 2011).

Rezaei *et al.* (2011) pateikia keturis pagrindinius kelio dangos atsparumą slydimui keičiančius veiksnius: automobilio parametrai, kelio paviršiaus tekstūra ir granulometrinė sudėtis, apkrovos didumas (eismo intensyvumas), aplinkos veikimas. Nuo kelio paviršiaus kokybės ir granulometrinės sudėties priklauso kelio dangos mikrotekstūra ir makrotekstūra. Mikrotekstūra apibrėžiama kaip pagrindinė dangos savybė, dėl kurios išlaikomas kontaktas tarp kelio ir padangos paviršių. Ji priklauso nuo mineralinio grūdėlio paviršiaus formos ir kietumo. Mikrotekstūra – tai kelio dangos paviršiaus nelygumai, kurių didumas mažesnis už 0,5 mm, makrotekstūra – paviršiaus nelygumai, kurių aukštis nuo 0,5 iki 50 mm. Kelio dangos makrotekstūra labiausiai priklauso nuo mineralinių grūdėlių dydžio ir formos. Makrotekstūra daro įtaką slydimo atsparumui per laisvą kelių susidarymą vandeniui nutekėti ir padangos protektoriaus gumos deformaciją. Šiurkštumo įtaka vandens nutekėjimui nagrinėjama mokslo darbuose (Beljatynskij *et al.* 2010). Rezaei *et al.* (2011) tyrimų rezultatai parodė, kad danga su paviršiaus apdaru turi didesnę RSDK negu asfaltbetonio danga.

Nagrinėjant rato ir kelio dangos paviršiaus sąveiką tiriami akvaplanavimo reiškiniai. Akvaplanavimas įvyksta, kai padanga vandens sluoksniu pakeliama virš kelio paviršiaus. Greitis, kai padanga visiškai atplėšiama nuo kelio, vadinamas kritiniu akvaplanavimo greičiu. Išvengti vandens sluoksnio transporto priemonės rato ir kelio dangos paviršiaus kontakto zonoje galima ne tik tobulinant padangos protektorių, bet ir tinkamai projektuojant bei prižiūrint kelio dangą (Beljatynskij *et al.* 2010).

Kelio dangos temperatūra ir matavimo greitis turi įtakos dangos sukibimo savybėms (Jahromi *et al.* 2011). Ištyrus standartinių asfalto dangų paviršius, buvo nustatyta, kad esant mažam greičiui asfaltbetonio trinties koeficientas linkęs mažėti didėjant kelio dangos temperatūrai. Kai greitis didelis, rezultatas yra priešingas, sukibimas su kelio danga yra geresnis padidėjus jos temperatūrai (Jahromi *et al.* 2011).

Asfaltinės kelio dangos paviršiaus šiurkštumo įtaką rato sukibimo su kelio danga parametrą aprašo Schram (2011). Tiriama eismo įvykių priklausomybė nuo kelio dangos šiurkštumo. Akcentuojama asfalto paviršiaus dėvėjimosi problema, dėl kurios ženkliai sumažėja sukibimo jėgos su automobilio ratu. Kaip vienas iš problemos sprendimo būdų, pateikiama galimybė naudoti atsparesnes dilimui mineralines medžiagas, pavyzdžiui, granitą, plieno šlaką.

Slystančio rato būdu matuojančių prietaisų tikslumą analizuoja Choubane *et al.* (2004). Buvo atliekami ban-

dymai pagal ASTM (Amerikos bandymų ir medžiagų organizacijos) E274 metodiką. Nustatyta, kad dviejų vienodų prietaisų RSDK reikšmės skiriasi nedaugiau kaip 0,042. Jackson *et al.* (2009) pristato rato sukibimo su kelio danga jėgų matavimo kartu su kelio paviršiaus makrotekstūros fiksavimu duomenis. Makrotekstūra matuojama dviem skirtingais prietaisais ir patikrinamas jų tikslumas. Naudojant šiuos prietaisus galima tiksliau vertinti asfalto dangos sukibimo savybes.

Graham *et al.* (2011) siūlo riedančios padangos vibracijas ir kontakto zonos skleidžiamą triukšmą apibūdinti pagal paviršiaus mineralinių grūdėlių aukštį. Izevbekhai *et al.* (2012) tiriama būdas, kuriuo galima prognozuoti kelio dangos triukšmingumą pagal jos tekstūros savybes. Nustatyta, kad kelio dangos ir padangos sąveikos metu skleidžiamas triukšmas susijęs su dangos mikro, makro ir megatekstūra.

