VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

MOBILIŲJŲ MAŠINŲ IR GELEŽINKELIŲ TRANSPORTO KATEDRA

Vytautas Motiejus Bubnelis

EKSPLOATUOJAMO GELEŽINKELIO KELIO DEFORMACIJOS MODELIAVIMAS IR VERTINIMAS TAIKANT KELIO KOKYBĖS INDEKSĄ

MODELING AND EVALUATION OF RAIL ROAD DEFORMATION BY TRACK QUALITY INDEX

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas ***6211EX058***

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

Transporto inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2019

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

TRANSPORTO INŽINERIJOS FAKULTETAS

MOBILIŲJŲ MAŠINŲ IR GELEŽINKELIŲ TRANSPORTO KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

_____
(Parašas)
prof. Marijonas Bogdevičius
(Vardas, pavardė)

_____
(Data)

Vytautas Motiejus Bubnelis

EKSPLOATUOJAMO GELEŽINKELIO KELIO DEFORMACIJOS MODELIAVIMAS IR VERTINIMAS TAIKANT KELIO KOKYBĖS INDEKSĄ

MODELING AND EVALUATION OF RAIL ROAD DEFORMATION BY TRACK QUALITY INDEX

Baigiamasis magistro darbas

Transporto inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas ***6211EX058***

Transporto inžinerijos vadybos specializacija

Sausumos transporto inžinerijos studijų kryptis

Vadovas _____ _____ _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Lietuvių kalbos konsultantė_____ _____ _____
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė) (Parašas) (Data)

Vilnius, 2019

Vilniaus Gedimino technikos universiteto egzaminų sesijų ir baigiamųjų darbų rengimo bei gynimo organizavimo tvarkos aprašo 2011–2012 m. m.
2 priedas

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Vytautas Motiejus Bubnelis 20132434
(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Transporto inžinerijos fakultetas
(Fakultetas)

Transporto inžinerijos studijų programa, TIVfm–17 grupė
(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2019 Gegužės 23 d.
(Data)

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema Eksploatuojamo geležinkelio kelio deformacijos modeliavimas ir vertinimas taikant kelio kokybės indeksą patvirtintas 2019 m. _____ d. dekano potvarkiu Nr. _____, yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Parenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą (projektą), mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: _____

Mano baigiamojo darbo vadovas _____

Kitų asmenų indėlio į parengtą baigiamąjį darbą nėra. Jokių įstatymų nenumatytų piniginių sumų už šį darbą niekam nesu mokėjęs (-usi).

_____ (Parašas) _____ (Vardas ir pavardė)

Turinys

Įvadas 5
SANTRUMPOS 6
Terminai ir apibrėžimai 7
1. MOKSLO DARBŲ, SKIRTŲ GELEŽINKELIO KELIO KOKYBEI VERTINTI IR GERINTI, ANALIZĖ 8
1.1 Geležinkelio kelio savybių įtaka traukinių eismo parametrams 8
1.2 Geležinkelio kelio irties jį eksploatuojant dinamika ir ją nulemiančios priežastys 10
1.3 Geležinkelio kelio kokybės vertinimas pagal kelio kokybės indekso faktines reikšmes 12
1.4 Mokslo darbų, skirtų geležinkelio kelio kokybei nustatyti, apibendrinimas 14
2. GELEŽINKELIO KELIO SANDARA, PASKIRTIS, JO KOKYBĖS VERTINIMAS IR VERTINIMO BŪDŲ SKIRTUMAI 15
2.1 Geležinkelio kelio geometrinių parametrų nustatymo metodika pagal standartą EN-13848 18
2.2 Instrukcijoje K/259 pateikto kelio geometrinių parametrų nustatymo ir vertinimo metodikos analizė 21
2.3 Mokslo darbuose siūlomi nauji metodai KKI nustatyti 27
2.4 Siūlomas KKI sudedamųjų dalių interpretavimas 29
2.5 Antrojo skyriaus išvados 45
3 GELEŽINKELIO KELIŲ VERTINIMO KELIO KOKYBĖS INDEKSU EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI IR VERTINIMAS 46
3.1 Šalies geležinkelių kelių techninės charakteristikos 46
3.2 Kelmatis, jo sandara, matavimo juo procesas bei gaunami duomenys 47
3.3 Matavimo procesas, proceso kokybės užtikrinimas, gaunami duomenys ir jų interpretavimas 51
3.4 2015–2018 metų visų Lietuvos geležinkelių kelių kas mėnesį išmatuotų KKI statistinis tvarkymas ir analizė 54
3.5 Taikoma geležinkelių kelių remonto klasifikacija ir technologijos 62
3.6 Trečio skyriaus išvados 64
BENDROSIOS IŠVADOS 65
Literatūros sąrašas 67
Priedai 69

Įvadas

Pastaruoju metu geležinkelio traukinių eismas vis intensyvėja ir greitėja. Intensyvėja dėl vis didesnio keleivių ir krovinių srautų, augančių dėl besikeičiančios transporto politikos. Europos Sąjungos Baltojoje knygoje apibrėžtas siekis daugiau išnaudoti geležinkelius vežant krovinius dėl daug didesnio saugumo ir ekologiškumo, negu kelių transporto rūšies. Keleivių pagrindinis lūkestis yra greitai, patogiai ir saugiai pasiekti kelionės tikslą. Traukinių judėjimo greičiams didėjant, kyla didesnis pavojus traukiniui nukristi nuo bėgių, todėl ypatingas dėmesys skiriamas traukinių eismo saugumui, tinkamai geležinkelių kelių kokybei užtikrinti.

Kinijos geležinkeliai eksploatuoja CRH 380a traukinius į reguliarius reisus tarp Shanhai–Nanjing maršruto. Šis greičiausias pasaulyje keleivinis traukinys turintis įprasto tipo riedmenis, gali pasiekti maksimalų greitį 416 km/h ir vežti 454 keleivius. Dėl tokių traukinių greičio pokyčių geležinkelių infrastruktūros priežiūra yra vienas svarbiausių veiksnių veikiančių geležinkelių transporto saugumo lygį. Paskutiniu metu ypač daug dėmesio skiriama geležinkelio kelio būklės prognozavimo ir esamos būklės nustatymo metodų tobulinimui.

Šio darbo tikslas: pateikti moksliniais tyrimais ir eksperimentiniais duomenimis pagrįstą geležinkelio kelio kokybės kaitos ir jos vertinimo sistemą, leidžiančią padidinti kelio ilgalaikiškumą, traukinių eismo juo saugumą ir efektyvumą.

Pagrindiniai šio darbo uždaviniai:

1) Išanalizuoti esamus metodus geležinkelio kelio kokybei nustatyti ir prognozuoti, pateikti mokslinių tyrimų, skirtų kelio kokybei nustatyti ir vertinti, analizę.
2) Pateikti KKI skaičiavimo modelį ir jį palyginti su kitų tyrėjų siūlymais.
3) Išmatuotus Lietuvos Respublikos geležinkelio kelius įvertinti kelio kokybės indeksu, juos statistiškai apdoroti ir pateikti rekomendacijas jo reikšmėms vertinti.

SANTRUMPOS

AB – akcinė bendrovė

GPS (*angl. „*Global Positioning System“) – Globali padėties nustatymo sistema

IMU *(angl. Inertial measurement unit)* – Kelmačio sistemoje inetegruoti inerciniai jutikliai

Instrukcija K/259 – Savaeigio kelio matavimo vagono EM-140 matuojamų geležinkelio kelio geometrinių parametrų įvertinimo instrukcija (K/259)

KKI – Kelio kokybės indeksas;

OGMS *(angl. „Optical Gauge Measurement System“)* – Optinė vėžės matavimo sistema

SRPM-*TQI (angl. Short range prediction model – Track quality index)* –Trumpojo nuotolio prognozavimo metodas kelio kokybės indeksu

TQI *(angl. Track quality index)* – Kelio kokybės indeksas

Terminai ir apibrėžimai

Balastas – biri, drenuojanti, tam tikros granuliometrinės sudėties medžiaga (skalda, smėlis, žvyras), atspari smūgiams, dilimui, atmosferos poveikiams, skirta geležinkelio kelio balasto prizmei sudaryti.

Balasto sluoksnis – nustatytos formos ir dydžio balasto sankasa pabėgiams atremti, užtikrinanti reikiamą geležinkelio kelio stiprumą, normalų naudojimą ir ilgaamžiškumą.

Bėgių padėtis pagal lygį – bėgio vertikaliosios padėties nuo bėgio galvutės iki horizontaliosios atskaitos plokštumos, arba atstumas tarp dviejų gretimų bėgių galvučių paviršaus plokštumų, kai bėgių kelias turi pasvirimą posūkyje

Deformacija – pagrindo, statinio konstrukcinių elementų matmenų santykinis pasikeitimas, sukeliantis jų padėties ir formos pokyčius.

Dešiniojo bėgio paviršiaus įdubos – tai dešiniojo bėgio galvutės viršaus lygio nuokrypis t. y. iškylos arba įdubos, išmatuotos nuo horizontalios atskaitos linijos;

Dešinės pusės bėgio padėtis plane – tai dešiniojo bėgio taško, padėties nuokrypis Y ašies kryptimi, išreikštas kaip nuokrypis nuo kelmačio menamos atskaitos linijos;

Geležinkelio kelias – inžinerinis statinys, kurį sudaro žemės sankasa, viršutinė kelio konstrukcija (antpilo sluoksnis, pabėgiai, bėgiai) ir kiti inžineriniai įrenginiai.

Kairiojo bėgio paviršiaus įdubos – tai kairiojo bėgio galvutės viršaus lygio nuokrypis t. y. iškylos arba įdubos, išmatuotos nuo horizontalios atskaitos linijos;

Kairės pusės bėgio padėtis plane – tai kairiojo bėgio taško , padėties nuokrypis Y ašies kryptimi, išreikštas kaip nuokrypis nuo kelmačio menamos atskaitos linijos;

Nuokrypių laipsnis **–** Geležinkelio kelio nuokrypių klasifikavimas pagal išmatuotų nuokrypių dydį ir pavojingumą.

Perkrypa – atstumas tarp bėgių vienas kito atžvilgiu, staigus nuokrypis pagal galvutės lygį.

Sankasa – grunto statinys, kuris yra viršutinės kelio konstrukcijos bei kitų jos elementų pagrindas. Supilama iš vietinių ar atvežtų gruntų taip, kad ji ir visi jos elementai būtų stabilūs. Sankasą sudaro pylimai, iškasos, o šlaituose – pusiniai pylimai – pusinės iškasos. Jos visumą apima grioviai, rezervai, drenažai, bermos ir kt.

Vėžės plotis – Išmatuotas atstumas tarp geležinkelio bėgių, 13 mm žemiau bėgių galvutės viršaus.

1. MOKSLO DARBŲ, SKIRTŲ GELEŽINKELIO KELIO KOKYBEI VERTINTI IR GERINTI, ANALIZĖ

Geležinkelių infrastruktūrą sudaro: geležinkelio keliai, išskyrus geležinkelio kelius, esančius geležinkelių riedmenų techninės priežiūros atlikimo vietose (depuose, cechuose, dirbtuvėse), kiti statiniai, geležinkelių infrastruktūros objektų užimama žemė, įranga ir įrenginiai, būtini geležinkelių transporto eismui organizuoti ir valdyti bei geležinkelių transporto eismo saugai užtikrinti. Geležinkelio kelias apibrėžiamas kaip inžinerinis statinys, kurį sudaro žemės sankasa, pobalastinis sluoksnis, balasto sluoksnis ir pabėgiai su bėgiais.

Įvairiuose mokslo darbuose tyrinėjami geležinkelių kelių būklės vertinimo būdai, o geležinkelio kelias įvardijamas kaip svarbiausias geležinkelių infrastruktūros objektas. Kiti infrastruktūros objektai taip pat yra ne mažiau svarbūs, tačiau naudojami kaip pagalbiniai, aptarnaujantys geležinkeliais riedančius traukinius. Dėl šių priežasčių geležinkelio kelio priežiūrai ir geros būklės išlaikymui turi būti skiriamas ypatingas dėmesys.

1.1 Geležinkelio kelio savybių įtaka traukinių eismo parametrams

Pagrindinis kiekvieno geležinkelio kelio naudotojo noras ir būtinybė yra važiuoti kiek galima geresnės kokybės keliu, taip tausojant bėginių transporto priemonių riedmenis. Kokybiškas ir keliamus parametrus atitinkantis geležinkelio kelias yra saugus ir leidžia didinti traukinių greitį, taip patenkinant naudotojo norą judėti greičiau.

