



21-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos  
**TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA**,  
vykusios 2018 m. gegužės 4-5 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 21th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'  
**TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT**, 4-5 May 2018, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 21-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»  
**ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК**, 4-5 мая 2018 г., Вильнюс, Литва

## ORLAIVIO RATO SUKIBIMO SU KILIMO – TŪPIMO TAKU KOEFIICIENTO VARIACIJOS TYRIMAS IR VERTINIMAS

Lauras Kuodis, Henrikas Sivilevičius

Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Transporto inžinerijos fakultetas,  
El. pastas: lauras.kuodis@stud.vgtu.lt; henrikas.sivilevicius@vgtu.lt

**Santrauka.** Oro uosto kilimo – tūpimo tako (KTT) danga pagal ICAO (International Civil Aviation Organization) standartus privalo būti tokios tekstūros, kuri užtikrina geras orlaivio stabdymo sąlygas, kai rato sukibimo su danga koeficiento reikšmė ne mažesnė kaip  $\varphi \geq 0,40$ . Vilniaus oro uosto kilimo – tūpimo tako sukibimo koeficiento matavimai vykdomi kritiniais žiemos mėnesiais, kai yra įtarimas, jog danga dėl blogų oro sąlygų gali būti netinkama eksploatacijai. Matuojama naudojant skidometrą „SARSYS STFT“ arba „Douglas MU – Meter MK6“. Darbe pateikti 2016 metų pagal oro sąlygas kritinių mėnesių (sausio, vasario, lapkričio ir gruodžio) išmatuoto sukibimo koeficiento statistiniai duomenys. Eksperimentiniai sukibimo koeficiento padėties ir sklaidos parametrai, jo normaliojo skirstinio teorinės tikimybių tankio kreivės leido nustatyti, kaip kinta sukibimo koeficientas ir kaip dažnai tenka imtis priemonių tako dangos būklei gerinti.

**Reikšminiai žodžiai:** kilimo – tūpimo takas (KTT), statistiniai rodikliai, sukibimo koeficientas, skidometras, normų reikalavimai.

### Įvadas

Norint užtikrinti saugų orlaivio kilimą ir tūpimą, labai svarbu atsižvelgti į kilimo – tūpimo tako būklę. Teisingas ir ištisinis tako sukibimo koeficiento išmatavimas ir įvertinimas leidžia tinkamai priimti sprendimus dėl tako eksploatacijos.

Pliopio ir Sivilevičiaus (2013) straipsnyje aprašyta sukibimo koeficiento matavimo metodika ir būdai bei reikalavimai procedūrai atlikti. Jie gali būti taikomi ne vien tyrinčiuose magistralinių kelių ruožuose, bet ir oro uostuose KTT būklei įvertinti. Bianchini ir Gonzalez (2014) aptaria Jungtinėse Amerikos Valstijose naudojamą tako būklės tinkamumo įvertinimo būdą CBR (California Bearing Ratio) ir jį praplečia įvesdami naujus kintamuosius. Dangos būklės indeksas (PCI) ir struktūros būklės indeksas (SCI) nagrinėjami Tarefder ir Rahman (2016) straipsnyje, šiuos indeksus skaičiavimuose apjungiant ir bandant išvesti tako eksploatacijos kaštus pagal indeksų vertes. Leonelli *et al.* (2017) straipsnyje nagrinėja skirtingų tako remonto medžiagų eksploatacines savybes. Nustatyta, kad geriausia medžiaga remontui yra vieno komponento greitai stingstantis cemento mišinys su smulkiais priedais. White (2018) nagrinėja skirtingas asfalto savybes ir jo tinkamumą tiesiant takus. Rato ir tako sąveika nagrinėjama Shafabakhsh ir Kashi (2015) straipsnyje. Šiuose straipsniuose mokslininkai įvertinamas ir aprašomas rato

sukibimo koeficientas, nurodant nuo ko jis priklauso ir kodėl svarbu jį tyrinėti.

