

LIETUVOS VALSTYBINĖS REIKŠMĖS KELIŲ ASFALTO DANGOS PROVĖŽŲ GYLIO STATISTINIS TYRIMAS IR VERTINIMAS

Erinijus Getautis¹, Henrikas Sivilevičius²

Vilniaus Gedimino technikos universitetas

El. paštas: ¹erinijus@gmail.com; ²henrikas.sivilevicius@vgtu.lt

Santrauka. Šio straipsnio tikslas – surinkus duomenis apie valstybinės reikšmės kelių nestandžios dangos išmatuotų provėžų gylį, nustatyti jo pasiskirstymo statistinius rodiklius ir įvertinti jų atitiktį keliamiems reikalavimams. Straipsnyje pateikta mokslo darbu, skirtų vėžių atsiradimo, gilėjimo asfalto dangoje ir įtakos transporto priemonių važiuvimui, analizė. Pateikti vėžių asfalto dangoje dinamikos modeliai. Atlikti Lietuvos valstybinės reikšmės magistralinio kelio Vilnius–Kaunas provėžų gylio pasiskirstymo eksperimentiniai tyrimai. Suformuluotos ir pateiktos išvados.

Reikšminiai žodžiai: provėža, asfalto danga, gilėjimo dinamika, transporto priemonė, statistinė analizė.

Įvadas

Lietuvos, kaip ir kitų šalių, keliai daugiausiai turi asfalto dangą, kuria vyksta intensyvus lengvųjų ir sunkiųjų automobilių eismas. Veikiant automobilių ratų apkrovoms ir aplinkos veiksniams, asfalto dangoje atsiranda pažaidų, iš kurių sunkiausiai prognozuojamos ir sudėtingiausiai šalinamos yra provėžos, susijusios su šlyties deformacijomis, esant aukštai aplinkos oro temperatūrai.

Mokslininkai šią problemą nagrinėja jau daugybę metų, tiria veiksnius, lemiančius provėžų susidarymą, ir ieško sprendimo būdų, kaip išvengti jų susidarymo ir sumažinti gilėjimo greitį.

H. Sivilevičius ir Š. Šukevičius (2007) teigia, kad daugiausia žalos kelių asfaltbetonio dangai daro sunkieji krovininiai automobiliai. Dėl didelių ašių apkrovų, kurios dažnai įgyja dinaminį pobūdį, krovininiai automobiliai kelio dangai turi beveik visą ardomąjį poveikį, nors jie tesudaro apie 15 % viso Lietuvos magistraliniais keliais važiuojančių transporto priemonių srauto. Atskiri to paties kelio ruožai būna netolygiai apkrauti, dėl to ir deformuojasi skirtingai.

I. Haryanto ir O. Takahashi (2007) išnagrinėjo kirstinio šlyties modulio svarbą, vertindami galimą vėžių susidarymą Indonezijos viršutinių dangos sluoksnių mišiniuose. Straipsnyje teigiama, kad šlyties modulis nusako atsparumą šlyties deformacijai, todėl šią savybę būtina nagrinėti iš esmės, norint įvertinti galimą vėžių susidarymą.

P. Radziszewski (2007) išnagrinėjo deformacijas, dėl kurių susidaro provėžos. Jis teigia, kad liekamosios

deformacijos yra viena iš dažniausių pažaidų, bloginančių eksploatacines kelio dangos savybes.

Deformacijų ir provėžų asfaltbetonio dangose susidarymo priežastis taip pat nagrinėjo A. Laurinavičius ir R. Oginskas (2006). Jie pabrėžia, kad vėžių susidarymo priežastys slypi skirtinguose pagrindo sluoksniuose, ir būtinybę sumažinti deformacijas bei įtempius kelio pagrinda. Atlikus bandomus paaiškėjo, kad kai kuriais atvejais geosintetinių medžiagų naudojimas, siekiant sumažinti įtempius, yra netikslingas. Iš tyrimų taip pat nustatyta, kad provėžos gylis priklauso nuo geosintetinės medžiagos tipo. Su geosintetinėmis medžiagomis provėžos gylis padidėja nuo 1,4 iki 2,2 karto, o be šių medžiagų – net 3 kartus. Savo ruožtu asfaltbetonio tampros modulis priklauso nuo geosintetinių medžiagų tipo. Norint sumažinti įtempius, reikia naudoti geotinklus.