Ankstesni tyrimai parodė, jog apkrautos padangos vertikalus slėgis į kelio dangą yra nevienodas, o tangentiniai įtempiai atsiranda dėl padangos ir dangos sąveikos (Wang, H. *et al.* 2011). Šio kontakto įtempių pasiskirstymas yra sudėtinis ir priklauso nuo šių veiksnių: padangos tipo (diagonalinė, radialinė), jos struktūros (geometrijos, protektoriaus rašto, gumos ir kordo savybių), kelio dangos savybių (tekstūros ir šiurkštumo), apkrovos sąlygų (rato apkrovos ir oro slėgio), padangos riedėjimo būsenos (laisvai riedanti, su šoniniu ar išilginiu pagreičiu). Kontakto vietoje esančios jėgos ir poveikis asfalto dangoms, naudojant viengubas plačias ir sudvejintas sunkiųjų automobilių padangas analizuojami ir modeliuojami Wang G. *et al.* (2011).

Kelio dangos temperatūra – vienas iš veiksnių, turinčių įtakos RSDK. Bianchini *et al.* (2011) darbo tikslas – kiekybiškai nustatyti temperatūros įtaką asfalto dangų sukibimo koeficientui, kuris nustatomas blokuojamo rato matavimo prietaisu. Asfalto dangos mechaninės savybės kinta priklausomai nuo temperatūros (Wang D. 2012). Temperatūros pasiskirstymą po kelio dangos paviršiumi būtina vertinti nustatant jos stiprį krintančio svorio deflektometru (Wang, D. 2013). Kelio dangos įlinkį dėl temperatūros nagrinėjo Ramos Garcia, J.A., Castro, M. (2011).

Bianchini *et al.* (2011) nustatė, kad pirminis asfalto dangos dėvėjimasis dėl sąveikos su automobilių padangomis gali padidinti atsparumą slydimui. Pradinis dėvėjimasis dėl eismo poveikio lemia plono asfalto sluoksnio ant išsikibusių grūdėlių nutrynimą ir mineralinių medžiagų paviršiaus išryškėjimą.

## Eksperimentinių tyrimų metodika

Lietuvoje priimamos eksploatuoti naujos, rekonstruotos, regeneruotos ar padengtos paviršiaus apdaru kelio dangos RSDK reikšmė nustatoma blokuoto rato SRT-3 (1 pav.) priekaba. Ratas stabdomas kas 200 m matuojamo kelio ilgio ant sausos dangos išpilant vandens sluoksnį.



1 pav. Dinamometrinė priekaba SRT-3 darbo metu (Mechowski *et al.* 2009)

Atliekami valstybinės reikšmės kelių naujos dangos matavimai, o jų duomenys naudojami priimant sprendimus, ar danga yra tinkama naudoti. Pagrindinis šių bandymų tikslas yra nustatyti, ar kelio danga atitinka normose keliamus reikalavimus. Magistralinių kelių RSDK reikšmė turi būti nemažesnė kaip  $\varphi_L \geq 0,40$ , krašto ir rajoninių kelių – nemažesnė kaip  $\varphi_L \geq 0,35$  (JT ASFALTAS 08).

Lenkijos kelių ir tiltų tyrimų institute pagamintas sukibimo koeficiento matavimo įrenginys SRT-3 (1 pav.), kurį Lietuvoje naudoja „Transporto ir kelių tyrimų institutas“ (TKTI). Matavimai atliekami ant šlapios asfalto dangos, kai matavimo ratas yra pilnai užblokuojamas, imituojant lietų, po ratu pilamu vandeniu. Matavimo įrangos komplektą sudaro: specialios paskirties vilkikas, vienratė dinamometro priekaba, elektroniniai matavimo ir užrašymo prietaisai.

Matavimai atliekami šia seka: 1) matuojama kelio ruožė kas 200 metrų, 2) nominalus automobilio su priekaba važiavimo greitis 60 km/h, 3) po matavimo ratu pilamas vanduo, sudarantis vienodo storio plėvelę, 4) matavimo ratas užblokuojamas ir fiksuojamos jėgų reikšmės, 5) matavimų duomenys perduodami į kompiuterį, kur informacija apdorojama ir pateikiamos RSDK skaitinės reikšmės bei grafikas.