Padangos ir dangos reikiamas sukibimas orlaiviamas svarbus jų riedėjimo, kilimo ir tūpimo metu. Dangai esant padengtai sniegu, sukibimas tarp rato ir dangos mažėja, todėl būtina žinoti skirtingų rūšių sniego įtaką sukibimui tarp rato ir dangos (Ružinskas *et al.* 2016). Klein (2017) analizavo Boeing 737 orlaivio stabdymo savybes skirtingo tipo sniegu padengtame KTT. Išskirtos trys tako būklės, kurioms esant tirtos stabdymo savybės: sausas sniegas, šlapias sniegas ir tižė. Pagrindinis tyrimo rezultatas buvo tas, kad šlapiu sniegu padengtas takas yra žymiai slydesnis nei padengtas tiže. Sukibimas, įvertintas kaip „prastas“ arba „mažiau nei prastas“, buvo nustatytas lėktuvui leidžiantis drėgnu sniegu, padengtu taku 21% stebėtų atvejų, o leidžiantis tiže padengtu taku – tik 11%. Tai galėjo lemti drėgno sniego savybę žymiai labiau susispausti lyginant su tiže.

### Sukibimo koeficiento svarba

Orlaivio pakilimas nuo tako paviršiaus ir tūpimas ant jo yra didžiausių fizikinių jėgų veikiami skrydžio ciklo elementai. Jų metu ypač svarbu žinoti tiek kilimo-tūpimo tako dangą, tiek ratą veikiančių jėgų dydžius tam, kad būtų galima užtikrinti sklandžius skrydžio pradžios ir pabaigos etapus. Viena iš šių jėgų yra trintis, susidaranti tarp orlaivio rato ir KTT. Rato sukibimo su KTT koefi-

cientas priklauso nuo skirtingų tako dangos medžiagų, orlaivio rato padangų modelių tako dangos būklės esant skirtingoms oro sąlygoms ir jos užterštumo gumos nuosėdomis (De Luca *et al.* 2016).

### Kilimo-tūpimo tako sandara ir priežiūra

Oro uostų takai reikalauja santykinai didelių investicijų, todėl juos įrengiant ir prižiūrint svarbu užtikrinti kuo ilgesnį jų naudojimą ir minimizuoti dėvėjimąsi. Skirtingos tako dangos apriboja galimų pakilti ir leisti orlaivių tipus (Shafabakhsh, Kashi 2015). Takai pagal medžiagas, iš kurių yra nutiesti, skirstomi į dvi pagrindines kategorijas: dengti kieta danga ir gruntiniai takai. Populiariausios iš kietųjų ir dažniausiai oro uostuose pasitaikančių dangų, yra asfaltbetonis. Vis dėlto, išaugus gamybos technologijų galimybėms ir plėtojantis medžiagų mokslui, šiuolaikinė aviacijos pramonė ieško naujesnių asfalto mišinių, turinčių dar geresnes charakteristikas. Nepamirštas ir funkcionaliausias KTT paviršiaus kūrimas, suteikiant jam papildomas makro arba mikro tekstūros savybes. Kai kurioms dangoms, pavyzdžiui, kietosioms, reikalinga papildomai įrengti makrotekstūrinį paviršių, užtikrinantį didesnę trintį ir sukuriant vandens drenavimo sistemą (White 2018).

Kaip jau minėta, kilimo-tūpimo takų įrengimas ir priežiūra yra vieni brangiausių oro uosto funkcionavimo elementų, todėl ir padangų gamybos pramonei tenka užduotis kurti orlaivių padangas iš tokių gumos mišinių, kurie minimizuotų dangos dėvėjimąsi ir tuo pačiu kuo efektyviau išlaikytų orlaivio tūpimo metu tenkantį krūvį. Dėl šio krūvio padangos ne tik gali užsidegti ekstremaliai išaugus trinties jėgai, bet ir sprogti dėl susidarančio slėgio, kas išbalansuotų orlaivio pusiausvyrą ir sukeltų grėsmę saugiam nusileidimui ar pakilimui. Skaičiuojama, kad kiekvieno nusileidimo metu ant tako paliekama vidutiniškai 700 g ratų padangų gumos, kuri vėliau turi būti pašalinti, kad būtų atstatytos tinkamos sąlygos trinčiai tarp orlaivio rato ir tako dangos susidaryti (De Luca *et al.* 2016).