Labai didelę įtaką vėžėms susidaryti turintis veiksnys yra temperatūra. Kad temperatūra yra vienas iš svarbiausių veiksnių, lemiančių asfalto dangos defektų atsiradimą, pabrėžia S. Nazarian ir G. Alvarado (2006). Jie teigia, kad temperatūrai įtakos turi asfalto dangos savybės. Kad asfaltas būtų geras, būtina, kad jo sudėtis atitiktų temperatūrų intervalą, esantį kelio dangoje.

Pateiktuose tyrimuose, kuriuose A. Faheem *ir kt.* (2005) lygino tipines temperatūras su Viskonsino vasaros aplinkos temperatūra, buvo tikrinamas vėžės mišinio atsparumas temperatūrai. Tyrimai buvo atliekami matuojant mišinio tankį Superdangos sukamojo tankintuvo metodu SGC (*Superpave gyratory compactor*) ir laboratoriniu metodu su vienos ašies apkrova.

Asfalto mišinių charakteristikoms ir vėžėms susidaryti labai svarbi mineralinių medžiagų grūdelių forma ir kilmė. Naudojant skaldytas bei geresnės kokybės medžiagas, provėžų gylis būna mažesnis. Taip pat pagerėja asfalto dangos dinaminis standumas, pastovumas, ilgamžiškumas (Topal ir Sengoz 2005).

Asfaltbetonio mišinio granulimetrinė sudėtis ir bitumo kiekis turi įtakos asfaltbetonio fiziniams ir mechaniniams savybėms, kurios savo ruožtu lemia šlyties deformacijų asfaltbetonio sluoksniuose susidarymą. Parinktas optimalus bitumo kiekis ir granulimetrinė sudėtis pagerina fizines ir mechanines mišinio savybes, taip pat ir asfaltbetonio sluoksnių atsparumą šlyties įtempiams (Witczak ir Fonseca).

R. Hufenus *et al.* (2006) atliko praktinius tyrimus, kurie buvo atliekami tiriant kelio apkrovas ir provėžas, nustatant kelio dangos tvirtumą ir jo poveikį gruntui. Buvo nustatyta, kad įvairi geotekstilė, naudojama negrįstam keliui armuoti, turi panašų sutvirtinimo efektą, kai palyginti ploni minkšto grunto sluoksniai (suminis minkšto grunto storis yra nedidelis). Esant tokioms sąlygoms, provėžos gali susiformuoti posluoksnyje, viršijus geotekstilės įrašas ir tempimo jėgas. Kelio dangos sutvirtinimo ryšys priklauso nuo geotekstilės standumo ir yra ribojamas didžiausia apkrovos jėga.

Tyrimai (Ramsamooj *et al.* 1998) parodė, kad kai kurių medžiagų naudojimas pagerina asfaltbetonio pastovumą ir plastiškumą pagal Maršalą. Ypatingas dėmesys skiriamas bitumo kiekiui asfaltbetonio mišiniuose. Nustatyta, kad asfaltbetonio mišinys geriausias savybes įgyja tada, kai jame yra tinkamas (optimalus) bitumo kiekis.

A. Laurinavičius ir D. Čygas (2003) pateikė Lietuvos Respublikos klimatinė sąlygų įtakos kelių asfaltbetonio dangoms duomenis. Tyrimų rezultatai parodė, kad plastinių deformacijų (vėžių ir bangų) susidarymo asfaltbetonio dangose galimybė yra gerokai didesnė, kai dangos temperatūros intervalas yra 20–40 °C ir daugiau.

Nemažai bandymų buvo atlikta (Fwa *et al.* 2004; Ramsamooj *et al.* 1998) siekiant išnagrinėti, kaip asfaltbetonio mišinio vidinis trinties kampas bei sukibimas veikia provėžų susidarymą. Rezultatai buvo gauti taikant triašį bandymo metodą ir imituojuojant judančią apkrovą. Atlikti tyrimai parodė, jog abu šie parametrai turi įtakos asfaltbetonio atsparumui šlyties įtempiams – didesnis sukibimas ir vidinis asfaltbetonio trinties kampas pagerina asfaltbetonio savybes priešintis deformacijoms.