Reikalingus kaštus geležinkelio kelio priežiūrai ir geležinkelio kelio priežiūros optimizavimą tyrė Arasteh khouy et al. (2014), remdamiesi geležinkelio kelio geometrijos duomenimis iš Švedijos šiaurės, geležies rūdos linijos (Malmbanan), kuria važiuoja tiek keleiviniai, tiek krovininiai traukiniai. Siekta įvertinti kiekvienos geležinkelio linijos geometrinių parametrų blogėjimo greitį. Ši metodika pagrįsta išmatuotais geležinkelio kelio nuokrypiais ir sąnaudų analize, kuri palengvina priežiūros sprendimų priėmimo procesą, siekiant nustatyti ekonomiškai naudingas techninės priežiūros ribas. Tikrinant kelio būklę ir nustačius didesnius geležinkelio kelio parametrų nuokrypius negu leidžiama, traukinių judėjimo greitis sumažinamas arba iš vis nutraukiamas traukinių eismas. Autorius konstatuoja, jog mažiau kainuoja geležinkelio kelio linijų išlaikymas, kuriose traukinių judėjimo greitis mažesnis dėl didesnių leidžiamųjų geležinkelio kelio geometrijos nuokrypių ir mažesnių kelią veikiančių jėgų.

Pavojingas nuokrypių ribas ir jų vertinimo strategiją tyrinėjo Andrade, Teixeira (2016). Jie tyrinėjo Portugalijos geležinkelių kelių kokybės vertinimo strategijas. Buvo pasiūlytas kiekybinis geležinkelio kelio vertinimo modelis. Pirmiausia nustatomi geležinkelio geometrijos nuokrypiai ir

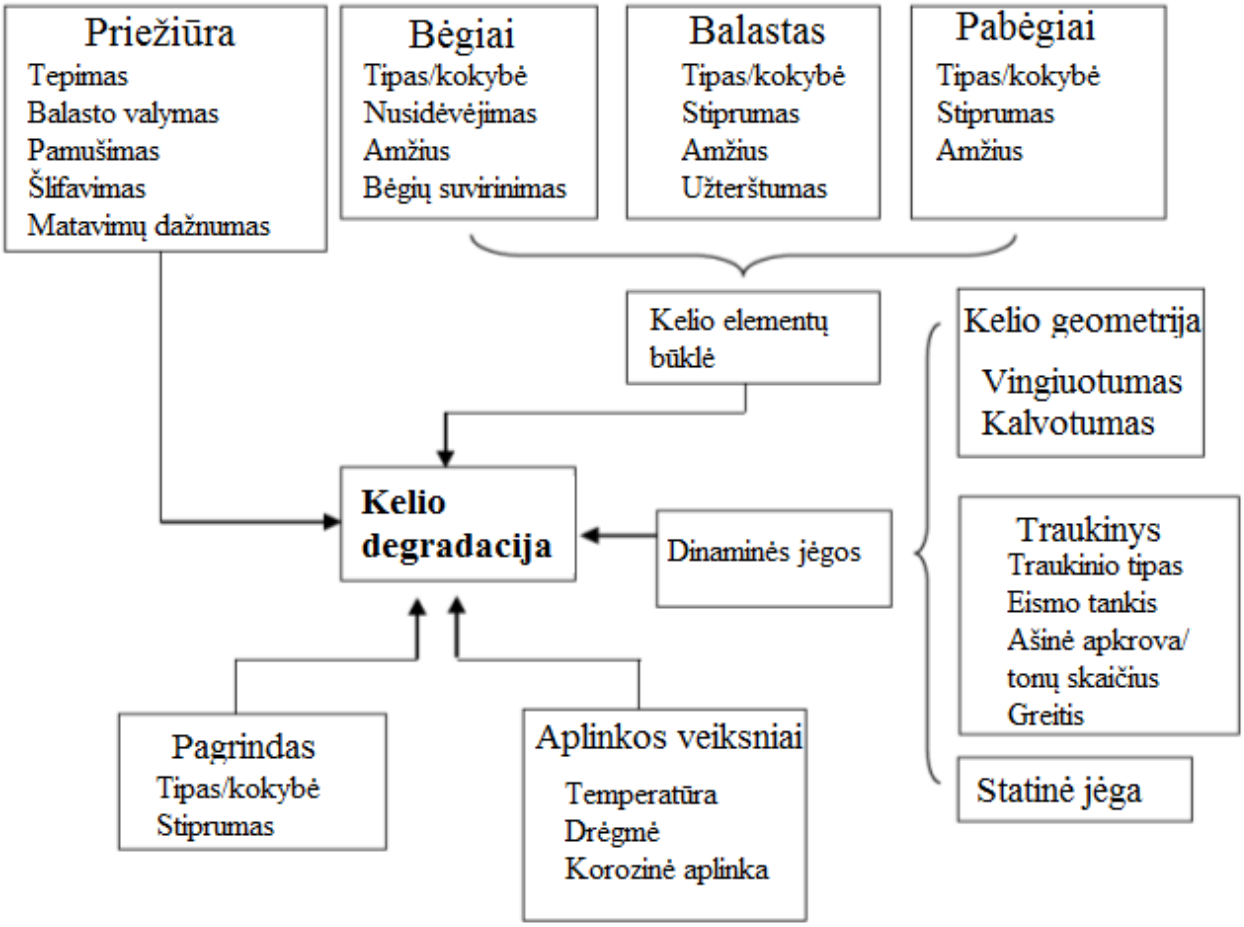
lyginama su leidžiamaisiais nuokrypiais, jeigu viršijamos leidžiamosios ribos koreguojamas traukinių greitis. Pasiūlytas kiekybinis modelis įvertina prevencinę priežiūrą, atnaujinimo kainą, priežiūros kainą, suplanuotus traukinių greičio pokyčius ir neplanuotus traukinių vėlavimus dėl laikinų greičio apribojimų.

Kim et al. (2013) nagrinėja traukinio, judančio didesniu negu 400 km/h greičiu, rato apkrovas. Autorius konstatuoja, jog paskutiniu metu traukinių greitis tik didėja ir būtina tirti didėjančio greičio pasekmes. Tyrimų metu nustatoma, jog jėga, veikianti ratą, didėja kvadratine greičio didėjimo funkcija, vadinasi, esant didesniam greičiui geležinkelio kelias taip pat bus apkraunamas kvadratine išraiška didesnėmis jėgomis. Taip pat atkreipiamas dėmesys į tai, jog reikalinga speciali priežiūra greitųjų traukinių geležinkelio keliams ir patiems riedmenims. Geležinkelio kelias, kaip ir kiekvienas kūnas ar jų sistema, yra tamprus iki tamprumo ribos, ją viršijus atsiranda liekamųjų deformacijų. Eksplotuojant geležinkelio kelius būtinas ypatingas dėmesys kontroliuojant geležinkelio kelio nuokrypius todėl, kad esant tam tikros rūšies nuokrypiui ir veikiant jėgai ta pačia kryptimi, į kurią yra nuokrypis, jėgos pridėjimo momentu dėl tampriosios ar liekamosios deformacijos nuokrypis gali padidėti iki dydžio, dėl kurio gali įvykti avarija. Dėl geresnės kokybės kelio poreikio greitųjų traukinių geležinkelio keliai reikalauja gerokai daugiau dėmesio ir lėšų geležinkelio kelio techninei priežiūrai. Lopez-Pita et al. (2008) tirdamas greitųjų traukinių geležinkelio kelių infrastruktūros priežiūros išlaidas Europoje nustatė, jog išlaidos prižiūrėti ir remontuoti 1 km tokių kelių gali siekti 55 % visų infrastruktūros eksploatacijos išlaidų, kontaktiniam tinkui tenka tik 20 % išlaidų.

Visapusišką kelionės traukiniu kokybės indeksą (CQI) pasiūlė Maskeliūnaitė ir Sivilevičius (2012), sistemiškai pateikę 4 grupių pagrindinius 49 kriterijus. Jie tyrinėjo traukinio elementų ir geležinkelio kelio techninę būklę (A kriterijų grupė), kelionės planavimą ir technologijas (B), kelionės kainą ir teikiamas paslaugas (C), taip pat kriterijus, susijusius su kelionės saugumu (D). Nustatyta, jog keleivių kelionės kokybė priklauso ne tik nuo vagono vidaus komforto įrenginių ir jų kokybės, bet ir nuo geležinkelio kelio kokybės, kuri gali būti įvertinta KKI. Geresnės kokybės kelias užtikrina geresnės kokybės kelionę.

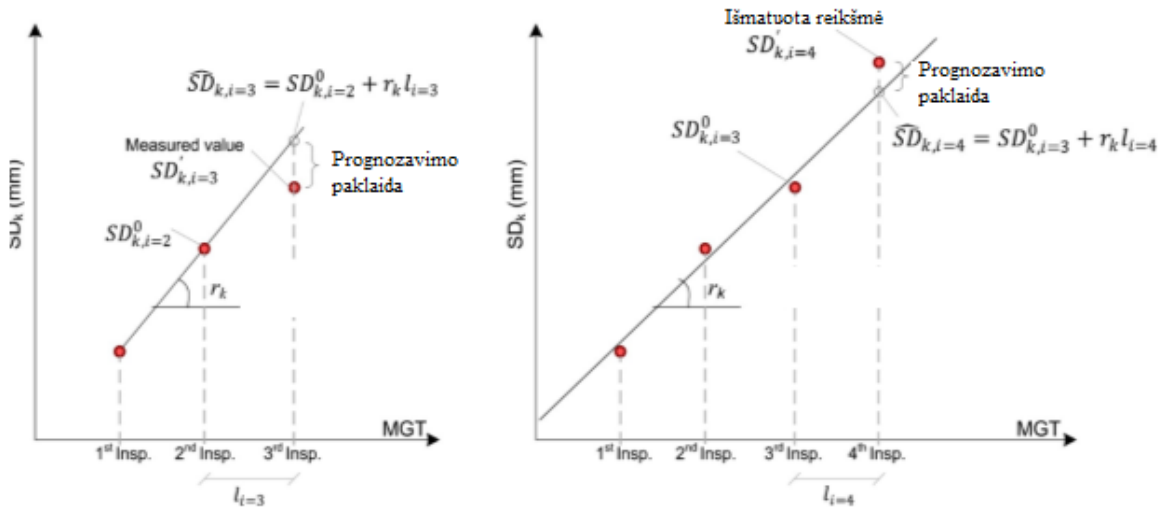
1.2 Geležinkelio kelio irties jį eksploatuojant dinamika ir ją nulemiančios priežastys

Geležinkelio kelio irtis apibrėžiama kaip kompleksinis reiškinys, kurį nulemia priežiūra, kelio sudedamųjų dalių būklės, kelią veikiančios jėgos ir aplinkos veiksniai (Ferreira ir Murray 1997). Autoriai tyrė fizinius veiksnius, galinčius turėti įtakos geležinkelio kelio būklei. Remdamiesi rezultatais, autoriai teigia, kad geležinkelio kelio būklės kitimą lemia pagrindiniai trys parametrai: dinaminės jėgos dydis, ašių apkrova ir traukinio greitis. Greitis daro didžiausią įtaką geležinkelio kelio kokybės blogėjimo spartai, nes didėjant greičiui didėja ir dinaminės jėgos. Ašies apkrova yra pagrindinis veiksnys, lemiantis greitesnį geležinkelio kelio dėvėjimąsi ir nuovargį, ratų, bėgių, pabėgių nusidėvėjimą. Dėl šių priežasčių gali atsirasti įtrūkių bėgio ir pabėgių tvirtinimo vietose, bėgių galvutės susidėvėti, bėgių tvirtinimas gali atsilaisvinti, todėl balasto apkrova bus perskirstyta. Dėl tokios galimos situacijos sumažės kelionės saugumas ir komfortiškumas, padidės kelio komponentų gedimo tikimybė.



1.1 pav. Geležinkelio kelio būklės kitimo priežastys (Ferreira ir Murray 1997)

Geriausios kokybės yra neeksploatuotas geležinkelio kelias, vėliau jį eksploatuojant kelio kokybiniai parametrai kinta. Caetano ir Texeira (2016) pagrindine geležinkelio kelio irties priežastimi laiko vežamų krovinių suminę masę. Autorius pateikia tiesinio geležinkelio kelio būklės prognozavimo grafikus.