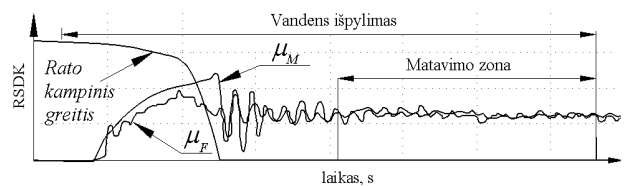
RSDK matavimas atliekamas vertinant stabdymo sistemos traukės jėgą arba stabdomo rato ašies jėgą. Nuo dinamių smūgių priekaba apsaugota spyruokle. Dinamometrinės priekabos svoris apie 300 kilogramų, tai atitinka apie 2,94 kN vertikalią rato prispaudimo jėgą.

RSDK yra dviejų jėgų santykis:

$$\mu = \frac{F}{Q}, \quad (1)$$

čia  $F$  – išilginė rato sukibimo su kelio danga jėga stabdymo metu, N;  $Q$  – vertikali prispaudimo jėga (priekabos sunkio jėga), N.

Dinamometrinės priekabos SRT-3 matuojamo RSDK charakteristika pavaizduota (2 pav).



2 pav. RSDK charakteristikos matuojant:  $\mu_M$  – sukibimo koeficiento vertė matuojant stabdymo sukimosi momentą;  $\mu_F$  – sukibimo koeficiento vertė tiesiogiai matuojant trinties jėgą

Skaičiavimai atliekami pagal dviejų dinamometrų išmatuotas jėgas ir svirčių sistemos, kuri perduoda jėgą, geometrinius parametrus. Įjungus vandens išpylimą, ratas stabdomas iki visiško sustojimo. Ratui pradėjus slysti kelio danga, įrenginys svyruoja, dėl to stebimi matavimo jėgų netikslumai (pokyčiai). Jiems nusistovėjus nustatoma RSDK reikšmė matavimo zonoje (2 pav.). Kreivė  $\mu_M$  rodo koeficiento kitimą pagal dinamometro rodmenis, jėgą matuojančio nuo stabdžių traukės. Kreivė  $\mu_F$  gaunama pagal sujungto traukėmis su rato ašimi dinamometro rodmenis. Kai įrenginys tikslus ir tinkamai sureguliuotas, tai koeficientų reikšmės sutampa. Šis dvigubas matavimo būdas leidžia pastebėti atsiradusius jėgos matavimo netikslumus, kurie leidžia abejoti išmatuoto RSDK patikimumu.

## Eksperimentiniai duomenys ir jų analizė

Valstybinės reikšmės kelių 2011 ir 2012 metais įrengtų naujų ruožų skaičius ir atskirų matavimų skaičius pateiktas 1 lentelėje. Iš jos matome, kad 2012 metais buvo iš viso išmatuota 14 ruožų, o 2011 metais 63, tai rodo, kad kelių tiesybės apimtys labai sumažėjo.

Dalis bandymų rezultatų matuojamame ruožė gali neatitikti normų reikalavimų, nors bendras vidurkis bus pakankamas. Dėl to yra svarbūs ne tik RSDK ruožų arit-

metiniai vidurkiai, bet ir sklaida apie vidurkį. RSDK reikšmės kito nuo 0,25 iki 0,69.

2011 metais iš viso buvo atlikta 1803 RSDK matavimai. Normų reikalavimų neatitiko tik magistralinių kelių 23 matavimai, tai sudaro 1,3 % visų matavimų, atliktų tais metais. Visi krašto ir rajoninių kelių RSDK atitiko normas. Magistralinių kelių 23 RSDK buvo mažesni už 0,4, jie sudaro 4,5 % magistralinių kelių matavimų.

2012 metais iš viso buvo atlikta 790 RSDK matavimų, iš jų 217 arba 27,4 %, netenkino normose keliamų reikalavimų. Magistralinių kelių RSDK normų neatitiko net 185 iš 429 matavimų, tai sudaro 43 %. RSDK reikalavimų taip pat neatitiko 7 % krašto ir 10,7 % rajoninių kelių matavimų.