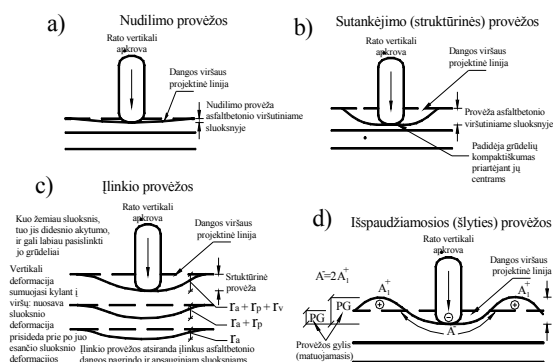
Straipsnio tikslas – surinkus duomenis apie valstybinės reikšmės kelių išmatuotų provėžų gylį, nustatyti jo pasiskirstymo statistinius rodiklius ir įvertinti jų atitiktį keliamiems reikalavimams.

Provėžų susidarymo asfalto dangoje priežasčių ir parametrų modeliai

Svarbiausia vėžių susidarymo priežastis yra sunkiųjų krovininių automobilių ašių statinės ir dinaminės apkrovos. Dėl didesnių nei leistina (11,5 t) ašies apkrovų, stabdymo ir greitėjimo krovininiai automobiliai kelio dangai turi beveik visą ardomąjį poveikį, tačiau didžiausias provėžų poveikis būna greitai važiuojančių automobilių nesaugiam eismui. Dilimas prasideda pradinėje kelio naudojimo fazėje ir intensyveja didėjant automobilių srautams. Dėl nepakankamo kelio konstrukcijos sluoksnių stiprumo pradeda formuotis vėžės, bangos, slinktytys ir išdaužos. Eksploatacijos pradžioje šie procesai yra beveik nepastebimi, tačiau bėgant laikui kelio dangos negrįžtamoji irtis vyksta nuolatos.

Lengviesiems, ypač su dygliuotomis padangomis, ir sunkiesiems automobiliams, važiuojant kelio danga, ji nuolat dyla. Asfaltbetonio viršutiniame sluoksnyje susidaro **nudilimo provėža** (1 pav. a). Nudilimo provėžos – tai važiuojamosios dalies ratų riedėjimo juostose dėl intensyvaus eismo atsirandantis kelio dangos viršutinio sluoksnio dėvimasis suplonėjimas ir šiurkštumo sumažėjimas. Tai anksčiausiai atsirandanti, tačiau mažiausiai eismo saugumui ir patogumui įtakos turinti provėžų rūšis.

Laikui bėgant ir nuolatos kelio dangą veikiant automobilių apkrovoms, susiformuoja kita provėžų rūšis – **sutankėjimo provėža** (1 pav. a). Sutankėjimo provėža – tai asfaltbetonio susitankinimo, sumažėjant jo liekamajam akytumui dėl automobilių eismo, pasekmė, kai grūdeliai pasislenka vienas kito atžvilgiu. Tokios provėžos yra beveik neišvengiamos, tačiau jeigu asfaltbetonio dangos viršutinio sluoksnio sudėtis ir dangos sluoksnių įrengimo technologija yra tinkami, šių provėžų gylis yra nedidelis.



1 pav. Provėžos: a – nudilimo; b – sutankėjimo; c – įlinkio; d – išspaudžiamosios

Fig. 1. Ruts resulting from: a – wearing; b – consolidation; c – deflection; d – depression

Kadangi asfaltbetonis nėra vienintelis kelio konstrukcijos sluoksniu, svarbu įvertinti ir tinkamai paruošti po juo esančius sluoksnius, nes kuo sluoksniu žemiau, tuo jis silpnesnis, ir gali labiau pasislinkti jo grūdėliai. Dėl didelio akytumo įlinkus asfaltbetonio dangos pagrindo ir apsauginiam sluoksniams, susidaro **įlinkio provėžos** (1 pav. c). Įlinkio provėžos – tai deformacijos, kurios susiformuoja visoje asfaltbetonio dangos konstrukcijoje. Provėžų gylis viršutiniame asfaltbetonio sluoksnyje yra deformacijų, susidariusių žemesniuose dangos sluoksniuose, rezultatas. Tokių deformacijų priežastis yra silpna dangos pagrindo ar šalčiui atsparaus sluoksnio laikomoji geba.