1.2 pav. Kiekybinis prognozavimo metodas prognozuojant dviem ir trimis išmatuotomis skaitinėmis reikšmėmis. (Caetano ir Texeira 2016)

Caetano ir Texeira (2016) siūlydami balasto pamušimą kaip geležinkelio kelio būklės gerinimą, kelio būklę vertina pagal tiesinį prognozavimo modelį. Paveikslėlyje 1.2 pav. parodytas prognozavimo metodas, eksperimentiškai išmatuoti du grafiko taškai, tada brėžiama tiesė prognozuojant, kad kelio nuokrypiai didės tiesine priklausomybe. Vis dėlto ši prognozė pasitvirtino su tam tikra paklaida, kuri pažymėta grafike. Antrajame grafike eksperimentiškai išmatuojamos trys reikšmės, nubrėžiama tiesė pagal vidutines reikšmes ir gaunamas ketvirtasis prognozuojamas taškas. Antruoju atveju gaunama tikslesnės geležinkelio kelio nuokrypių standartinio nuokrypio reikšmės. Šiame straipsnyje taip pat yra siūlomas metodas kontroliuoti geležinkelio kelio degradaciją ir naudoti balasto pamušimą, kaip tinkamą priemonę išlaikyti reikalaujamą geležinkelio kelio kokybę taikant balasto pamušimą ir užbėgti didesniems kelio pažeidimų atsiradimui. Balasto ilgaamžiškumą ir jo savybių kitimą tyrinėjo Ramūnas et al. (2017) ir nustatė, jog dalelių kokybės vertinimas dinamine ir statine apkrova parodo patvarumą ir kietumą, jie identifikuojami Los Andželo ir Devalo vertėmis. Anksčiau Kanados Ramiojo vandenyno pakrantės sukurtas modelis buvo pritaikytas prognozuoti galimas apkrovas, išreikštas suminėmis pervežtomis tonomis. Laboratorijoje buvo tiriami įvairūs balasto agregatų mišiniai, įskaitant dolomitą ir granitą. Geležinkelio apskaičiuotas potencialus bendrasis tonažas (išreikštas milijonais bendrųjų tonų) per visą eksploatavimo laiką pateiktas kiekvienam skirtingam agregatui. Šio tyrimo rezultatai nustato

geležinkelio balasto agregato klasifikavimo sistemą ir apibūdina Los Andželo ir Devalio skaitines vertes ilgalaikiškumui užtikrinti. Geležinkelio kelio balasto ir pobalastinį sluoksnį tyrinėjo (Navikas et al. 2016, 2018) nustatydami granitinio balasto ir pobalastinio sluoksnio iš KG-1 mineralinių medžiagų mišinio homogeniškumą. Straipsnyje yra pateiktas naujas pobalastinio sluoksnio homogeniškumo nustatymo metodas ir eksperimentiškai gauti jo kokybės rodiklių skaitiniai įverčiai, rodantys, kad biriosios medžiagos dėl neišvengiamos segregacijos transportuojant iš gamyklos į tiesiamo geležinkelio kelio statybvietę tampa nehomogeniškomis, t. y. praranda pradinį tinkamą vienalytiškumą. Geležinkelio kelio konstrukcijos temperatūros rėžimų modeliavimą atliko Navikas ir Sivilevičius (2017), tyrinėta temperatūros kitimas geležinkelio kelio konstrukcijoje ir nustatyta, jog esant atšiaurioms sąlygoms geležinkelio kelio konstrukcija nėra pakankamai gerai suprojektuota ir yra tobulintina.

Ypatingas dėmesys yra skiriamas ir geležinkelio kelio nuokrypių nustatymui, Barbosa (2016) aprašė naują modelį, skirtą geležinkelio kelio nuokrypiams ir saugumui nustatyti. Sukurta inercinė matavimo sistema, kuri pritaikyta tiek kelio kokybės indeksui nustatyti, tiek taikyti kiekybinį modelį. Aprašytame modelyje kelmatis turi vežimėlį, kurio kiekvienas ratas turi jėgos jutiklius ir nustato kiekvieno rato apkrovimo jėgą, pagal ją nustatomi geležinkelio kelio nuokrypiai. Kelmatis turi GPS sistemą, kuria pažeistą kelio vietą galima nesunkiai atrasti. Šis modelis papildo tradicinius matavimo metodus ir išmatuoti rezultatai atitinka tradiciniu kelmačiu nustatytus rezultatus. Kiti mokslininkai (Roghani et al. 2016) pritaikė kamerą ir lazerį matavimo mašinos priekyje. Moksliniame darbe pateikiama metodika, kurią taikant naudojamos nuolatinės vertikaliosios bėgių nuokrypio matavimų priemonės, kai iš judančio su kroviniu traukinio nustatoma kelio būklė, kad būtų parodyta geležinkelio kelio būklė. Ši apkrovos duomenų analizė buvo sukurta ir išbandyta daugiau nei 12 000 km matavimų. Buvo panaudotas filtravimo metodas, siekiant sumažinti paviršiaus būklės įtaką matavimams, atsirandančius dėl trumpų bėgių paviršiaus nelygumų ar šiurkštumo ir parodyti bėgių nuokrypių svyravimus dėl bėgių paviršiaus pokyčių. Gauti apdoroti duomenys lyginami su geologine informacija, taip gaunami itin tikslūs duomenys apie geležinkelio kelio būklę.

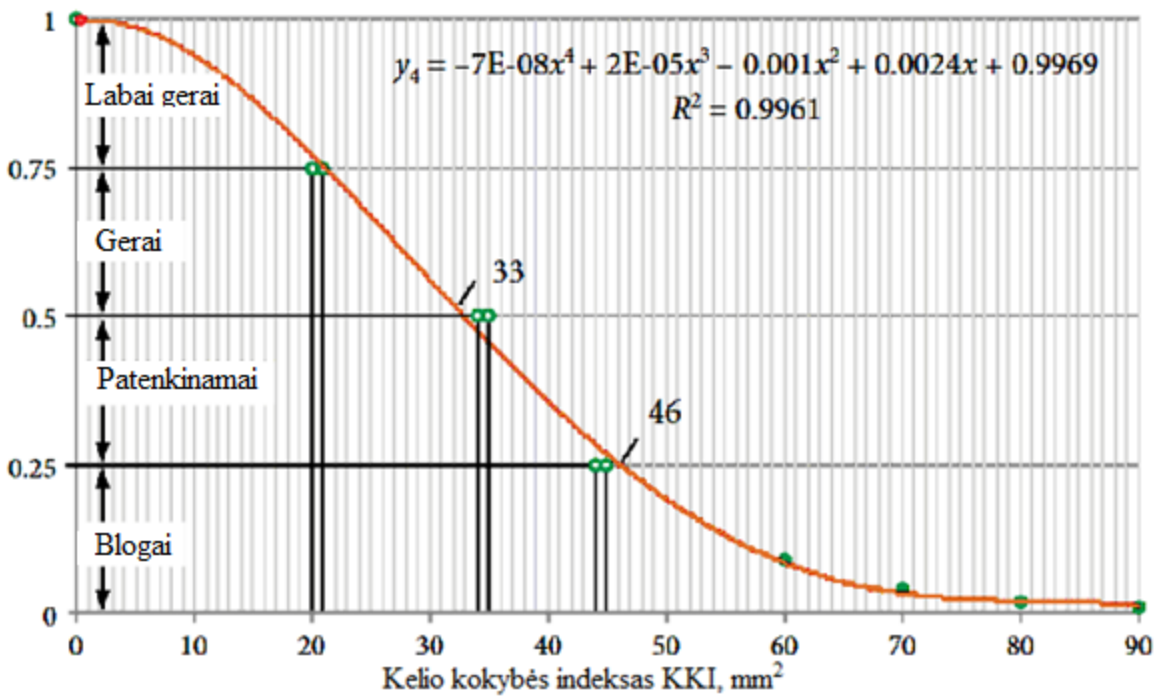
1.3 Geležinkelio kelio kokybės vertinimas pagal kelio kokybės indekso faktines reikšmes

Geležinkelio kelio kokybei nustatyti yra žinomi šie metodai: trumpojo nuotolio geležinkelio kelio prognozavimo modelis, tiesinis prognozavimo metodas ir pilkasis sistemos teorinis modelis. Pilkąjį prognozavimo modelį pateikė Xin et al. (2016) siekiant nustatyti esamą geležinkelio būklę ir

naudojantis *Furjė eilutėmis ir Markovo grandine* prognozuoti geležinkelio kelio būklę ateityje. Šis modelis yra tikslesnis už tiesinio prognozavimo modelį, kurį pateikė Caetano ir Texeira (2016).

Kelio kokybės indekso vertinimo metodas naudojamas nustatant esamą geležinkelio kelio būklę, planuojant geležinkelio bėgių kelio techninę priežiūrą Kinijoje. Trumpojo kelio nuotolio prognozavimo modelį aprašo Xu et al. (2010). Taikant trumpojo nuotolio geležinkelio kelio prognozavimo modelį dažniausiai geležinkelio kelias yra skirstomas į atkarpas ir tai atkarpai nustatomas kelio kokybės indeksas. Pasiūlytas naujo geležinkelio kelio prognozavimo metodas, pavadintas trumpojo nuotolio prognozavimo modeliu (SRPM-TQI). Remiantis kelio pažeidimų pasikeitimais, šis modelis naudojasi anksčiau atliktais kelio kokybės indekso (TQI) vertinimais, paimtais iš anksčiau nustatytų nelygumų duomenų bazės ir sukuria prognozavimo modelį tam tikrai kelio atkarpai. Šiuo modeliu galima prognozuoti 200 m ilgio kelio atkarpos kelio kokybės indeksą ateityje.

Kelio kokybės indekso nustatymo tobulinimo variantą naudojant Bajeso teoremą pateikė Bai et al. (2016). Rezultatai palyginti su SRPM-TQI modeliu, pateikiama TAN-TQI sistema pateikia tikslesnes prognozes. Be to, šiame tyrime siūloma sistema gali būti išplėsta iki kitų charakteristikų blogėjimo modelių analizės transporto infrastruktūrai. Metodas taikomas bėgių būklei prognozuoti, reikalauja didelių istorinių duomenų apie tam tikrą geležinkelio kelio atkarpą. Taip pat yra kitų duomenų poreikis, kad pagerintų prognozavimo efektyvumą naudojant TAN-TQI sistema. Remiantis SRPM-TQI modeliu, geležinkelio kelias padalijamas į 200 metrų ilgio atkarpas, nustatomi kiekvieno matuojamo geležinkelio kelio parametro standartiniai nuokrypiai, juos susumavęs autorius gauna geležinkelio Kelio kokybės indeksą. Moksliame darbe šie autoriai (Sivilevičius ir Maskeliūnaitė 2014) konstatuoja, jog sumuoti gaunant kelio kokybės indeksą standartinių nuokrypių negalima, o reikėtų juos kelti kvadratu ir susumavus ištraukti kvadratinę šaknį. Taip pat šie mokslininkai nutatė, jog Kelio kokybės indeksas turi dimensiją [mm^2]. AB „Lietuvos geležinkeliai“ geležinkelio kelio geometrinių parametrų vertinimo instrukcijoje nurodyta, jog kelio kokybės indeksas yra bedimensis dydis (*Savaeigio kelio matavimo vagono EM-140 matuojamų geležinkelio kelio geometrinių parametrų įvertinimo instrukcija (K/259)*.



1.3 pav. Regresijos lygtis ir nuo jos priklausanti Kelio kokybės indekso kitimo kreivė (Sivilevičius ir Maskeliūnaitė 2014)

Sivilevičius ir Maskeliūnaitė (2014) tyrinėjo traukinio elementų ir geležinkelio kelio techninę būklę ir nuo jų priklausančią kelionės traukiniu kokybę 1.3 pav. nurodo, jog Kelio kokybės indekso skaitinė reikšmė gali būti ir 90 mm^2. Vadinasi kelio Kokybės indekso skaitinės reikšmės gali būti ir didesnės, o kelio kokybė itin prasta.