Nepalankios oro sąlygos, krituliai spartina tako eroziją ir didina nutūpimui ar pakilimui netinkamų ruožų susidarymą. Akvaplaningo metu susidarantis vandens, ledo ar sniego sluoksnis neleidžia orlaivio ratui kontaktuoti su tako danga ir efektyviai sumažinti jo greitį ant tako paviršiaus. Manoma, kad akvaplaningas, susidarantis ant apledėjusio ar slidaus kilimo-tūpimo tako, sumažina sukibimo koeficientą beveik penktadaliu palyginus su sausu taku.

Visos išvardintos priežastys reikalauja periodiškai matuoti ir įvertinti KTT dangos sukibimo su orlaivio ratu lygį pagal ICAO standartus. Taip pat sukibimas tikrinamas po bet kokių tako tvarkymo ar restauravimo darbų, kurie galėjo turėti įtakos dangos paviršiaus būklės pokyčiams, pavyzdžiui rekonstravus KTT, kaip tai buvo padaryta 2017 metų liepos 14 – rugpjūčio 18 Vilniaus oro uoste. Sausa KTT danga yra kibesnė lyginant su šlapia danga ir sukibimo koeficiento vertės esant sausai dangai yra žymiai didesnės, nei šlapiai.

### Ekspimentinių tyrimų metodika

Vilniaus oro uosto KTT sukibimo koeficiento reikšmė nustatoma vienu iš šių dviejų skidometrų: „SARSYS

STFT” (1 pav.) ir „Douglas MU – Meter MK6” (2 pav.). Vienas iš jų pagal ICAO reikalavimus yra atsarginis, o kitu matuojama. Pagrindinis naudojamas prietaisas yra „SARSYS STFT” (ICAO DOC 9137).



1 pav. Skidometras „SARSYS STFT” (autorinė nuotrauka)



2 pav. Skidometras „Douglas MU – Meter MK6” (autorinė nuotrauka)

Oro uosto kilimo – tūpimo dangos matavimai atliekami tam, kad būtų galima gauti duomenims, kurie naudojami priimant sprendimus, ar danga yra tinkama naudoti. Pagrindinis šių bandymų tikslas yra nustatyti, ar sukibimo koeficientas yra ICAO norminiuose dokumentuose apibrėžtose ribose (1 lentelė).

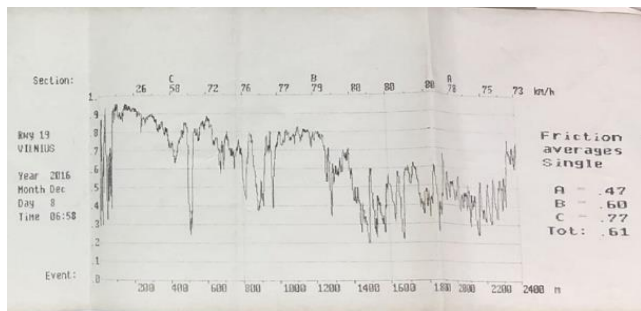
1 lentelė. ICAO normuotieji sukibimo koeficientai

Išmatuotas koeficientas	Numatomas stabdymas	Kodas
0,40 ir virš	Geras	5
0,40 iki 0,36	Vidutiniškai geras	4
0,35 iki 0,30	Vidutiniškas	3
0,29 iki 0,26	Vidutiniškai silpnas	2
0,25 ir žemiau	Silpnas	1

Sukibimo koeficientui esant žemiau 0,35 reikšmės, informuojamas dispečeris, kuris perduoda informaciją orlaivių įguloms. Taip pat planuoja kilimo – tūpimo tako užimtumą, kad anžeminės tarnybos turėtų laiko valymo darbams atlikti. Visgi galutinis sprendimas yra orlaivio kapitono, kuris, sužinojęs sukibimo koeficiento vertę, priima galutinį sprendimą. Esant 0,25 ir žemesnei reikšmei, takas neeksploatuojamas, pradedami jo valymo ir

antiledodaros darbai. Vieną dieną gali tekti matuoti nuo 1 iki 10 kartų, priklausomai nuo oro sąlygų.