Sudėtingiausios ir pavojingiausios provėžos, susijusios su šlyties deformacijomis viršutiniame asfaltbetonio sluoksnyje, – **išspaudžiamosios provėžos** (1 pav. d). Pagrindinė šių provėžų susidarymo priežastis yra šlyties įtempiai asfaltbetonyje, sukelti didesnes plastines deformacijas, dėl kurių dalis asfaltbetonio išspaudžiama į keteras ratų riedėjimo juostos kraštuose. Šios provėžos yra liekamųjų deformacijų akumuliacija viršutiniame asfaltbetonio sluoksnyje.

Provėžų matavimų keliuose ir gautų duomenų apdorojimo metodika

Lietuvoje provėžų problema yra labai aktuali ir iki šiol neišspręsta. Nuolatos magistraliniais keliais važiuojant sunkiajam transportui jos gilėja. Netaisant dangos per kelis metus provėžos viršytų leistiną (20 mm) ir pasiektų kritinį (40 mm) gylį, dėl kurio neišvengiamai padaugėtų eismo įvykių ir nelaimingų atsitikimų.

Transporto ir kelių tyrimų instituto (TKTI) darbuotojai išmatavo Lietuvos valstybinės reikšmės kelių (18 magistralinių ir 132 krašto) provėžų gylius kas 20 m. ir gauti duomenys buvo ir dabar yra naudojami vertinant ir gerinant šalies kelių būklę. Matavimams buvo naudojama mobili kelių tyrimo laboratorija RST 28 (2 pav.).

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

pateiktus duomenis ir pateikia defektų žemėlapi bei vėžetumo statistinius rodiklius, t. y. kiek procentų vėžių, gilesnių kaip 20 mm, yra visuose magistraliniuose ar krašto keliuose.

Provėžų susidarymo ir gilėjimo procesas magistraliniuose keliuose yra ypač aktualus, nes jais daugiausiai važiuoja sunkiojo transporto. Provėžų gyliai šiuose, kaip ir krašto, keliuose matuojami abiem kryptimis, kiekvienoje juostoje, po kairiuoju ir dešiniuoju ratu. Kaip pavyzdį pateikiame magistralinio kelio Vilnius–Kaunas provėžų pasiskirstymo skersine kelio kryptimi schemą (3 pav.).

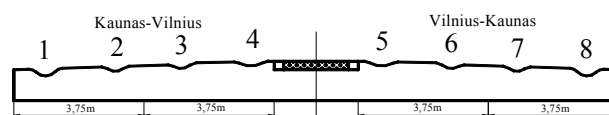
Pagal TKTI pateiktus kelių provėžų matavimų duomenis buvo atlikti skaičiavimai ir gauti 8 provėžų gylio (3 pav.) statistiniai rodikliai, pagal kuriuos braižoma santykinų dažnių pasiskirstymo intervaluose histograma ir teorinė pasiskirstymo kreivė, kai kas 20 m matuojamas kelio vėžetumas (4 pav.).

Vienas labiausiai apkrautų magistralinių kelių Lietuvoje yra kelias Vilnius–Kaunas. Tai yra pagrindinis kelias Lietuvoje, jungiantis Rytų ir Vakarų Europos transporto sistemą. Važiuojant maksimaliai pakrautoms ir perkrautoms sunkiasvorėms transporto priemonėms, prieš kelis dešimtmečius nutiestas kelias negali atlaikyti esamų apkrovų ir pradeda deformuotis (atsiranda provėžų). Norint įvertinti šio kelio būklę, iš TKTI buvo gauti provėžų gylių matavimo pradiniai duomenys, iš kurių apskaičiuotas ruožų (11–38 km; 43–100 km) pirmosios juostos dešimtosios provėžos kiekvieno kilometro išilgine kelio kryptimi aritmetinis vidurkis \bar{h} (padėties rodiklis) ir standartinis nuokrypis s_h (sklaidos rodiklis).