1.4 Mokslo darbų, skirtų geležinkelio kelio kokybei nustatyti, apibendrinimas

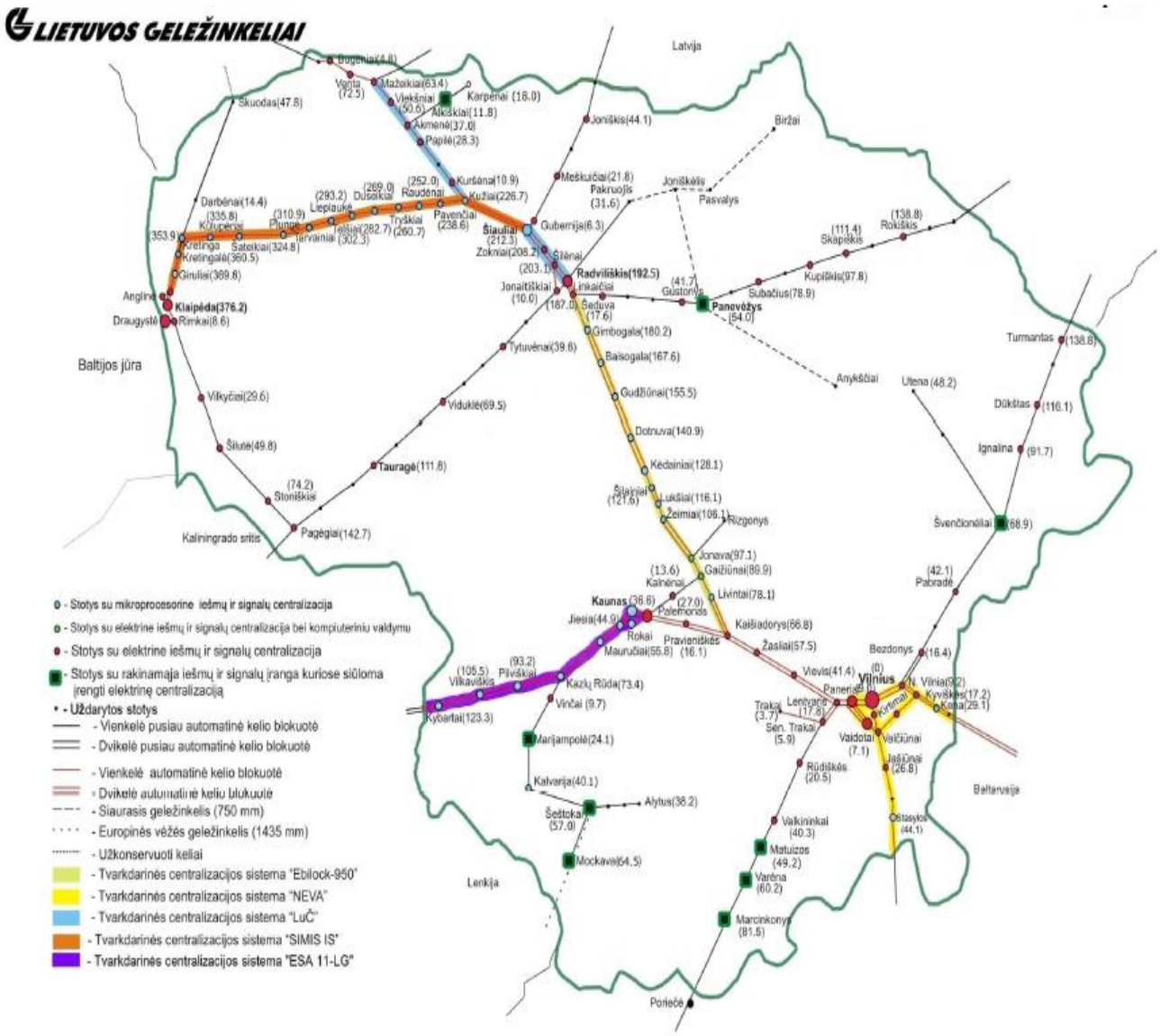
Geriausios kokybės yra naujas ir nenaudotas geležinkelio kelias. Vėliau jo kokybė prastėja priklausomai nuo pervežtos suminės krovinių masės. Geležinkelio kelio būklei nustatyti ir prognozuoti yra taikomi skirtingi modeliai: kiekybinis ir vertinimas kelio kokybes indeksu (KKI). Geležinkelio kelio kokybė yra vertinama Kelio kokybės indeksu, kuris naudojamas ir Lietuvoje. Xu et al. (2010) tyrinėtas trumpojo nuotolio kelio kokybės nustatymo modelis matematiškai nekorektiškas, bet jį įvertino ir pateikė pastabas (Sivilevičius ir Maskeliūnaitė 2014). Autoriai konstatuoja, jog sumuoti standartinių nuokrypių negalima, o kelio kokybės indeksas turi dimensiją. Matematinės statistikos dėsniai sako, jog standartinio nuokrypio dimensija yra ta pati kaip ir atsitiktinio dydžio dimensija. Vadinasi, pakėlę standartinį nuokrypį kvadratu gausime (mm^2). Metodika pasirinkti atkarpos ilgį nustatymui geležinkelio kelio kokybės indeksui nustatyti ir geometrinių parametrų svarba taip ir lieka neištyrinėta. Kelio kokybės indekso skaitinės vertės riba taip pat nėra apibrėžta.

2. GELEŽINKELIO KELIO SANDARA, PASKIRTIS, JO KOKYBĖS VERTINIMAS IR VERTINIMO BŪDŲ SKIRTUMAI

Bėgiai jau seniai naudojami klotiniams vėžiniams keliams įrengti. Žinoma, kad jau XIII amžiuje šachtose buvo klojami gulsčiųjų bėgių keliai vagonėliams stumdyti. Greitai mediniai gulekšniai buvo apkaustyti geležinėmis juostomis ir pagaliau buvo pakeisti kampuočio formos metaliniais bėgiais. 1767 m. Didžiojoje Britanijoje Kolburko mieste metalo liejykloje išliejamas pirmasis dvitėjis bėgis ir paklojamas tos pačios gamyklos teritorijoje. 1809 m. Rusijoje Altajaus rūdų kasykloje K. D. Frolovas nutiesė 2 km metalinių bėgių kelią, kuriuo specialius vagonėlius traukė arkliai. 1814 m. Didžiojoje Britanijoje D. Stivensonas ir R. Travistikis sukonstravo pirmąjį pasaulyje garvežį. Pirmasis geležinkelis pasaulyje, kurį Anglijos parlamentas ofcialiai pripažino transporto įrenginiu, pradėjo veikti 1825 m. rugsėjo 25 d. tarp Hoklando ir Darlingtono. Ši diena yra laikoma geležinkelio gimimo diena, šios geležinkelio linijos konstrukcija praktiškai nepasikeitė iki šių dienų. Tai žemės sankasa, pabėgiai, tvirtinamosios detalės ir bėgiai. Rusijoje geležinkelį tarp Peterburgo ir Carskoje Selo projektavo ir tiesė P. P. Melnikovas. Ši geležinkelio magistralė tapo pati moderniausia, nes buvo specialiai pritaikyta caro kelionėms iš žiemos rūmų į carienės vasaros rezidenciją. Geležinkelio konstrukcija buvo labai panaši į anglišką, tačiau skyrėsi vėžės pločiu – vietoje 1435 mm buvo 1524 mm. Jis nesunkiai traukė 17 t krovinį, važiuodamas 30 km/h greičiu (Sakalauskas 2012).

Šiuo metu eksploatuojamų (2.1 pav.) Lietuvos geležinkelių ilgis yra 1911,3 km. Iš jų 1520 mm pločio – 1796,1 km, 1435 mm pločio – 115,2 km ir 750 mm pločio – 168,8 km. Skirstant į vienkelius, dvikelius ir trikelius: vienkelių – 1458,6 km dvikelių – 565,6 km trikelių – 2,1 km.

Masės apribojimai: 1520 mm geležinkelių linijose didžiausia leidžiamoji ašies apkrova 23,5 t, atskiru viešosios infrastruktūros valdytojo leidimu – 25 t. 1435 mm geležinkelių linijose didžiausia leidžiamoji vagono ašies apkrova 20 t, o traukos riedmens – 22,5 t. Ekvivalentinę apkrovą (t/m) kiekvienai geležinkelio linijai nustato viešosios geležinkelių infrastruktūros valdytojas, atsižvelgdamas į kelio statinių leidžiamas ekvivalentines apkrovas. Ekvivalentinės apkrovos ribos Lietuvos geležinkelių tinkle yra nuo 7,5 iki 10,5 t/m.



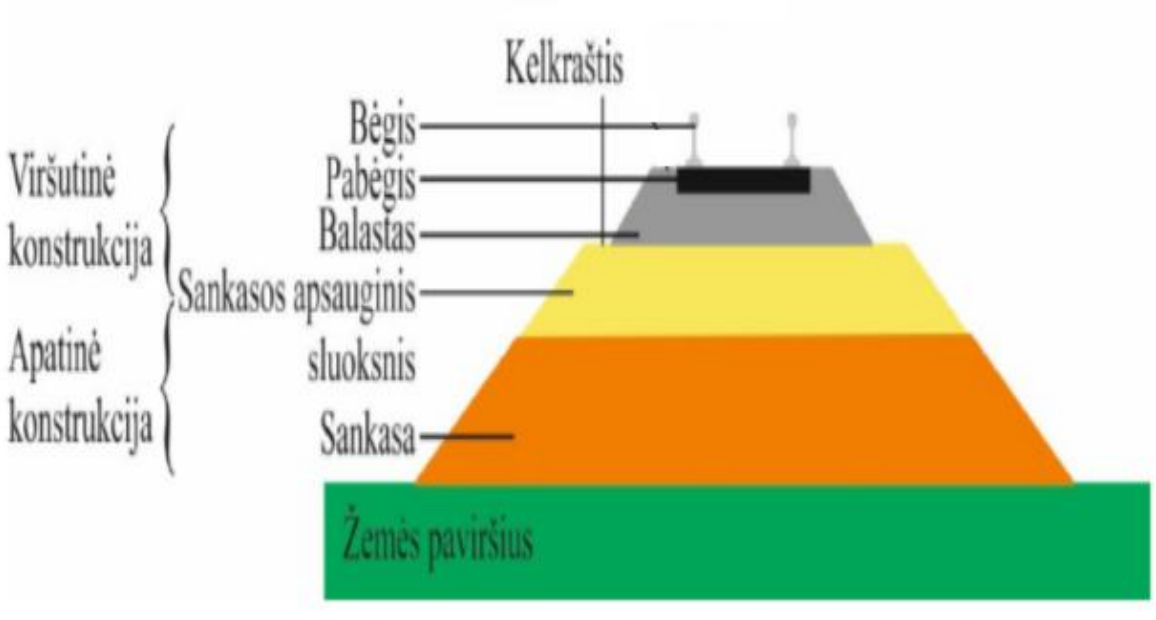
2.1 pav. Lietuvos geležinkelių kelių tinklas

Plačiųjų geležinkelių tinklas Lietuvoje gana tankus – 31 km 1000 km^2 plote. Tai daugiau nei Suomijoje (18 km), Švedijoje (25 km), Estijoje (23 km), tačiau daugiau jų yra Latvijoje (37 km) ir gerokai daugiau Lenkijoje, turinčioje 85 km geležinkelių 1000 km^2 plote.

Geležinkelio kelio elementai ir jų paskirtis

Geležinkelis turi dvi pagrindines konstrukcijas: viršutinę ir apatinę. Viršutinę kelio konstrukciją sudaro: bėgiai, pabėgiai, tvirtinamosios bei jungiamosios detalės ir balastas. Apatinę geležinkelio konstrukciją sudaro apsauginis sankasos sluoksnis ir sankasa. Bėgiai – tai plieninės valcuotos specifinio dvitėjo profilio sijos, kreipiančios ir laikančios ratus. Bėgiai gaminami iš specialaus tvirto plieno, turinčio 0,7–0,82 % anglies ir legiruojančių priedų. Svarbiausia jų charakteristika, nusakanti tipą, yra 1 tiesinio metro masė. Daugiausiai respublikoje yra paklota

bėgių, kurių 1 m masė 50–65 kg. Standartinis ilgis – 25 m, sutrumpintas – 12,5 m. Bėgio gale yra kokybės inspekcijos įspaudai, bėgio kokybinės charakteristikos, gamybiniai šifrai ir metalo lydymo šifrai. Kaklelyje žymimas gamyklos indeksas, pagaminimo data ir bėgio tipas. Pabėgiai – tai bėgių atramos. Jie nustatytais tarpais (1660–2000 pabėgių 1 km) išdėstomi skersai kelio ir sutvirtinti su bėgiais sudaro fiksuoto pločio bėgių vėžės gardelę. Gaminami iš medienos ir gelžbetonio (anksčiau ir iš metalo).



2.2 pav. Geležinkelio kelio konstrukcija (Gailienė et al. 2018)

Gelžbetoniniai pabėgiai yra gerokai sunkesni už medinius. Paprastai jų masė siekia 250–270 kg. Tai komplikuoja grandžių klojimą ant žemės sankasos, tačiau dėl didesnės masės padidėja kelio eksploatacijos laikas ir stiprumas. Viršutinė konstrukcija su gelžbetoniniais pabėgiais yra daug standesnė, todėl riedmenų ir kelio susilietimas komplikuojasi. Šią problemą galima spręsti naudojant amortizuojančius padėklus. Gelžbetoniniai pabėgiai vis plačiau naudojami naujose bėgių kelio konstrukcijose ir rekonstruojamuose keliuose. Jie nebrangūs, stiprūs ir ilgaamžiai, eksploatacijos trukmė apie dešimt kartų ilgesnė už medinių pabėgių.