Lietuvos kelių naujai paklotų dangų tinkamumą eksploatuoti vertinome atlikę statistinę analizę. Naudojome metodiką pateiktą Sivilevičiaus (2005) mokomojoje knygoje.

**1 lentelė.** Bandymų metu surinktų sukibimo koeficiento matavimo duomenų rezultatų suvestinė

Metai	Kelio parametrai	Valstybinės reikšmės kelio pavadinimas		
		Magistralinis kelias	Krašto kelias	Rajono kelias
2011	Ruožų skaičius	11	17	35
	Ruožuose išmatuotų sukibimo koeficiento reikšmių skaičius	515	411	877
2012	Ruožų skaičius	4	5	5
	Ruožuose išmatuotų sukibimo koeficiento reikšmių skaičius	429	183	177

Iš gautų duomenų buvo skaičiuotos padėties ir sklaidos pagrindinės statistinės charakteristikos.

Populiacijos aritmetinis vidurkis:

$$\varphi_{vid} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n} \quad (2)$$

čia  $\varphi_i$  –  $i$ -tojo RSDK reikšmė;  $n$  – RSDK reikšmių skaičius matuojamame ruože.

RSDK standartinis nuokrypis skaičiuojamas negrupuojant duomenų į intervalus iš šios formulės:

$$S_\varphi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\varphi_i - \varphi_{vid})^2}{n-1}}, \quad (3)$$

čia  $\varphi_{vid}$  – RSDK aritmetinis vidurkis.

Standartinis nuokrypis rodo, kaip arti nuo vidurkio pasiskirsto atskiros reikšmės, t.y. kokia jų sklaida. Kuo

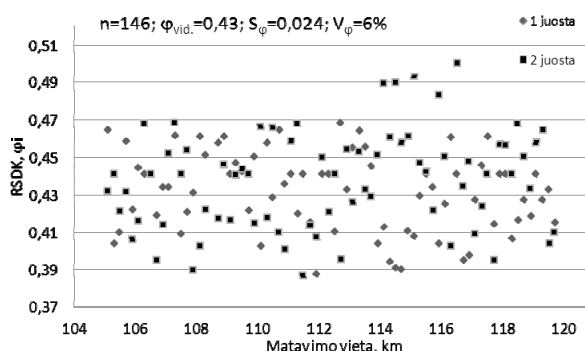
mažesnė jo reikšmė, tuo arčiau vidurkio pasiskirsto RSDK atskiros reikšmės  $\varphi_i$ , tuo aukštesnė dangos kokybė pagal jos ir rato sąveiką.

Procentinis variacijos koeficientas, tai standartinio nuokrypio ir aritmetinio vidurkio santykis, padaugintas iš 100. Jis skaičiuojamas iš formulės:

$$V_\varphi = \frac{S_\varphi}{\varphi_{vid}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

čia  $S_\varphi$  – RSDK reikšmių standartinis nuokrypis.

Vaizdžiai atskirų verčių sklaidą kiekviename matuojamame kelio ruože rodo taškinė diagrama (3 pav. kaip pavyzdys).



**3 pav.** 2011 metais išmatuoto magistralinio kelio Šiauliai – Tauragė ruožo RSDK reikšmių taškinė diagrama ir apskaičiuotieji pagrindiniai statistiniai parametrai

Surinkus duomenis pagal atskirus ruožus buvo sudarytos jų taškinės diagramos. Taškinės diagramos parodo, kaip išsibarsto RSDK reikšmės matuojamame ruože. Kartu su diagramomis pateikiami ir pagrindiniai RSDK reikšmių statistiniai parametrai. Geras ruožas yra laikomas toks, kurio visos reikšmės yra vienodos ir didesnės už leistinąsias. Tačiau dėl medžiagų savybių variacijos, darbų atlikimo operacijų nevienodumo, oro sąlygų kaitos atliekant darbus, naujos dangos sluoksnio tekstūra nebūna absoliučiai vienoda. Dėl to kinta ir RSDK vertės. Kokiu laipsniu išmatuotos RSDK vertės atitiko normų (ĮT ASFALTAS 08) reikalavimus ir kokia faktiškoji atskirų verčių variacija apie kiekvieno ruožo aritmetinį vidurkį, nustatoma naudojant (2), (3) ir (4) formules.