2 pav. Mobilieji kelių tyrimo laboratorija RST 28 žiūrint iš: a – galo; b – priekio

Fig. 2. Rear (a) and front (b) views of the mobile laboratory for road testing RST 28



3 pav. Provėžų pasiskirstymas kelio su skiriamąja juosta skersine kryptimi

Fig. 3. Distribution of ruts on the road with a transverse dividing strip

Kiekvieno kilometro aritmetiniam vidurkiui \bar{h} skaičiuoti buvo paimti 50 matavimų duomenys (matuota kas 20 m). Iš rezultatų, gautų atlikus provėžų gylių pasiskirstymo skaičiavimus grupuojant juos į intervalus (klases), buvo apskaičiuoti kiekvieno kilometro aritmetiniai vidurkiai \bar{h} ir nubraižoma jų taškinė diagrama (5 pav. a):

$$\bar{h} = \bar{h}_0 + \frac{\sum_{i=1}^r mf}{\sum_{i=1}^r m_i} \cdot l, \quad (1)$$

čia: \bar{h} – aritmetinis vidurkis; \bar{h}_0 – intervalo, kuriame imta, kad $f=0$, vidurkis, mm; m – absoliutusias intervalo dažnis, vnt.; f – nuokrypa nuo vidurkio; $\sum_{i=1}^r mf$ – sandaugos suma; $\sum_{i=1}^r m_i$ – absoliučiuųjų dažnių pasiskirstymo intervaluose suma, lygi n ; l – intervalo (klasės) plotis, mm.

Naudojant tuos pačius duomenis apskaičiuojami kiekvieno kilometro standartiniai nuokrypiai s_h ir nubraižoma jų stulpelinė diagrama (5 pav. b):

$$s_h = l \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^r mf^2}{\sum_{i=1}^r m_i} - \left(\frac{\sum_{i=1}^r mf}{\sum_{i=1}^r m_i}\right)^2}. \quad (2)$$

Provėžos gylio didelis nevienodumas, kurį rodo s_h , pavojingas tuo, kad vairuotojui sukelia netikėtumo pojūtį ir jis ne visada būna pasiruošęs tinkamai laikyti automobilio vairą, ypač kai gilioje provėžoje yra vandens ar ji apledėjusi.

Technikos ir technologinių parametrų duomenys dažniausiai pasiskirsto pagal normalųjį skirstinį. Ar provėžų gylis asfalto dangoje atitinka šį skirstinį, tikrinome taikydami Kolmogorovo kriterijų.

Tai nparametrinės hipotezės $H_0: F(x) = F_0(x)$ tikrinimo kriterijus, kurį grindžiame empirinės ir teorinės pasiskirstymo funkcijos didžiausiu nuokrypiu – statistika.

$$D_n = \sup |F_n(x) - F_0(x)|. \quad (3)$$

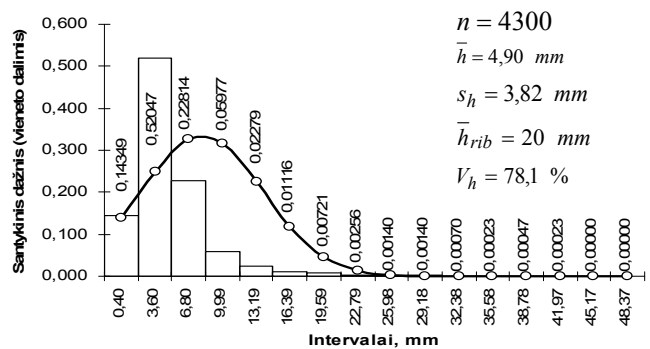
Tikrinant apskaičiuojama tiriamosios imties statistikos skaitinė vertė:

$$\lambda_{1-\alpha} = D_n \cdot \sqrt{n}, \quad (4)$$

čia: D_n – didžiausia suminio skirtumo modulio reikšmė; n – matavimų skaičius (imties didumas).