Matavimai atliekami šia seka: 1) matuojamas visas tako ilgis, dviejuose ruožuose, tose tako vietose, kur leidžiasi pagrindinės orlaivio važiuoklės, 2) nominalus automobilio su matavimų priekaba „SARSYS STFT“ važiavimo greitis 96km/h, 3) matavimų duomenys perduodami į kompiuterį, kur informacija apdorojama, takas suskirstomas į tris zonas ir pateikiamos kiekvienos zonos sukibimo koeficiento vidutinės reikšmės ir viso tako vidutinė sukibimo koeficiento reikšmė, 4) išspausdinama ataskaita su grafiniu vaizdu (3 pav.)



3 pav. Skidometru išmatuoto KTT apdorotų duomenų ataskaita (pavyzdys)

### Ekspimentiniai duomenys ir jų analizė

Vilniaus oro uosto kilimo – tūpimo tako 2016 metų matavimų duomenys pateikti 2 lentelėje. Iš jos matome, kad 2016 metais iki KTT rekonstrukcijos matavimai vyko keturis mėnesius. Iš viso kilimo – tūpimo takas buvo matuotas 126 kartus. Išmatuotas sukibimo koeficiento reikšmės vertinome atlikę statistinę analizę pagal metodiką (Sivilevičius 2005).

2 lentelė. Bandymų metu 2016 metais išmatuotų sukibimo koeficiento duomenų suvestinė

Mėnuo	Matavimų skaičius
Sausis	34
Vasaris	36
Lapkritis	20
Gruodis	36

Panaudojant gautus duomenis, skaičiuotos padėties ir sklaidos pagrindinės statistinės charakteristikos.

Populiacijos aritmetinis vidurkis:

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

čia:  $\varphi_i$  – i-tojo sukibimo koeficiento reikšmė;  $n$  – sukibimo koeficiento reikšmių skaičius ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Sukibimo koeficiento standartinis nuokrypis skaičiuojamas iš šios formulės:

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

čia:  $\varphi_{vid}$  – sukibimo koeficiento aritmetinis vidurkis.

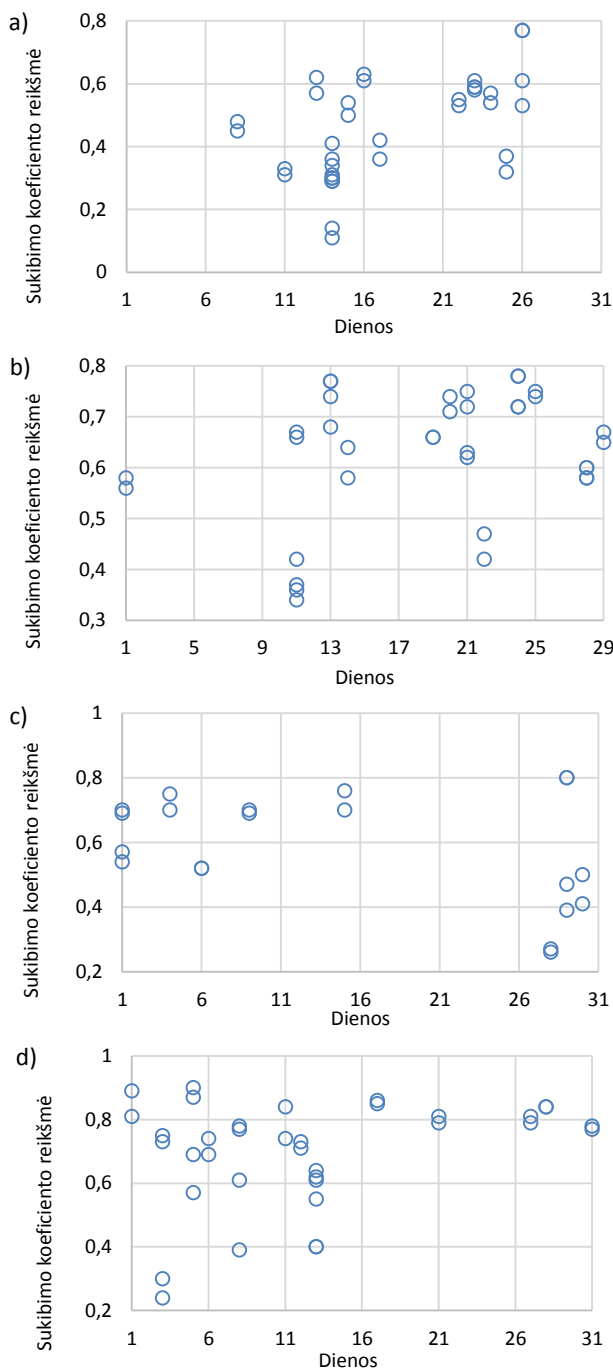
Standartinis nuokrypis rodo, kaip arti nuo vidurkio pasiskirsto atskiros reikšmės, t.y. kokia jų sklaida.