Matuojami ruožai yra skirtingo ilgio. Juose buvo atlikta nuo 4 iki 146 matavimų. Tai reiškia, kad bendras ruožų RSDK svertinis vidurkis turi būti skaičiuojamas atsižvelgiant į matavimų apimtį.

Svertinis aritmetinis vidurkis skaičiuojamas atsižvelgiant į nevienodą ruožų matavimo reikšmių skaičių:

$$\bar{\varphi}_{vid} = \frac{\sum_{i=1}^k \varphi_{vid} \cdot n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (5)$$

čia  $\varphi_{vid,i}$  –  $i$ -tojo ruožo aritmetinis vidurkis,  $n_i$  –  $i$ -tojo ruožo RSDK skaičius,  $k$  – ruožų skaičius.

Apskaičiuoti metiniai svertiniai aritmetiniai vidurkiai pagal (5) pateikti (4, 5, 6 pav.). Geriausias vidurkis – 0,48 buvo krašto kelių 2011 metais, nedaug mažesni buvo ir 2011 rajoninių kelių vidutiniai sukibimo rodikliai. Visi vidutiniai metiniai RSDK atitiko reikalavimus. Mažiausi RSDK buvo magistralinių bei rajoninių kelių 2012 metais. Didelė dalis matavimų rezultatų neatitiko reikalavimų. Vertinant rezultatus pastebima, kad 2012 metais buvo pakloti vos 4 magistraliniai, ir po penkis krašto ir rajoninių kelių ruožus.

Vidutinio metinio standartinio nuokrypio skaičiavimui naudojamas Bartleto kriterijus. Kaip skaičiavimo pavyzdys pateikiama 2 lentelė į kurią surašomi turimi duomenys t.y. išmatuotų sukibimo koeficientų reikšmių kiekis ruože ir šio ruožo standartinis nuokrypis, apskaičiuotas pagal (3) formulę.

Pagal 2 lentelės duomenis skaičiuojamas visų  $l = 4$  ruožų, paslinktų (nes vardiklyje  $n_{i,\phi} - 1$ , bet ne  $n_{i,\phi}$ ) dispersijų svertinis vidurkis:

$$\bar{s}_\varphi^2 = \frac{\sum_{i=1}^l k_i \cdot s_i^2}{k} \quad (6)$$

Svertinis visų ruožų standartinių nuokrypių vidurkis, įvertinus ruožo laisvių skaičių  $k_i$ :

$$\bar{s}_\varphi = \sqrt{\bar{s}_\varphi^2}. \quad (7)$$

Bartleto kriterijaus statistika skaičiuojama:

$$B = \frac{2,303 \left[ k \log_{10} \bar{s}_\varphi^2 - \sum_{i=1}^l k_i \log_{10} s_i^2 \right]}{1 + \frac{1}{3(l-1)} \left[ \sum_{i=1}^l \frac{1}{k_i} - \frac{1}{k} \right]}. \quad (8)$$

**2 lentelė.** Matuojamųjų ruožų dispersijų lyginimo pagal Bartleto kriterijų seka ir skaičiavimas

Eil. Nr.	Ruožo reikšmių sk. $n_i$	Laisvių skaičius $k_i = n_i - 1$	Standartinis nuokrypis $s_i$	Dispersija $s_i^2$	Sandauga $k_i \cdot s_i^2$	Dispersijos logaritmas $\log_{10} s_i^2$	Sandauga $k_i \cdot \log_{10} s_i^2$	Dalmuo $\frac{1}{k_i}$
1	92	91	0,041	0,0017	0,1530	-2,7744	-252,473	0,0110
2	92	91	0,031	0,0010	0,0875	-3,0173	-274,572	0,0110
3	132	131	0,037	0,0014	0,1793	-2,8636	-375,131	0,0076
4	114	113	0,022	0,0005	0,0547	-3,3152	-374,612	0,0088
Suma	430	426	-	-	0,4745	-	-1276,789	0,0385