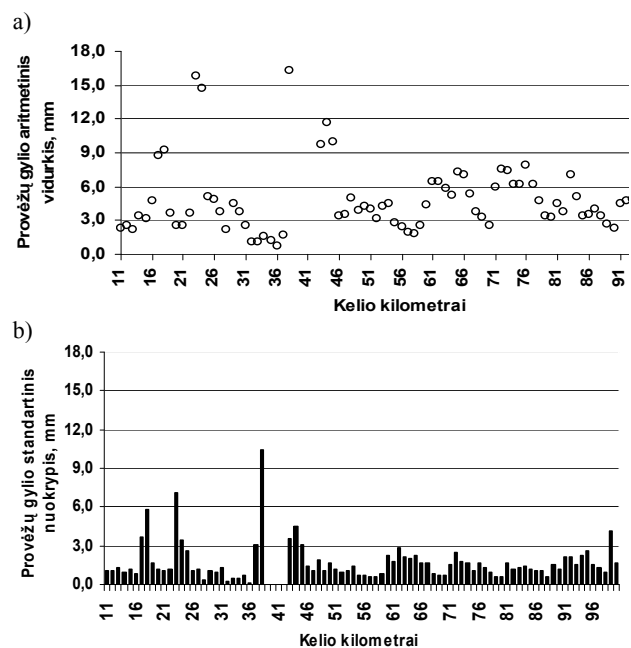
Naudojant rekomenduotą reikšmingumo lygio vertę $\alpha = 0,30$, randama kritinė Kolmogorovo statistikos reikšmė $\lambda_{kr} = 0,974$.

Kadangi atliktų tyrimų apskaičiuotoji statistikos vertė 55,3 yra daug didesnė už kritinę Kolmogorovo statistikos reikšmę, tai galima teigti, jog empiriniai duomenys pasiskirsto ne pagal normalųjį skirstinį. Manoma, kad duomenys atitinka lognormalųjį skirstinį (Hastings ir Peacock 1980).



4 pav. Magistralinio kelio Vilnius–Kaunas aštuntos provėžos gylių pasiskirstymo histograma ir teorinė pasiskirstymo kreivė su imties statistiniais duomenimis

Fig. 4. Histogram of the 8-th rut depth distribution on the highway Vilnius–Kaunas and theoretical distribution curve with the statistical sample data



5 pav. Kelio Vilnius–Kaunas ruožų (11–38 km; 43–100 km) pirmosios juostos dešiniojo provėžos gylio kiekvieno kilometro: a – aritmetinių vidurkių \bar{h} taškinė diagrama; b – standartinių nuokrypių s_h stulpelinė diagrama

Fig. 5. Dotted diagram of arithmetic means \bar{h} (a), column chart of standard deviations s_h (b) of the right rut depth of the 1-st lane of Vilnius–Kaunas highway sections (11–38 km; 43–100 km)

Provėžų pasiskirstymo kelyje Vilnius–Kaunas statistiniai duomenys ir jų analizė

Vertinant ir lyginant kelio Vilnius–Kaunas skirtingų provėžų (jų yra aštuonios) vidutinę būklę, buvo apskaičiuoti kiekvienos provėžos gylių pasiskirstymo visuose vieno kilometro ruožuose aritmetinis vidurkis \bar{h} ir standartinis nuokrypis s_h skersine kelio kryptimi ir nubraižytos jų taškinė (6 pav.) bei stulpelinė (7 pav.) diagramos.

Kiekvienos provėžos gylio aritmetinis vidurkis \bar{h}_{vid} sudėjęs kiekvieno matuojamo provėžos kilometro aritmetinius vidurkius ir padalijus juos iš išmatuotų kilometrų skaičiaus:

$$\bar{h}_{vid} = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{h}_i}{m}, \quad (5)$$

čia: \bar{h}_{vid} – vidutinis provėžos gylio aritmetinis vidurkis (skersine kelio kryptimi tokios 8 provėžos); \bar{h}_i – kiekvieno kilometro provėžos gylio 50 matavimų aritmetinis vidurkis (išilgine kelio kryptimi); m – tirtu kelio kilometrų skaičius.