Procentinis variacijos koeficientas, tai standartinio nuokrypio ir aritmetinio vidurkio santykis, padaugintas iš 100. Skaičiuojamas pagal šią formulę:

$$V_\varphi = \frac{S_\varphi}{\varphi_{vid}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

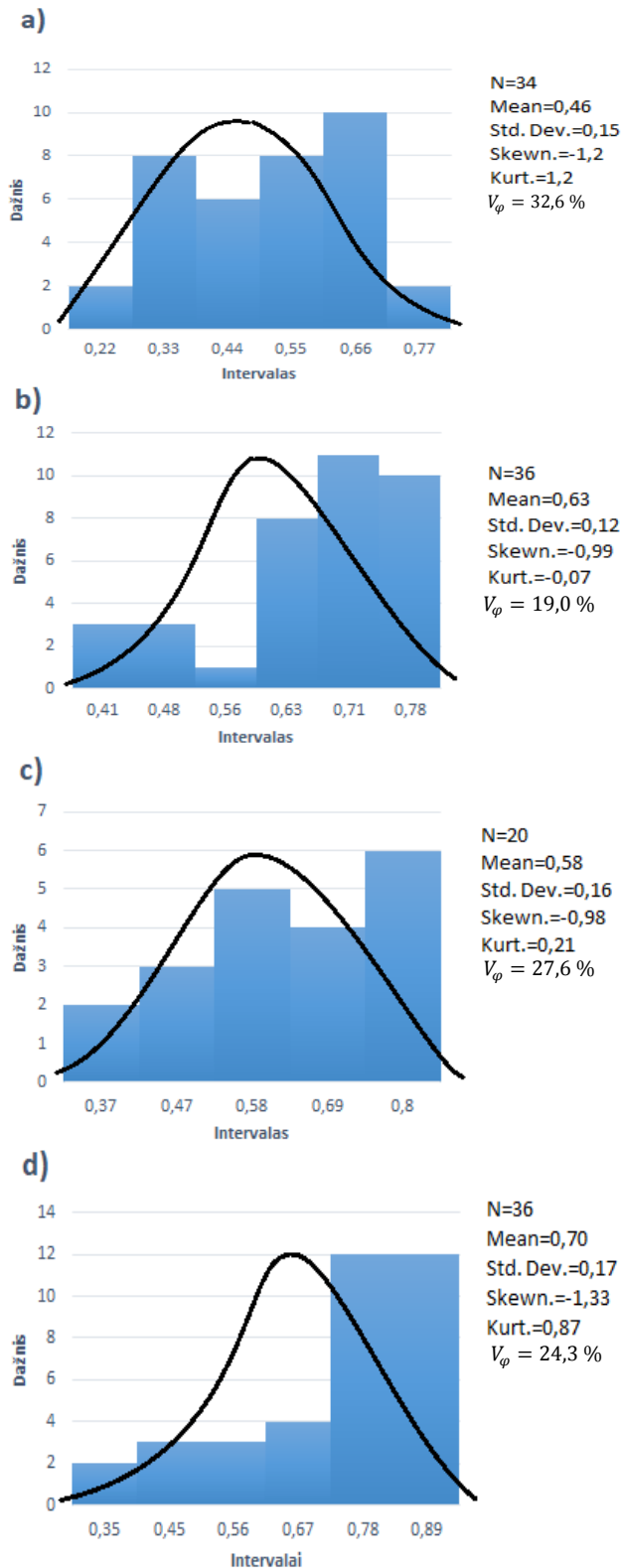
čia:  $S_\varphi$  – sukibimo koeficiento reikšmių standartinis nuokrypis.