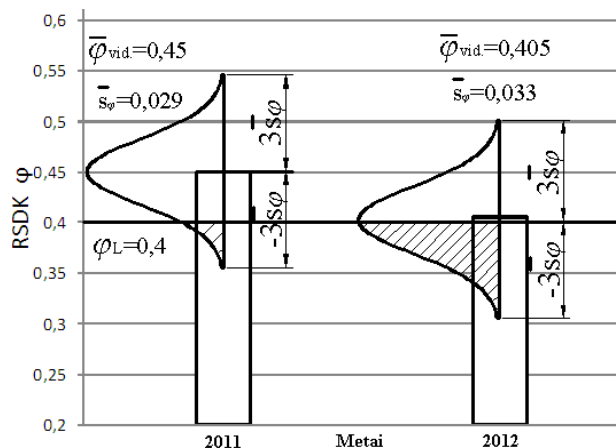
Įstačius reikšmes į (6), (7) ir (8) formules gauname:

$$\bar{s}_\varphi^2 = \frac{0,4745}{426} = 1,114 \cdot 10^{-3}, \quad \bar{s}_\varphi = \sqrt{1,114 \cdot 10^{-3}} = 0,033,$$

$$B = \frac{2,303 \left[ 426 \cdot \log_{10} 1,114 \cdot 10^{-3} + 1276,789 \right]}{1 + \frac{1}{3(4-1)} [0,0385]} = 42,9.$$

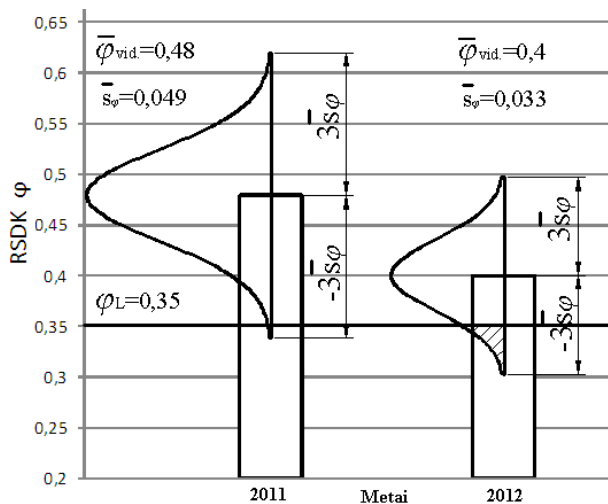
Kritinė  $\chi^2_{kr.}(\alpha; l-1)$  reikšmė pagal  $\alpha$  reikšmingumo lygmenį ir laisvių skaičių  $k = l - 1$  lyginama su Bartleto kriterijaus statistika  $B$ . Jeigu  $B < \chi^2_{kr.}$ , tai nulinė hipotezė atmetama – dispersijos skiriasi, jeigu  $B < \chi^2_{kr.}$  – dispersijos nesiskiria, jos lygios.

Pagal (6), (7) formules apskaičiuoti RSDK metiniai standartinių nuokrypių vidurkiai pateikti (4, 5, 6 pav.). Užbrūkšniuotas plotas rodo procentinį broko kiekį. Bartleto kriterijaus statistika pagal (8) formulę  $B = 42,9$ , ji yra didesnė už  $\chi^2_{kr.}(0,05; 3) = 7,8$ . Tai rodo, kad ištirtų keturių ruožų dispersijos, tikrinant pagal Bartleto kriterijų, nebuvo vienodos. Tokius rezultatus gali lemti daug veiksnių: nevienodas kelio dangos paviršiaus šiurkštumas, įrangos matavimo paklaidos, pasirinktas važiavimo greitis, nešvarumai ant dangos paviršiaus.

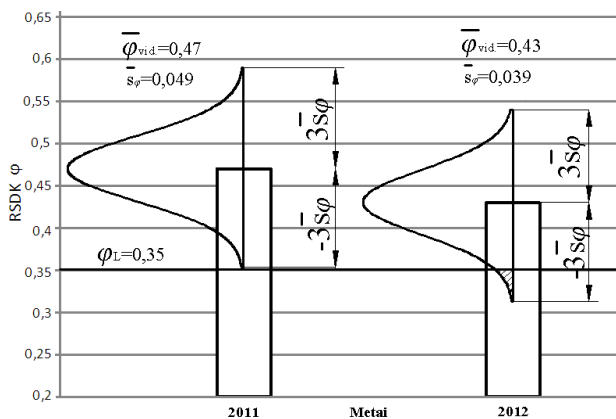


**4 pav.** Valstybinės reikšmės magistralinių kelių RSDK ir standartinio nuokrypio vidutinės metinės reikšmės





5 pav. Valstybinės reikšmės krašto kelių RSDK ir standartinio nuokrypio vidutinės metinės reikšmės