Būtinybė išlaikyti geros kokybės geležinkelio kelius ir riedmenis išlieka dėl saugumo, kelionės kokybės ir išvengti riedmenų sugadinimo. Šiuo metu Lietuvoje yra nustatytos šešios geležinkelio kelio kategorijos (2.3 lentelė).

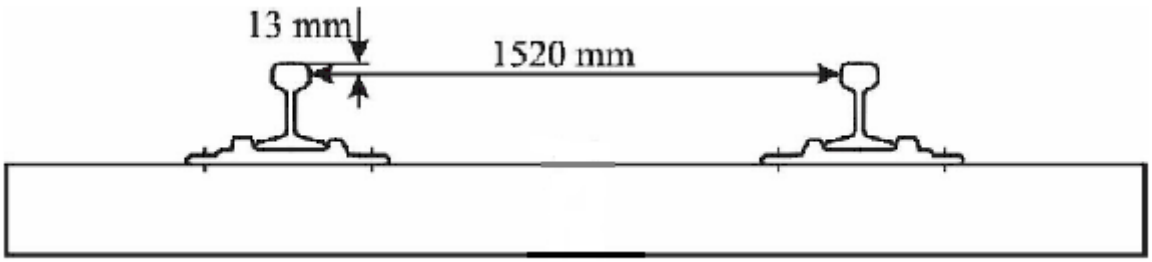
2.1 Geležinkelio kelio geometrinių parametrų nustatymo metodika pagal standartą EN-13848

Geležinkelio kelio geometrinių parametrų matavimo metodika privalo remtis nustatytais standartais. AB „Lietuvos geležinkeliai“ kelio kokybę vertina kompleksiškai, vertindami geležinkelio kelią kelio kokybės indeksu ir pagal nustatytus nuokrypius priskirdami kelio kategorijai ir kelio nuokrypių laipsniui. Instrukcija yra sudaryta vadovaujantis LST EN 13848 standartu. Šis standartas turi 6 dalis:

1. „LST EN 13848-1+A1 2008 Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Geležinkelio kelio kokybė. Geležinkelio kelio geometrijos apibūdinimas“. Šiuo standartu nustatomas reikalingas geležinkelio kelio parametrų nustatymo minimalus tikslumas.
2. „LST EN 13848–2 2006 Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Geometrinė geležinkelio kelio kokybė. 2 dalis. Matavimo sistemos. Kelmatės transporto priemonės“.
3. „LST EN 13848–3 2009 Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Geometrinė geležinkelio kelio kokybė Matavimo sistemos. Geležinkelio kelio tiesimo ir techninės priežiūros mašinos“.
4. „LST EN 13848–4 2011 Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Geometrinė geležinkelio kelio kokybė. Matavimo sistemos. Rankiniai ir lengvieji įtaisai“.
5. „LST EN 13848–5 2010 Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Geometrinė geležinkelio kelio kokybė. Bėgių kelias“.
6. „LST EN 13848–6 2014 Geležinkelio taikmenys. Bėgių kelias. Geometrinė bėgių kelio kokybė. Geometrinės bėgių kelio kokybės apibūdinimas“.

Kelmatis matuodamas bet kurį geležinkelio kelio parametro dydį vadovaujasi anksčiau minėtu standartu. Pagal instrukciją matuojami 7 geometriniai parametrai:

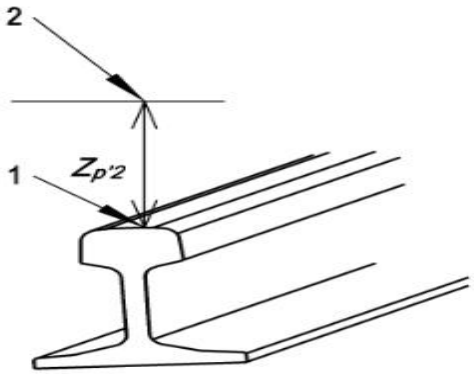
vėžės plotis – tai išmatuotas atstumas tarp geležinkelio bėgių, 13 mm žemiau bėgių galvutės viršaus;



2.3 pav. Vėžės pločio nustatymo schema (Lietuvos standartizacijos departamentas, 2008)

kairiojo bėgio paviršiaus įdubos – tai kairiojo bėgio galvutės viršaus lygio nuokrypis t. y. iškylos arba įdubos, išmatuotos nuo horizontalios atskaitos linijos;

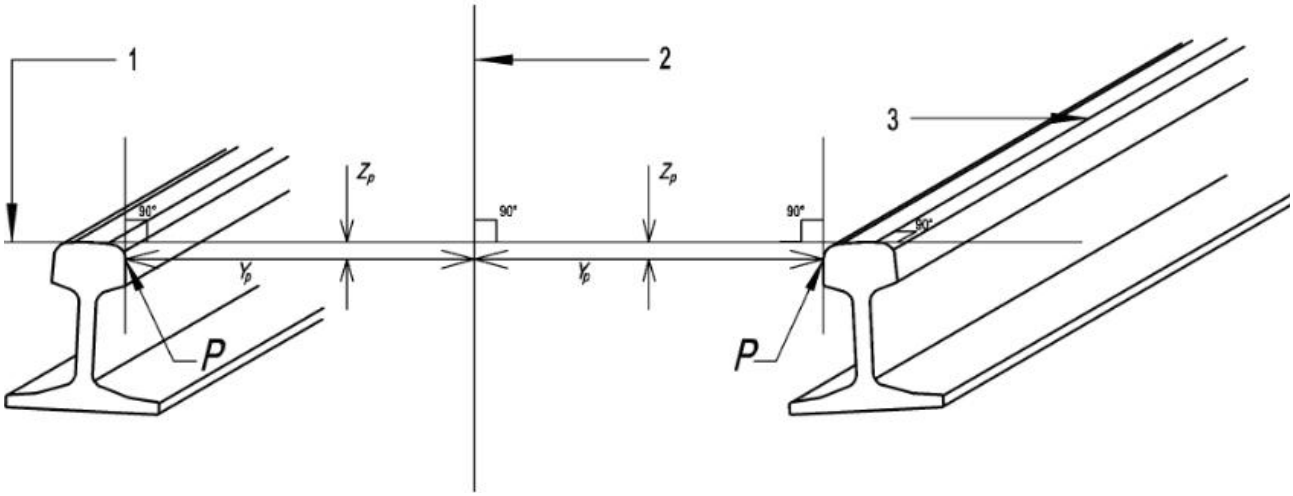
dešiniojo bėgio paviršiaus įdubos – tai dešiniojo bėgio galvutės viršaus lygio nuokrypis t. y. iškylos arba įdubos, išmatuotos nuo horizontalios atskaitos linijos;



2.4 pav. Bėgių įdubų matavimo schema (Lietuvos standartizacijos departamentas, 2008) 1 – matuojamo bėgio paviršius; 2 – atskaitos horizontali linija;

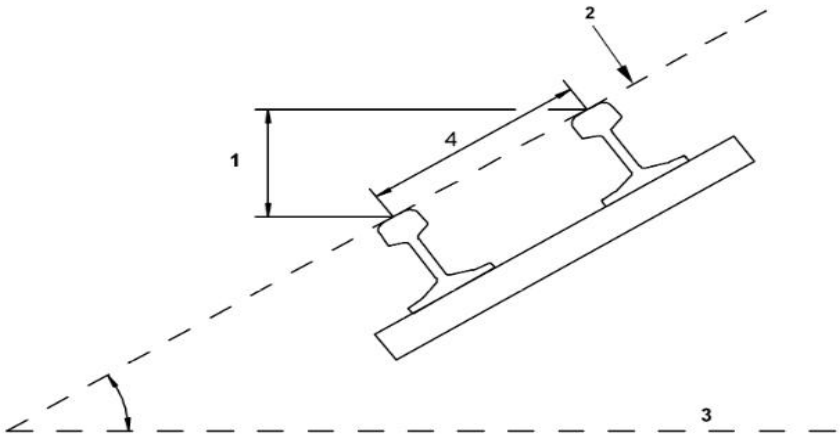
kairės pusės bėgio padėtis plane – tai kairiojo bėgio taško P, padėties nuokrypis y_p dydžiu Y ašies kryptimi, išreikštas kaip nuokrypis nuo kelmačio vertikalios atskaitos linijos;

dešinės pusės bėgio padėtis plane – tai dešiniojo bėgio taško P, padėties nuokrypis y_p dydžiu Y ašies kryptimi, išreikštas kaip nuokrypis nuo kelmačio vertikalios atskaitos linijos;

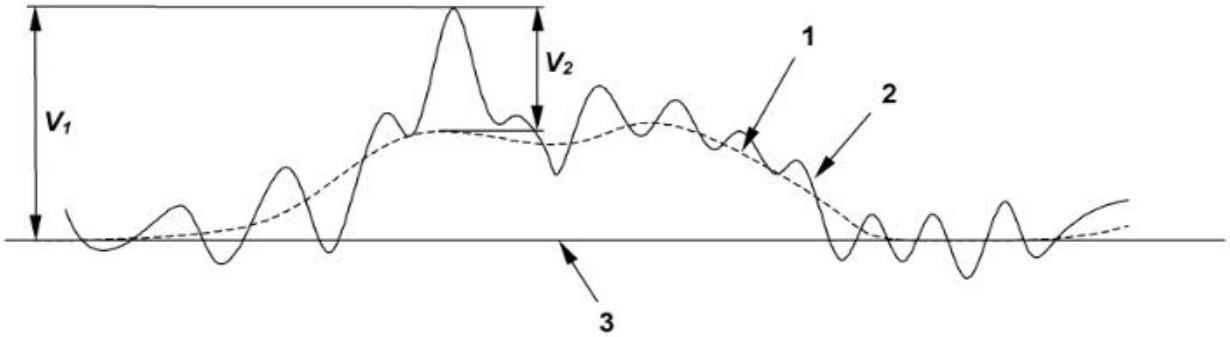


2.5 pav. Bėgių padėties plane matavimo schema (Lietuvos standartizacijos departamentas, 2008) 1 – horizontali atskaitos linija; 2– vertikali atskaitos linija; Y_p – bėgių padėties plane atstumas iki vertikalios atskaitos linijos; P – bėgio plokštuma nuo kurios matuojamas bėgių padėtis.

bėgių padėtis pagal lygį – bėgio vertikaliosios padėties atstumas nuo bėgio galvutės iki horizontaliosios atskaitos plokštumos, arba atstumas tarp dviejų gretimų bėgių galvučių paviršaus plokštumų, kai bėgių kelias turi pasvirimą posūkyje;



2.6 pav. Bėgių padėties pagal lygį matavimo schema (Lietuvos standartizacijos departamentas, 2008) 1 – atstumas tarp dviejų gretimų bėgių galvučių paviršiaus plokštumų; 2 – bėgių posvyrio plokštuma; 3 – horizontali plokštuma; 4 – atstumas tarp bėgių
perkrypa – atstumas tarp bėgių vienas kito atžvilgiu, staigus nuokrypis pagal galvutės lygį.



2.7 pav. Bėgių perkrypos matavimo schema (Lietuvos standartizacijos departamentas, 2008) 1 – vidutinė bėgio pagal lygį kitimo kreivė; 2 – kelmačiu išmatuota bėgio pagal lygį kitimo kreivė; V_1 – pirmojo bėgio kitimo pagal lygį dydis; V_2 – antrojo bėgio kitimo pagal lygį dydis.

Standartas EN-13848 nurodo, geležinkelio kelio matavimo metodikos reikalavimus, matavimo tikslumą ir išmatuotų duomenų vertinimo gaires. Standarto EN-13848 šeštojoje dalyje nurodyta, jog KKI gali būti skirstomas į klases. Taip pat nurodyta, jog KKI yra septynių geometrinių parametrų standartinių nuokrypių suma ir KKI turi dimensiją [mm]. Tuo tarpu toliau apžvelgiama Instrukcija K/259, joje nurodyta jog KKI yra bedimensis dydis.