Kiekvieno mėnesio sukibimo koeficiento sklaida matoma taškinėse diagramose (4 pav.)



4 pav. Vilniaus oro uosto nerekonstruoto kilimo – tūpimo tako 2016 metais skidometru išmatuotos rato sukibimo su danga koeficiento reikšmės: a) sausis, b) vasaris, c) lapkritis, d) gruodis

Iš atliktų matavimų buvo braižomos kiekvieno mėnesio rato sukibimo su danga koeficiento histogramos ir teorinės normaliojo skirstinio kreivės (5 pav.).



5 pav. Nerekonstruoto kilimo – tūpimo tako rato sukibimo su danga koeficiento histogramos, normaliojo skirstinio teorinės kreivės ir statistinės charakteristikos: a) sausis, b) vasaris, c) lapkritis, d) gruodis

Šalia jų pateiktos statistinių rodiklių reikšmės: imties didumas N; vidurkis Mean; Standartinis nuokrypis Std. Dev.; asimetrijos koeficientas Skewn; eksceso koeficientas Kurt.

Iš atlikto eksperimentinio tyrimo gauti (sk) empiriniai asimetrijos ir eksceso (ku) koeficientai buvo palyginti su kritinėmis jų standartinių nuokrypių reikšmėmis, kurios priklauso tik nuo imčių didumo n.

Joms apskaičiuoti buvo naudojamos formulės (Sivilevičius, Vansauskas 2012):

$$s_{sk} = \sqrt{\frac{6n(n-1)}{(n-2)(n+1)(n+3)}} \quad (4)$$

$$s_{ku} = \sqrt{\frac{24n(n-1)^2}{(n-3)(n-2)(n+3)(n+5)}} \quad (5)$$

Kai asimetrijos koeficiento modulis  $|sk| \leq 3s_{sk}$  ir eksceso koeficiento modulis  $|ku| \leq 5s_{ku}$ , galima laikyti, kad eksperimento duomenys yra pasiskirstę pagal normalinį dėsnį.

Kitu atveju iškelta nulinė hipotezė, teigianti, kad eksperimento duomenys yra pasiskirstę pagal normalinį skirstinį, atmetama, kaip neteisinga (Sivilevičius, Vansauskas 2012). Naudojantis (4) ir (5) formulėmis apskaičiuotos asimetrijos ir eksceso koeficientų standartinių nuokrypių kritinės reikšmės, pateiktos 3 lentelėje.

3 lentelė. Asimetrijos (sk) ir eksceso (ku) koeficientų standartinių nuokrypių reikšmės

n	$s_{sk}$	$s_{ku}$	$3s_{sk}$	$5s_{ku}$
20	0,521	0,9924	1,536	4,963
34	0,403	0,7878	1,193	3,889
36	0,3925	0,7681	1,178	3,840

Apskaičiuotas  $3s_{sk}$  ir  $5s_{ku}$  reikšmes palyginome su išmatuotų rato sukibimo su danga koeficiento asimetrijos (sk) ir eksceso (ku) reikšmėmis (4 lentelė). Vasario ir lapkričio mėnesių duomenys pasiskirstę pagal normalųjį skirstinį, o sausio ir gruodžio ne.

4 lentelė. KTT sukibimo koeficiento reikšmių pasiskirstymo atitikties normaliniam skirstiniui skaičiavimo rezultatai

Mėnesis	Eksperimento duomenys		Kritinės reikšmės		Išvada apie duomenų normališkumą	
	sk	ku	$3s_{sk}$	$5s_{ku}$	ne	taip
sausis	-1,20	1,20	1,193	3,889	ne	taip
vasaris	-0,99	-0,07	1,178	3,840	taip	taip
lapkritis	-0,98	0,21	1,536	4,963	taip	taip
gruodis	-1,33	0,87	1,178	3,840	ne	taip

**Pastaba:** „taip“ reiškia, kad duomenys tenkina normalųjį skirstinį, „ne“ reiškia, kad duomenys yra pasiskirstę ne pagal normalųjį Gauso skirstinį.