Atskirų provėžų gylio standartinių nuokrypių vidurkiai s_{hvid} apskaičiuoti dviem būdais: su išskirtimis ir be išskirčių, taikant Kochrano kriterijų G_i , bei nubraižytos jų diagramos (7 pav.). Kochrano kriterijus naudojamas todėl, kad matavimų skaičius kiekviename kilometre yra vienodas ir lygus 50. Su išskirtimis vienos provėžos gylio standartinio nuokrypio vidurkis s_{hvid} apskaičiuojamas taip:

$$s_{hvid} = \sqrt{\frac{s_{h1}^2 + s_{h2}^2 + \dots + s_{hm}^2}{m}}, \quad (6)$$

čia: $s_{h1}^2, \dots, s_{hm}^2$ – tiriamosios provėžos pirmojo, ..., m -ojo kilometro ruožo ilgio vidutinio gylio dispersija, mm^2 ; m – kilometrų skaičius ($m = 85$) kelio ruože.

Be išskirčių vidutinis standartinis nuokrypis s_{hvid} randamas skaičiuojant Kochrano kriterijų G_i ir lyginant jį su kritiniais duomenimis $G_{\alpha, n-1}$, pateiktais lentelėje (Смирнов ir Дунин-Барковский 1969). Atmetami labai išsiskiriantys matmenys. Atmetinėjami tol, kol Kochrano kriterijaus statistika G_i gaunama mažesnė už lentelėje pateiktą kritinį dydį $G_{\alpha, n-1}$ (Гмурман 1972).

$$G_i = \frac{s_{h\max}^2}{s_{h1}^2 + s_{h2}^2 + \dots + s_{hm}^2}, \quad (7)$$

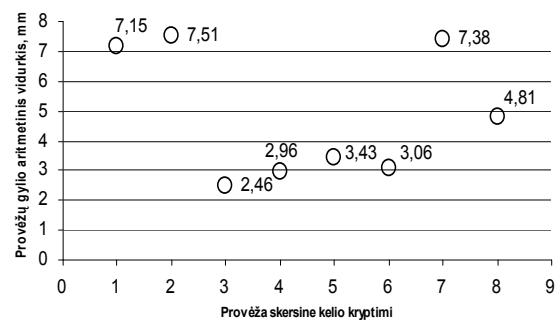
čia: $s_{h\max}^2$ – kelio kilometro ilgio ruožo provėžos gylio didžiausia dispersija, mm^2 ; α – reikšmingumo lygmuo ($\alpha = 0,05$); n – kilometro ruožo matavimų skaičius

($n = 50$), imties didumas vienodas; m – kilometrų skaičius ($m =$ nuo 1 iki 85) kelio ruože.

Be išskirčių apskaičiuotos s_{hvid} vertės yra mažesnės už iš visų duomenų gautas s_{hvid} vertes ir rodo tikslesnę būklę.

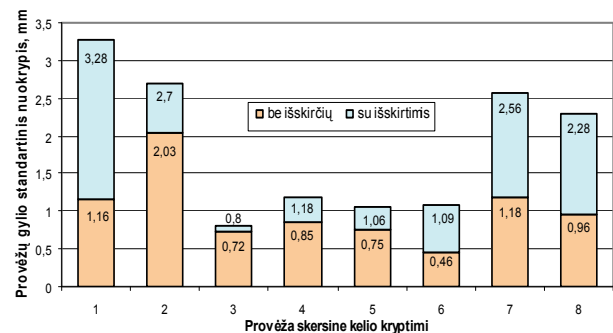
Išvados

1. Lietuvos magistralinių kelių provėžų gyliai pasiskirsto ne pagal normalųjį, o pagal lognormalųjį skirstinį.
2. Provėžos yra giliausios kelio juostose, esančiose arčiausiai kelkraščio, nes jomis daugiausiai važiuoja sunkieji automobiliai. Šiose juostose taip pat jų gylis yra nestabiliausias – turi didžiausius skirtumus.