6 pav. Valstybinės reikšmės rajoninių kelių RSDK ir standartinio nuokrypio vidutinės metinės reikšmės

## Išvados

Naujos asfalto dangos priimamų naudoti ruožų tinkamumas pagal rato sukibimo su ja jėgų dydį nustatomas kas 200 metrų dinamometrine vienviete SRT–3 priekaba leidžia greitai gauti patikimus svarbiausio rodiklio – rato sukibimo su danga koeficiento (RSDK) duomenis. Matuojant kelio dangos ruožo viršutinio dangos sluoksnio RSDK po ratu pilamas vanduo leidžia nustatyti mažiausią jo vertę, kai danga yra slidžiausia dėl ant jos esančių šlapnių dulkių.

Kiekvienais metais Lietuvos Respublikos valstybinės reikšmės kelių visų naujų asfalto dangos ruožų išmatuotų RSDK verčių skaičius priklauso nuo keliams tiesti, rekonstruoti, regeneruoti skirtų lėšų didumo. Paskutiniaisiais 2012 metais buvo išmatuoti 14 naujų ruožų (790 matavimų), o 2011 metais – 63 nauji ruožai (1803 mata-

vimai), kas rodo, kad atliktų darbų kiekis dėl ekonominio sunkmečio sumažėjo daugiau kaip 2 kartus.

Kiekvieno matuojamojo atskiro kelio ruožo yra svarbus ne tik vidutinis RSDK, bet ir jo sklaidos didumas. Pagal IT ASFALTAS 08 reikalavimus RSDK ribinės vertės magistralinių kelių turi būti ne mažesnės kaip 0,4, o krašto ir rajoninių kelių ne mažesnės kaip 0,35. Dėl neišvengiamos atskirų verčių sklaidos, nulemtos paviršiaus tekstūros aukščio variacijos, matavimo laiko nuo dangos eksploatavimo pradžios, aplinkos oro temperatūros, grūdelių iškišų ir įdubų skaičiaus ploto vienetu, matuojamame kelio ruože atskirų plotų kokybė skiriasi. Kuo mažesnė RSDK atskirų verčių sklaida (variacija), tuo vienodesnės tekstūros yra nauja kelio danga, ji saugesnė, nes vairuotojas nepatiria netikėtumo efekto dėl atskirų slidesnių vietų.

Taikant hipotezę, kad kiekviename kelio ruože išmatuotos RSDK atskiros vertės pasiskirsto pagal normalųjį (Gauso) dėsnį, ir lyginamų skirtingo ilgio ruožų RSDK aritmetiniai vidurkiai turi būti svertiniai, gauti apibendrinantys padėties ir sklaidos parametrai, rodantys naujų kelių ruožų atitikties normų reikalavimams tendencijas. Magistralinių kelių visų 2011 metais išmatuotų ruožų RSDK aritmetinis vidurkis  $\bar{\varphi}_{vid}=0,45$ , standartinis nuokrypis  $\bar{s}_{\varphi}=0,029$ , o 2012 metais  $\bar{\varphi}_{vid}=0,405$ ,  $\bar{s}_{\varphi}=0,033$ . Sumažėjo  $\bar{\varphi}_{vid}$  ir padidėjo  $\bar{s}_{\varphi}$ , kas rodo darbų kokybės blogėjimą: 2011 metais broko buvo 4,5%, o 2012 metais – 43%. Krašto kelių visų 2011 metais išmatuotų ruožų RSDK aritmetinis vidurkis  $\bar{\varphi}_{vid}=0,48$ , standartinis nuokrypis  $\bar{s}_{\varphi}=0,049$ , o 2012 metais  $\bar{\varphi}_{vid}=0,40$ ,  $\bar{s}_{\varphi}=0,033$ . Rajoninių kelių visų 2011 metais išmatuotų ruožų RSDK aritmetinis vidurkis  $\bar{\varphi}_{vid}=0,47$ , standartinis nuokrypis  $\bar{s}_{\varphi}=0,049$ , o 2012 metais  $\bar{\varphi}_{vid}=0,43$ ,  $\bar{s}_{\varphi}=0,039$ . Krašto ir rajoninių kelių 2011 metais brokuotų ruožų nebuvo, nes didelę duomenų sklaidą vertes) „kompensavo“ didelės padėties rodiklio  $\bar{\varphi}_{vid}$  vertės. 2012 metais juose buvo nežymus broko kiekis (atitinkamai 7% ir 10,7%), kurį nulėmė sumažėjusios  $\bar{\varphi}_{vid}$  ir  $\bar{s}_{\varphi}$  reikšmės (4, 5, 6 pav.).