2.2 Instrukcijoje K/259 pateikto kelio geometrinių parametrų nustatymo ir vertinimo metodikos analizė

Lietuvoje geležinkelio kelio kokybei nustatyti taikoma Instrukcija K/259 (Savaeigio kelio matavimo...,2012), tačiau yra žinomi ir kiti lietuvių mokslininkų aprašyti metodai. Geležinkelio vėžės būklė vertinama išmatavus viršutinės konstrukcijos kiekvieno elemento nuokrypius nuo suprojektuotų parametrų ir leistinųjų kokybinių rodiklių pokyčių. Tačiau taip vertinant techninę geležinkelio būklę nėra galimybės atsižvelgti į atskirų elementų parametrų nuokrypių pasiskirstymą geležinkelio ilgyje vertinant eismo intensyvumą ir riedmenų techninius parametrus. Sukurta kompleksinio vertinimo balų sistema, pagal kurią vėžės geometrinių parametrų nuokrypiai suskirstyti į penkias kategorijas pagal atitinkamą surinktų balų skaičių. Pagrindiniai geležinkelio vėžės geometrinių parametrų nuokrypiai ir jų kategorijos pateiktos 2.1 lentelėje, o jų verčių vertinimas balais – 2.2 lentelėje (Lingaitis et al. 2009). Idėja, jog reikia geležinkelio kelius vertinti pagal jų kategoriją yra tinkama, tačiau minėtame literatūros šaltinyje nurodoma skirtingi balų intervalai lyginant su Instrukcija K/259. Be to skirtinga yra ir balų nustatymo metodika, šiame šaltinyje pateikta lentelė su nuokrypių ribomis:

2.1 lentelė. Vėžės geometrinių parametrų nuokrypiai nuo suprojektuoto lygio ir jų kategorijos (Lingaitis et al. 2009)

Nuokrypiai	Nuokrypių balai pagal kategorijas				
	I	II	III	IV	V–VI
Bėgių vėžės paplatėjimas, mm	iki 6	6–11	11–16	16–20	Daugiau kaip 26
Bėgių vėžės susiaurėjimas, mm	iki 4	4–6	6–8	8–10	Daugiau kaip 10
Bėgių pokrypis, mm	iki 8	8–12	12–16	16–20	Daugiau kaip 20
Bėgių lygio paaukštėjimas, mm	iki 6	6–12	12–20	20–25	Daugiau kaip 25
Bėgių lygio pažemėjimas, mm	iki 10	10–15	15–20	20–25	Daugiau kaip 25
Kreivės lanko išlinkių skirtumas matuojant 20 m ilgio styga, mm	iki 10	10–18	18–25	25–35	Daugiau kaip 35

Išmatavus nuokrypio dydį, jis priskiriamas tam tikrai nuokrypių kategorijai ir pagal 2.2 lentelę nustatoma nuokrypių balų skaičius. I–III kategorijų nuokrypiai nesukelia pavojaus traukinių eismui ir keleivių komfortui, dėl jų susidaro tik nedideli vežimų nuostoliai, jei neviršijami leistinieji

traukinių važiavimo greičiai. Ketvirtos kategorijos nuokrypiai, traukiniams važinėjant nedideliu greičiu, labai veikia eismo sąlygas ir dėl to atsiranda liekamųjų deformacijų. Penktos kategorijos nuokrypiai sukelia keliui papildomas traukinių poveikio jėgas, kurios gali sukelti realią grėsmę eismo saugumui. Į tokią kelio vertinimo balais sistemą nepatenka geležinkelio ruožai su iškylomis, kuriose iešmai nesutvarkyti arba reikia keisti bėgius. (Lingaitis et al. 2009)

2.2 lentelė. Nuokrypių vertinimas balais (Lingaitis et al. 2009)

Nuokrypiai	Nuokrypių balai pagal kategorijas				
	I	II	III	IV	V–VI
Bėgių vėžės paplatėjimas	0	1	10	100	1000
Bėgių vėžės susiaurėjimas	0	1	2	100	1000
Bėgių pokrypis	0	2	30	500	1000
Bėgių lygio paaukštėjimas	0	0	1	15	250
Bėgių lygio pažemėjimas	0	2	10	50	500
Nuokrypiai plane, kurių ilgis iki 10 m	0	1	15	500	1000
Nuokrypiai plane, kurių ilgis iki 40 m	0	0	1	50	100

Ši aprašyta geležinkelio kelio būklės vertinimo sistema yra visiškai kitokia negu šiuo metu taikoma Lietuvoje, AB „Lietuvos geležinkeliai“ ir reikalaujama standarto EN–13848. AB „Lietuvos geležinkeliai“ geležinkelio kelius vertina 45 KKI balų vertinimo sistema, kuri aprašyta įmonės patvirtintoje instrukcijoje. Taip pat šiame vertinimo modelyje nėra paaiškinimo kas yra vertinimo balai, kodėl jų skaitinės reikšmės yra nurodyto dydžio lentelėse 2.1 ir 2.2. Šis modelis prieštarauja standartui EN-13848, standarte yra aiškiai apibrėžta, jog turi būti vertinami 7 pagrindiniai geometriniai geležinkelio kelio parametrai. Lentelėse 2.1 ir 2.2 jie yra ne visi. Dėl šių priežasčių šis metodas yra netinkamas vertinti šalies geležinkelio kelius. Taip pat nėra pagrįsta balų skaitinių reikšmių priskyrimas ir nėra jokio matematinio paaiškinimo kaip priskiriamas tam tikras balų skaičius.

2.3 lentelė. Geležinkelio viršutinės konstrukcijos būklės vertinimo balais sistema (Lingaitis et al. 2009)

Geležinkelio būklės vertinimas	Balų suma, tenkanti vienam geležinkelio kilometrui	
	vykstant nepavėluotam kapitaliniam remontui	vykstant pavėluotam kapitaliniam remontui
Labai gerai	0–40	0–60
Gerai	41–100	61–120
Patenkinamai	101–500	121–500
Nepatenkinamai	501 ir daugiau	501 ir daugiau

Lietuvoje veikianti įmonė „Lietuvos geležinkeliai“ turi įmonėje patvirtintą geležinkelio kelių vertinimo instrukciją K/259 „Savaeigio kelio matavimo vagono EM-140 matuojamų geležinkelio kelio geometrinių parametrų įvertinimo instrukcija K/259“. Instrukcijos K/259 pagrindinės taikymo sritys:

1) savaeigio kelio matavimo vagono EM-140 registruojamų geometrinių kelio parametrų grafinio vaizdo vaizdavimas ekrane;
2) išmatuotų duomenų saugojimas laikmenose;
3) išmatuotų duomenų įvertinimo tvarkos nustatymas priklausomai nuo maksimalių leidžiamųjų traukinių važiavimo greičių;
4) priemonių pritaikymas traukinių eismo saugumui užtikrinti, jei nustatyti bėgių vėžės didesni negu leidžiamieji nuokrypiai.

Vertinimo metodika, užtikrinant saugų traukinių judėjimą, turi atitikti anksčiau aprašytą standartą. Dėl šios priežasties septynių pagrindinių geležinkelio kelio geometrinių parametrų matavimo schemos pateiktos standarte EN-13848 antrojoje dalyje atitinka pateiktas septynių pagrindinių geometrinių parametrų matavimo schemas.

Bėgių kelio geometrinių parametrų nuokrypių ataskaitoje, gautoje iš kelmačio, nuokrypiai analizuojami pasirenkant nuokrypių laipsnį ir kelio kategorijai priklausančias tolerancijų ribas. Bendru atveju egzistuoja 4 nuokrypių laipsniai, pagal kuriuos parenkamos kelio remonto apimtys ir atliekami darbai:

1) I laipsniui priskiriami nuokrypiai, kurių nereikia šalinti, todėl esant tokiems nuokrypiams, nustatytas traukinių eismo greitis nesumažinamas.

2) II laipsniui priskiriami nuokrypiai, dėl kurių taip pat nereikia sumažinti traukinių eismo greičio, bet kurie daro įtaką traukinių važiavimo sklandumui. Jų skaičius kilometre leidžia spręsti apie profilaktinį kelio taisymo darbų būtinumą. II laipsnio nuokrypiai šalinami atliekant planinius darbus.

3) III laipsniui priskiriami nuokrypiai, kurių nepašalinus iki kito patikrinimo kelmačiu, gali pasiekti dydžius, smarkiai padidinančius liekamųjų kelio deformacijų kaupimosi intensyvumą,

o kai kurie iš jų gali padidėti iki tokių dydžių, dėl kurių reikės mažinti nustatytą traukinių greitį. Todėl III laipsnio nuokrypiai šalinami pirmaeilių darbų metu, bet ne vėliau kaip per 5 darbo dienas.

4) IV laipsniui priskiriami nuokrypiai, sukeliantys kelio ir traukinio tarpusavio jėgų padidėjimą iki dydžių, kuriems sutapus su nepalankiais kelio nuokrypiais, traukinys gali nuvažiuoti nuo bėgių. Atsiradus tokiems nuokrypiams ir atsižvelgus į faktinį jų dydį, mažinamas traukinių greitis arba nutraukiamas eismas. IV laipsnio nuokrypiai šalinami nedelsiant.

Aptikus IV laipsnio nuokrypių toje pačioje kelio vietoje du mėnesius iš eilės, privaloma imtis priemonių geležinkelio kelio padėčiai ištaisyti. Aptikus juos tris mėnesius iš eilės, toje pačioje kelio vietoje atliekamas operatyvinis tyrimas priežastims nustatyti (Savaeigio kelio... 2012). Siekiant sukurti tikslinę sistemą, geležinkelio linijos klasifikuojamos. Lietuvoje skirstomos pagal leidžiamą traukinių greitį, skirstomos į šešias kategorijas, pateiktas 2.4 lentelėje.

2.4 lentelė. Leidžiamas traukinių greitis pagal kelių kategorijas. (Savaeigio kelio matavimo..., 2012)

Kelio kategorija		I	II	III	IV	V	VI
Didžiausias greitis km/h	Keleivinių traukinių	140	120	100	80	50	25
	Prekinių traukinių	90	80	80	70	40	25

Kelias priskiriamas tam tikrai kelio kategorijai, įvertinus kelmačio duomenis pagal Instrukcijoje K/259 pateiktas geležinkelio kelio tolerancijų ir nuokrypių ribas toliau nurodytas lentelėse.

2.5 lentelė. Bėgių kelio vėžės pločio leidžiamosios toleracijų ribos (Savaeigio kelio matavimo..., 2012)

Nuokrypio laipsnis	Kelio kategorija ir nustatytas greitis esant tokiems kelio nuokrypiams, mm											
	I		II		III		IV		V		VI	
	140/90		120/80		100/80		80/70		50/40		25/25	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
I	8	4	8	4	8	4	8	4	8	4	10	4
II	14	6	14	6	18	6	18	6	20	6	26	6
III	16	8	16	8	22	8	22	8	26	8	28	8
IV	>16	<8	>16	<8	>22	<8	>22	<8	>26	<10	>28	<10

2.6 lentelė. Bėgių kelio perkrypų ir bėgių padėties pagal lygį leidžiamosios tolerancijų ribos (Savaeigio kelio matavimo vagono..., 2012)

Nuokrypio laipsnis	Kelio kategorija ir nustatytas greitis esant tokiems kelio nuokrypiams, mm													
	I		II		III		IV		V		VI		15 km/h	
	140/90		120/80		100/80		80/70		50/40		25/25		15/15	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
I	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	7	7	8	8
II	6	6	6	6	8	8	8	8	10	10	12	12	15	15
III	8	8	8	8	10	10	10	10	12	12	15	15	25	25
IV	>8	<8	>8	<8	>10	<10	>10	<10	>12	<12	>15	<15	>25	<25

2.7 lentelė. Bėgių kelio įdubų leidžiamosios tolerancijų ribos (Savaeigio kelio matavimo vagono..., 2012)

Nuokrypio laipsnis	Kelio kategorija ir nustatytas greitis esant tokiems kelio nuokrypiams, mm													
	I		II		III		IV		V		VI		15 km/h	
	140/90		120/80		100/80		80/70		50/40		25/25		15/15	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
I	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	7	7	9	9
II	7	7	10	10	10	10	10	10	12	12	15	15	17	17
III	10	10	12	12	12	12	12	12	15	15	17	17	22	22
IV	>10	<10	>12	<12	>12	<12	>12	<12	>15	<15	>17	<17	>22	<22

Pagal KKI skaitines vertes geležinkelio keliai neskirstomi į kategorijas o turi bendras, visoms geležinkelių kelių kategorijoms KKI vertinimo ribas (2.9 lentelė). Visi duomenys yra gaunami iš kelmačio elektroninės sistemos. Kelio kokybės indeksas skaičiuojamas kiekvienai 200 m ilgio atkarpai. Standarte EN-13848 yra numatyta, jog atkarpos, kuriai skaičiuojamas KKI, gali būti ir kitokio ilgio.