6 pav. Kelio Vilnius–Kaunas provėžų gylio vidutinio aritmetinio vidurkio \bar{h}_{vid} skersine kelio kryptimi (3 pav.) diagrama

Fig. 6. A diagram of the arithmetic mean \bar{h}_{vid} of the transverse ruts' depth of the major Vilnius–Kaunas highway (see Fig. 3)



7 pav. Kelio Vilnius–Kaunas visų 8 provėžų gylio vidutinio standartinio nuokrypio s_{hvid} ir s_{hvid} diagrama

Fig. 7. A diagram of the standard mean deviation s_{hvid} and s_{hvid} of the depth of all eight ruts on the major highway Vilnius–Kaunas

Literatūra

- Faheem, A. F.; Bahia, H. U.; Ajideh, H. 2005. Estimating results of a proposed simple performance test for hot-mix asphalt from Superpave gyratory compactor results, *Transportation Research Record* 1929: 104–113.
[doi:10.3141/1929-13](https://doi.org/10.3141/1929-13)
- Fwa, T. F.; Tan, S. A.; Zhu, L. Y. 2004. Rutting prediction of asphalt pavement layer using c- ϕ model, *Journal of Transportation Engineering* 130(5): 675–683.
[doi:10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2004\)130:5\(675\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2004)130:5(675))
- Haryanto, I.; Takahashi, O. 2007. Use of secant shear modulus for rutting potential assessment of Indonesian wearing course mixtures, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2(3): 95–100.
- Hufenus, R.; Rueegger, R.; Banjac, R. 2006. Full-scale field tests on geosynthetic reinforced unpaved roads on soft subgrade, *Geotextiles and Geomembranes* 24(1): 21–37.
[doi:10.1016/j.geotexmem.2005.06.002](https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2005.06.002)
- Hastings, N. A. J.; Peacock, J. B. 1980. *Statistical distributions. A handbook for students and practitioners*. London: Butterworths, 55–61.
[doi:10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(2006\)18:4\(492\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(2006)18:4(492))
- Laurinavičius, A.; Čygas, D. 2003. Thermal conditions of road pavements and their influence on motor traffic, *Transport* 18(1): 23–31.
- Laurinavičius, A.; Oginskas, R. 2006. Experimental research on the development of rutting in asphalt concrete pavements reinforced with geosynthetic materials, *Journal of Civil Engineering and Management* 12(4): 311–317.
- Nazarian, S.; Alvarado, G. 2006. Impact of temperature gradient on modulus of asphaltic concrete layers, *Journal of Materials in Civil Engineering* 18(4): 492–498.
- Radziszewski, P. 2007. Modified asphalt mixtures resistance to permanent deformation, *Journal of Civil Engineering and Management* 8(4): 307–315.
- Ramsamooj, D. V.; Ramadan, J. P. E.; Lin, G. S. 1998. Model prediction of rutting in asphalt concrete, *Journal of Transportation Engineering* 124(5): 448–456.
[doi:10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1998\)124:5\(448\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1998)124:5(448))
- Sivilevičius, H.; Šukevičius, Š. 2007. Dynamics of vehicle loads on the asphalt pavement of European roads which cross Lithuania, *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 2(4): 147–154.
- Topal, A.; Sengoz, B. 2005. Determination of fine aggregate angularity in relation with the resistance to rutting of hot-mix asphalt, *Construction and Building Materials* 19(2): 155–163. [doi:10.1016/j.conbuildmat.2004.05.004](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.05.004)
- Witczak, M. W.; Fonseca, O. A. 1996. Revised predictive model for dynamic (complex) modulus of asphalt mixtures, *Transportation Research Record* 1540: 15–23.
[doi:10.3141/1540-03](https://doi.org/10.3141/1540-03)
- Гмурман, В. Е. 1972. *Теория вероятностей и математическая статистика*. Москва: Высшая школа, 330–332.
- Смирнов, Н. В.; Дунин-Барковский, И. В. 1969. *Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений*. Москва: Наука, 479–480.

STATISTICAL ANALYSIS AND EVALUATION OF THE DEPTH OF THE RUTS ON LITHUANIAN STATE SIGNIFICANCE ROADS

E. Getautis, H. Sivilevičius

Abstract

The paper aims to determine the statistical indicators of distribution of the calculated rut depth of the state significance roads and to check their compliance with the requirements raised.

The analysis of the works, investigating the problems of rut development and deepening on asphalt pavement and their effect on traffic conditions, is presented.

The models of the dynamics of rut development on asphalt road pavement are also given.

The experimental research aimed at determining the distribution of rut depth on the state significance highway Vilnius–Kaunas is described.

The conclusions made are also presented.

Keywords: rut, asphalt pavement, dynamics of deepening, vehicle, statistical analysis.