## Literatūra

- Beljatynskij, A.; Prentkovskis, O.; Krivenko, J. 2010. The experimental study of shallow flows of liquid on the airport runways and automobile roads, *Transport* 25(4): 394–402.
- Bianchini, A.; Heitzman, M.; Maghsoodloo 2011. Evaluation of Temperature Influence on Friction Measurements, *Journal of Transportation Engineering* 137(9): 640–646.
- Cerezo, V.; Gothie, M. 2009. Adhera Research: A New Approach for pavement performance evaluation, *Wear*, 267: 1105–1110.

- Choubane, B.; Charles, R.H.; Gokhale, S. 2004. Precision of Locked-Wheel Testers for Measurement of Roadway Surface Characteristics, *Transportation Research Record*, 1869: 145–151.
- Graham, W.R.; Liu, F.; Sutcliffe; M.P.F.; Dale, M. 2011. Characterization and simulation of asphalt road surfaces, *Wear* 271: 734–747.
- Izevbekhai, B.I.; Voller, V. R. 2013. Development and validation of a tenable process for quantifying texture skidness for pavement noise prediction, *International Journal of Pavement Engineering* 14(2): 190–205.
- Jackson, M.; Choubane, B.; Holzschuher, C. 2009. Practical Approach to Measuring and reporting Friction and Macrotecture at Variable Test Speeds, *Transportation Research Record*, 2094: 103–111.
- Jahromi, S. G.; Mortazavi, S. M. R.; Voussough, S; Yingjian, L. 2011. Evaluation of Pavement Temperature on Skid Frictional of Asphalt Concrete Surface, *International Journal of Pavement Engineering*, 12(1): 47–58.
- Rezai, A.; Masad, E.; Chowdhury, A. 2011. Development of a Model for Asphalt Pavement Skid Resistance Based on Aggregate Characteristics and Gradation, *Journal of Transportation Engineering*, 37(12), 863–873.
- Ramos Garcia, J. A.; Castro, M. 2011. Analysis of the temperature influence on flexible pavement deflection, *Construction and Building Materials* 25(8): 3530–3539.
- Schram, S. 2011. Specifications for Aggregate Frictional Qualities in Flexible Pavements, *Transportation Research Record*, 2209:18–25.
- Sivilevičius, H. 2011. Modelling the interaction of transport system elements, *Transport* 26(1): 20–34.
- Sivilevičius, H. 2005. *Statybos ir kelių tiesimo mašinos, pratybų ir namų darbų metodikos nurodymai*. Vilnius: Technika. 156 p.
- Wang, D. 2012. Analytical approach to predict temperature profile in a multilayered pavement system based on a measurement surface temperature data, *Journal of Transportation Engineering* 138(5): 674–679.
- Wang, D. 2013. Prediction of Asphalt Pavement Temperature Profile During FWD Testing: Simplified Analytical Solution with Model Validation Based on LTPP Data, *Journal of Transportation Engineering* 139(1): 119–113.
- Wang, H.; Al-Qadi, I. L.; Stanculescu, I. 2012. Simulation of tyre-pavement interaction for predicting contact stresses at static and various rolling conditions, *International Journal of Pavement Engineering* 13(4): 310–321.
- Wang, G.; Roque, R. 2011. Impact of Wide-Based Tires on the Near-surface Pavement Stress States Based on Three-Dimensional Tire-Pavement Interaction Model, *Road Materials and Pavement Design* 12(3): 639–662.
- IT ASFALTAS 08. Automobilių kelių dangos konstrukcijos asfalto sluoksnių įrengimo taisyklės.
- Mechowski, T.; Młynarczyk, Z.; Grączewski, A.; Borucki, R. 2009. Sprawozdanie z realizacji pracy TD-88 pt.: „Analiza zmienności właściwości przeciwpoślizgowych warstwy ścieralnej nawierzchni w początkowym okresie jej eksploatacji”. Instytut badawczy dróg i mostów, Warszawa. 63 p.