2.8 lentelė. Bėgių kelio padėties plane leidžiamosios ribos (Savaeigio kelio matavimo..., 2012)

Nuokrypio laipsnis	Kelio kategorija ir nustatytas greitis esant tokiems kelio nuokrypiams, mm													
	I		II		III		IV		V		VI		15 km/h	
	140/90		120/80		100/80		80/70		50/40		25/25		15/15	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
I	5	5	5	5	5	5	5	5	7	7	10	10	12	12
II	7	7	12	12	12	12	12	12	17	17	20	20	25	25
III	12	12	17	17	17	17	17	17	20	20	25	25	30	30
IV	>12	<12	>17	<17	>17	<17	>17	<17	>20	<20	>25	<25	>30	<30

Kelmačiui išmatavus tam tikrą geležinkelio kelio ruožą, duomenys yra pateikiami elektroninėje laikmenoje. KKI nustatymo algoritmas yra nežinomas ir negalima jo gauti dėl kelmačio gamintojo komercinės paslapties, bet jis turi atitikti EN-13848 standarto visas 6 dalis. KKI nustatymo įranga pateikia tik bėgių geometrinių parametrų kitimo grafiką ir kiekvieno geometrinio parametro KKI skaitinį vertinimą. Bendrai geležinkelio kelio kokybei įvertinti naudojama KKI skaitinė vertė, kuri leidžia stebėti geležinkelio kelio būklės dinamiką.

Iš kelmačio elektroninės sistemos gauta KKI eilutė su septyniais parametrais yra perkeliama į žiniaraštį elektroninėje pateiktyje. Iš šių 7 geometrinių parametrų apskaičiuojamas KKI, susumuojant kiekvieno atskiro geometrinio parametro skaitines KKI reikšmes. Taip pat nustatomas atskirų geometrinių parametrų atitiktis tolerancijos riboms, kurios reikalingos tikrinant saugaus traukinių judėjimo greičio atitiktį pagal kelio kategoriją. Iš grafinio vaizdo jei nustatomas nuokrypis, dėl kurio turi būti mažinamas traukinių greitis, t. y. aptinkamas nuokrypis, viršijantis tolerancijos ribas. Prie tos atkarpos pridedami 45 KKI vienetai ir kelias įvertinamas kaip blogas. Pagrindinis AB „Lietuvos Geležinkeliai“ vertinimo kriterijus yra KKI, juo visapusiškai įvertinama geležinkelio kelio kokybė. Didesnis KKI reiškia, jog kelias nėra stabilus ir nuokrypiai kinta didesne amplitude. Nustačius kiekvieno geometrinio parametro kelio kokybės indeksą ir susumavus bendrą kelio kokybės indeksą (KKI), vertinamas visas kelias. Pagal suminį KKI kokybinis geležinkelio kelio vertinimas pateikiamas 2.9 lentelėje.

2.9 lentelė. Geležinkelio kelio būklės vertinimas KKI (Savaeigio kelio matavimo vagono..., 2012)

Suminis KKI	Kelio apibūdinimas
0–20	Labai geras
21–34	Geras
35–44	Patenkinamas
45<	Blogas

Didesnės KKI reikšmės reiškia blogesnę geležinkelio kelio kokybę. Vertinant esama metodika tik kelio kokybės indeksu, reali geležinkelio kelio būklė nėra nustatoma, todėl KKI skirtingų kategorijų keliams neatspindi realios esamos situacijos. Esant išmatuoto dydžio nuokrypiui, kuris viršija tolerancijos ribas, viršijusiam tolerancijos ribas geometriniam parametrui pridedami 45 KKI balai. Nors nuokrypio ribinė skaitinė vertė skirtingai kelio kategorijai yra skirtinga, tai leidžia teigti, kad įvertinus vienoda KKI skaitine verte skirtingų kategorijų kelius, jų būklė nebus vienoda. Taip pat nėra pagrindimo kodėl yra naudojama KKI 45 balų vertinimo sistema. Todėl būtina tobulinti esamą metodiką, šiame darbe bus pateikiamas modelis, pagal kurį šis metodikos trūkumas bus pašalintas.

2.3 Mokslo darbuose siūlomi nauji metodai KKI nustatyti

Pasaulyje žinomi aštuoni būdai vertinti geležinkelio kelio kokybę kelio kokybės indeksu arba analogiškais būdais (Liu et al., 2015). Juos savo publikacijoje apžvelgė Setiawan ir Rosyidi (2016), autoriai savo darbe pabrėžia būtinybę pereiti prie bendros geležinkelio kelio matavimo ir vertinimo sistemos. Dauguma kelio kokybės vertinimo metodų paremti geležinkelio kelio matavimu kelmačiu. Iš kelmačio gavus geležinkelio kelio duomenis, nustatomas standartinis nuokrypis ir pagal kiekvieną atskirą metodiką skaičiuojamas kelio kokybės indeksas. Yra ir kitų metodų, pavyzdžiui Japonijoje nustatomas santykis tarp taškų, įeinančių į tolerancijos ribas ir neįeinančių, taikant šį metodą standartinis nuokrypis nėra nustatomas. Pasaulyje taikomi metodai geležinkelio kelio kokybei nustatyti:

1) SD TQI indeksas (Australija, Didžioji Britanija), kaip ir Lietuvoje susideda iš 7 pagrindinių geležinkelio kelio geometrinių parametrų, tačiau ne dispersijų, o standartinių nuokrypių (σ_i) sumos:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} \left(x_{ij}^2 - \bar{x}_i^2\right)}; \tag{2.1}$$

$$\bar{x}_i = \sum_{j=1}^{n} \cdot \frac{x_{ij}}{n}; \tag{2.2}$$

čia: σ_i – kelio kokybės indeksas; n – kilometre kelmačiu išmatuotų išmatuotų taškų skaičius; i – 1,2,...,7; j – 1,2,...,n; x_{ij} – bet kurio iš 7 geometrinio parametro standartinis nuokrypis; $\bar{x}_i$ – vidutinė geometrinio parametro reikšmė;

2) Q indeksas (Olandija) – tai kelio kokybės indeksas, kuris konvertuoja anksčiau minėtą SD TQI indeksą į universalesnį indeksą.

$$N = 10 \cdot 0{,}675^{\frac{\sigma_i}{\sigma_i^{80}}}; \tag{2.3}$$

čia: N – Q indeksas; σ_i – 200 metrų ilgio atkarpos standartinis nuokrypis; σ_i^{80} – 80 procentų standartinio nuokrypio dydis;

3) TRI (Track roughness index) kelio šiurkštumo indeksas, pasiūlytas 1998 metais JAV.

$$TRI_i = \sum_{j=1}^{n} \frac{(x_{ij})^2}{n}; \tag{2.4}$$

4) P indeksas (Japonija), nustatoma kelio kokybė atkarpai 100 metrų arba 500 metrų ilgio, vertinant santykį taškų esančių, +3 mm ir -3 mm diapazone. Kuo santykis blogesnis, tuo kelio kokybė yra prastesnė.

5) CN indeksas (Kanada). Šiuo indeksu vertinama visų šalies geležinkelių kelių būklė.

$$TQI_i = 1000 - C \cdot \sigma_i^2; \tag{2.5}$$

čia: C – konstanta, taikoma 700 pagrindinių geležinkelio kelių;

6) TGI indeksas (Prancūzija). Šis indeksas taip pat taikomas geležinkelio kelio atkarpų būklei nustatyti, kuo šis indeksas didesnis, tuo kelio kokybė prastesnė.

$$TGI_i = \left(\frac{L_i}{L_0} - 1\right) \cdot 10^6; \quad (2.6)$$

$$L_i = \sum_{j=1}^{n-1} \sqrt{\left(x_{i(j+1)} + x_{ij}\right)^2 + \left(y_{j+1} + y_j\right)^2}\ ; \quad (2.7)$$

čia: TGI – Prancūzijoje taikomas geležinkelio kelio kokybės indeksas; L_i – išmatuotas viso kelio ilgis; L_0 – atkarpos ilgis, kuriam nustatomas TGI indeksas.

7) SNFC vidutiniai nuokrypių indeksai. Šie indeksai skiriasi nuo kitų, jog nėra pagrįsti standartinio nuokrypio nustatymu ir jo sumavimu, o vidutinės indekso reikšmės nustatomos pagal formulę:

$$TL^i(y_0) = \frac{1}{300} \int_{-\infty}^{y_0} n^i(y) exp\left(\frac{y - y_0}{300}\right) dy\ ; \quad (2.8)$$

čia: y_0– maksimali bet kurio iš 7 geometrinių parametrų reikšmė; y – išmatuota geometrinio parametro reikšmė; $n^i(y)$– kelmačiu išmatuoti duomenys.

8) Kiniškasis SD indeksas (Kinija). Šis kelio kokybės indeksas kaip ir Lietuvoje susideda iš 7 pagrindinių geležinkelio kelio geometrinių parametrų, tačiau ne dispersijų, o standartinių nuokrypių sumos.

$$TQI = \sum_{i=1}^{7} \sigma_i; \quad (2.9)$$

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^{n} \left(x_{ij}^2 - \bar{x}_i^2\right)}\ ; \quad (2.10)$$

$$\bar{x}_i = \sum_{j=1}^{n} \cdot \frac{x_{ij}}{n}\ ; \quad (2.11)$$

čia: σ_i – kelio kokybės indeksas; n – kilometre kelmačiu išmatuotų taškų skaičius; i – 1,2,...,7; j – 1,2,...,n; x_{ij} – bet kurio iš 7 geometrinio parametro standartinis nuokrypis; $\bar{x}_i$ – vidutinė geometrinio parametro reikšmė.

Išnagrinėtų mokslinių darbų autoriai įvardija problemą, jog nėra bendros geležinkelių kelių kokybės vertinimo sistemos ir metodikos kelio kokybės indeksui nustatyti. Dėl šios priežasties KKI indeksas įvairiose šalyse turi skirtingas dimensijas, skirtingas skaitinių reikšmių interpretacijas ir jo skaitinės vertės vertinamos nevienareikšmiškai. Lietuvoje galioja 45 KKI balų sistema, tačiau mokslinio pagrindimo, kodėl tokia sistema buvo pasirinkta nėra, taip pat neaišku ar padidinus kelyje greičio ribą iki 160 km/h ar dar didesnio leidžiamojo greičio, ar turėtų keistis ir KKI leidžiamoji riba.

2.4 Siūlomas KKI sudedamųjų dalių interpretavimas

Ištyrinėjus pasaulyje žinomus ir taikomus metodus Lietuvoje geležinkelio kelio kokybei nustatyti daroma išvada, jog geležinkelio kelią charakterizuojantys ir lemiantys KKI reikšmės didumą yra šie 7 geometriniai parametrai: vėžės plotis, bėgių padėtis vienas kito atžvilgiu pagal galvutės lygį, kairiojo bėgio paviršiaus įdubos, dešiniojo bėgio paviršiaus įdubos, kairės pusės bėgio padėtis plane, dešinės pusės bėgio padėtis plane ir bėgių perkrypa. Kelmačiu matuojant taip pat užrašomi papildomi parametrai ir žymos: važiavimo greitis, kilometras, piketas, infrastruktūros objektų žymos (iešmas, tiltas, tunelis, šviesoforas, pervaža). Kelmatis, pateikdamas rezultatus grafiškai (14 paveikslas), šiuos parametrų pavadinimus sutrumpina taip:

PL – vėžės plotis,

IDK – kairiojo bėgio paviršiaus įdubos,

IDD – dešiniojo bėgio paviršiaus įdubos,

TIEK – kairės pusės bėgio padėtis plane,

TIED – dešinės pusės bėgio padėtis plane,

LYGIS – bėgių padėtis vienas kito atžvilgiu pagal galvutės lygį,

PER – perkrypa.

Kelmačiu išmatuotas geležinkelio kelio vieno kilometro ilgio ruožas (3.4 pav.) duomenų lentelėje padalintas 200 metrų ilgio atkarpomis, kurioms kiekvienai atskirai yra pateiktos septynių geometrinių parametrų dispersijos ir visos atkarpos dispersijų suma (paskutiniame stulpelyje), lentelės pabaigose pateiktas viso 1 km ilgio ruožo atskirų geometrinių parametrų dispersijos ir bendroji dispersija, vadinama KKI.