### Išvados

Prieš rekonstruojant Vilniaus oro uosto kilimo – tūpimo taką (KTT) 2016 metų žiemos laikotarpyje sausio, vasario, lapkričio ir gruodžio mėnesiais skidometru išmatuotos sukibimo koeficiento vidutinės reikšmės 0,46; 0,63, 0,58 ir 0,70 rodo gerą KTT būklę pagal orlaivio stabdymą, nes

yra didesnės kaip 0,40. Sukibimo koeficiento atskirų reikšmių standartiniai nuokrypiai 0,15; 0,12; 0,16 ir 0,17 atspindi šio rodiklio sklaidos didumą, dėl kurios dalis išmatuotų reikšmių rodo prastesnes orlaivio stabdymo sąlygas. Sausio mėnesį buvo daugiausia matavimų, atitinkančių orlaivio stabdymo blogesnes kaip „gera“ sąlygas.

Kiekvieno mėnesio eksperimento duomenų pasiskirstymo atitiktis normaliniam skirstiniui, nustatyta taikant

asimetrijos koeficientą (sk) ir eksceso koeficientą (ku), parodė, kad pagal šiuos statistinius rodiklius sukibimo koeficiento sklaidos rodiklių nulinė hipotezė yra priimtina, t. y. jie yra pasiskirstę pagal normalųjį Gauso dėsnį. Tai leidžia būsimuose tyrimuose pagrįstai taikyti matematinės statistikos kriterijus, reikalaujančius, kad duomenys būtų pasiskirstę pagal normalųjį Gauso dėsnį.

## Literatūra

- ASTM E2100 – 02 „Standard practice for calculating the international runway friction index“.
- Bianchini, A.; Gonzalez, C.R. 2014. Reformulation of the design procedure for aggregate-surfaced airfield pavements, *Journal of Transportation Engineering* 141(3):04014086. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000752.
- De Luca, M.; Abbondati, F.; Yager, T. J.; Dell'Acqua, G. 2016. Field measurements on runway friction decay related to rubber deposits, *Transport* 31(2): 177–182. doi:10.3846/16484142.2016.1192062.
- ICAO DOC 9137 AN/898 „Airport services manual“ part 2, Pvement surfaces condition.
- Klein, A. 2017. Airplane braking friction on dry snow, wet snow or slush contaminated runways, *Journal of Cold Regions and Science and Technology* 10:1016. doi: 10.1016/j.coldregions.2017.02.004.
- Leonelli, F.; Mascio, P.; Germinario, A.; Picarella, F.; Moretti, L.; Cassata, M.; Rubeis, A. 2017. Laboratory and On-Site Tests for Rapid Runway Repair, *Journal of applied sciences* 7:1192. doi:10.3390/app7111192.
- Pliopys, R.; Sivilevičius, H. 2013. Valstybinės reikšmės kelių naujos asfalto dangos ir rato sukibimo koeficiento tyrimas ir vertinimas, *16-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas- Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos Transporto Inžinerija ir Vadyba*, vykusios 2013 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys: 316-322.
- Ružinskas, A.; Bulevičius, M.; Sivilevičius, H. 2016. Laboratory investigation and efficiency of deicing materials used in road maintenance, *Transport* 31(2): 147–155. doi: 10.3846/16484142.2016.1190787.
- Shafabakhsh, G. A.; Kashi, E. 2015. Effect of aircraft wheel load and configuration on runway damages, *Journal of Periodica Polytechnica Civil Engineering* 59(1) 85-94. doi: : 10.3311/ppci.2103.
- Sivilevičius, H.; Vansauskas, V. 2012. Research and evaluation of ruts in asphalt pavement on Lithuanian highways, *Journal of Civil Engineering and Management* 19(5):609-621. doi: 10.3846/13923730.2013.817481.
- Sivilevičius, H. 2005. *Statybos ir kelių tiesimo mašinos*. Pratybų ir namų darbų metodikos nurodymai. Vilnius: Technika. 156p.
- Tarefder, R. A.; Rahman, M. 2016. Development of system dynamic approaches to Airport Pavements Maintenance, *Journal of Transportation Engineering* 142(8):04016027. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000856.
- White, G. 2018. Asphalt for airport pavement surfacing, *Journal of Pavement Research and Technology* 11(2018) 77-98. doi: 10.1016/j.ijprt.2017.07.008.