Kelmačiui išmatavus tam tikrą geležinkelio kelio ruožą, duomenys yra pateikiami elektroninėje laikmenoje. KKI nustatymo algoritmas mums nežinomas ir negalima jo gauti dėl kelmačio gamintojo komercinės paslapties, yra pateiktos septynių geometrinių parametrų dispersijos ir visos atkarpos dispersijų suma (paskutiniame stulpelyje), bet jis turi atitikti Lietuvos standartizacijos departamento (2008), (2006), (2009), (2012), (2010), (2006) standarto LST EN13848 visas 6 dalis. KKI nustatymo įranga pateikia tik bėgių geometrinių parametrų kitimo grafikus (3.3 pav.) ir kiekvieno geometrinio parametro KKI skaitinį vertinimą (3.4 pav.). Gauta KKI eilutė su septyniais parametrais yra perkeliama i žiniaraštį elektroninėje pateiktyje. Iš šių 7 geometrinių parametrų apskaičiuojamas KKI. Taip pat nustatoma atskirų geometrinių parametrų atitiktis tolerancijos riboms (3.3 pav.), kurios reikalingos parenkant saugų traukinių judėjimo greitį.

Pirmą kartą (Maskeliūnaitė ir Sivilevičius, 2014) buvo moksliškai pagrįstas naujas požiūris, kad KKI skaitinė reikšmė yra 7 geometrinių parametrų dispersijų suma, bet ne standartinių

nuokrypių suma. Praktikoje kelio kokybės indeksas skaičiuojamas kiekvienai 200 metrų atkarpai, tačiau gali būti nustatomas įvairiems atkarpų ilgiams (Bubnelis et al. 2018). Kelio kokybės indeksas gaunamas sumuojant kiekvieno geležinkelio kelio kilometro geometrinių parametrų dispersijas pagal formulę:

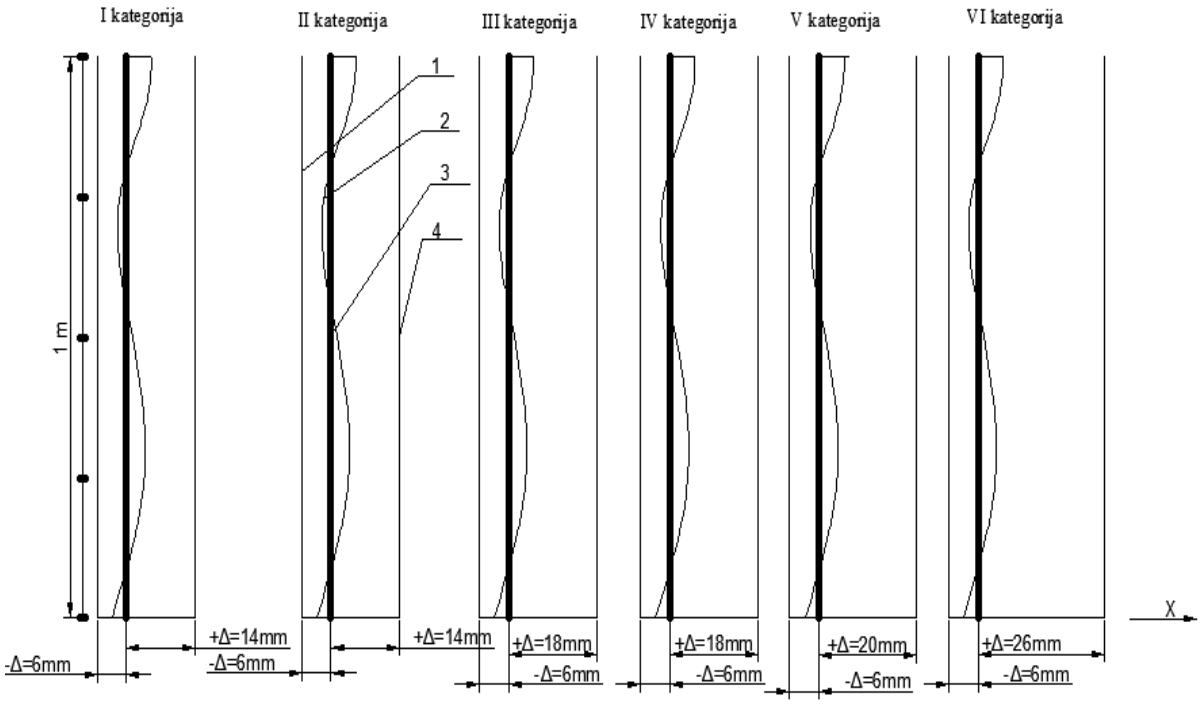
$$KKI = \sum_i^7 \sigma_i = \sigma_{PL}^2 + \sigma_{IDK}^2 + \sigma_{IDD}^2 + \sigma_{TIEK}^2 + \sigma_{TIED}^2 + \sigma_{lygis}^2 + \sigma_{PER}^2; \quad (2.12)$$

čia: KKI – kelio kokybės indeksas, t. y. visų geometrinių parametrų dispersijų suma, mm^2, σ_{PL}^2 – vėžės pločio dispersija, mm^2; σ_{IDK}^2 – kairės pusės bėgio įdubos dispersija, mm^2; σ_{IDD}^2 – dešinės pusės bėgio įdubos dispersija, mm^2; σ_{TIEK}^2 – kairės pusės bėgio padėties plane dispersija, mm^2; σ_{TIED}^2 – dešinės pusės bėgio padėties plane dispersija, mm^2; σ_{lygis}^2 – bėgių padėties vienas kito atžvilgiu pagal bėgių galvutės lygį dispersija, mm^2; σ_{PER}^2 – perkrypos dispersija, mm^2.

Pagal Instrukciją K/259 iš kelmačio EM-140 informacinės sistemos gavus KKI skaitinę reikšmę, papildomai tikrinama išmatuotų matavimų rezultatų atitiktis tolerancijos riboms (3.3 pav.) Jeigu tolerancijos ribas kerta išmatuota bet kurio iš septynių geometrinių parametrų išmatuota kreivė, tada prie apskaičiuotų skaitinių įvertinimų pridedami 45 mm^2, nepaisant kokia yra geležinkelio kelio kategorija ir kokio dydžio yra nuokrypis. Šis vertinimo metodas neleidžia geležinkelio kelių būklės nusakyti vien KKI, todėl spręsti apie šalies geležinkelių kelių būklę vien KKI nėra korektiška ir tikslu. AB „Lietuvos geležinkeliai“ bendrą geležinkelių būklę vertina vien tik vidutiniu KKI. Vietiniams defektams rasti naudojama 3.4 pav. parodytas grafinis vaizdas, kuriame matoma vieta ir kuris geometrinis parametras išeina už tolerancijos ribų. Tam, kad nereikėtų per visą kilometrą jo ieškoti, pasinaudojus grafiniu vaizdu defektas gali būti nesunkiai randamas.

Teiginiu, jog šiuo metu KKI skaičiuojamas neteisingai, įrodyti pateikiamas pavyzdys: Instrukcijoje K/259 yra pateikiamos lentelės su tolerancijos ribomis. Grafinis tolerancijų ribų vaizdavimas ir interpretavimas parodytas 2.8 pav ir kelmačio pateiktame originaliame grafiniame vaizde 3.3 pav. parodytas praktinis tolerancijų ribų žymėjimo ir vertinimo pavyzdys. Nubraižytame grafike (2.8 pav.) atidėtos I–VI kelio kategorijų tolerancijos ribos ir išmatuota geležinkelio kelio vieno iš septynių pagrindinių parametrų kreivė.

Taigi, kaip jau minėta, kiekvieno iš septynių geležinkelio kelio geometrinių parametrų kelmačiu išmatuoti duomenys ir nustatyti nuokrypių dydžiai yra lyginami ar atitinka tos kategorijos kelio tolerancijos ribas. Ribinė skaitinė tolerancijos ribų vertė kiekvienai kelio kategorijai yra skirtinga 2.4–2.7 lentelės. Viršijus tolerancijos ribas 2.8, 2.9 pav., būtų pridedami 45 mm^2.



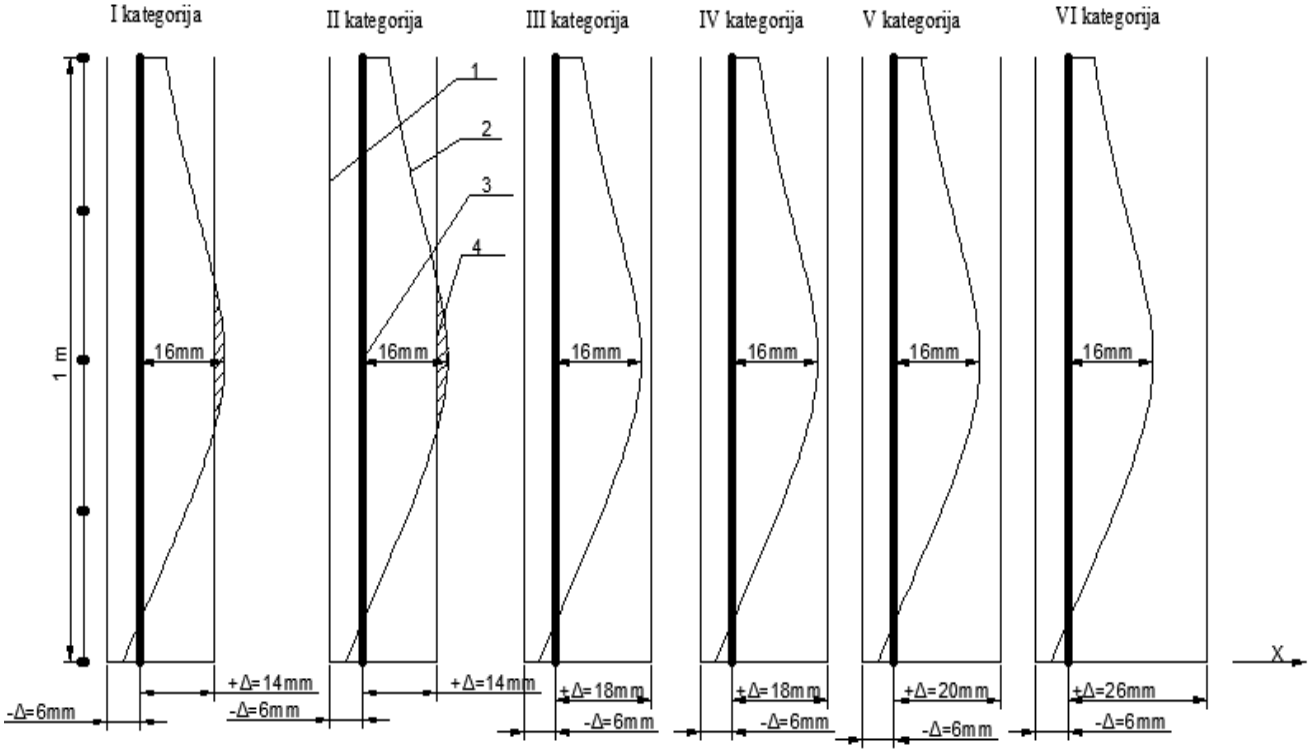
2.8 pav. I nuokrypių pasiskirstymo variantas: geležinkelio kelio I–VI kategorijos vėžės pločio nuokrypių grafinis vaizdas, kai nuokrypiai neviršija tolerancijos ribų: 1 – neigiama tolerancijos riba (leidžiamas nuokrypis į mažąją skaitinių reikšmių pusę); 2 – išmatuota bėgių vėžės kreivė; 3 – nulinė linija arba idealaus vėžės pločio linija; 4 – teigiama tolerancijos riba (leidžiamas nuokrypis į didesniąją skaitinių reikšmių pusę);

Pateiktas I nuokrypių pasiskirstymo variantas (2.8 pav.) kai nuokrypių pasiskirstymas neišeina už tolerancijos ribų. Pirmuoju variantu kelmatis apskaičiuos KKI ir jokių korekcijų nebus daroma. Tokiu atveju, vertinant skirtingų kategorijų kelius, kelių ruožai KKI įvertinami absoliučiai teisingai ir vienareikšmiškai. KKI atspindi tikrąją geležinkelio kelio būklę ir juo remiantis galima vertinti geležinkelio kelio būklę tiek vidutiniu visam geležinkelio keliui, tiek tam tikrai jo daliai vertinti.

Esant skirtingoms kelio kategorijoms ir jų tolerancijos riboms atsiranda korekcijų, dėl KKI skaičiavimo metodikos, paaiškinimui pateikiamas pavyzdys: 2018 metų sausio mėnesį kelmačiu išmatuoto II kategorijos kelio Pagėgiai–Radviliškis X-ąjį kilometras. Šio išmatuoto kilometro duomenys naudojami paaiškinimui 2.9 pav. atidėta vėžės pločio nuokrypio skaitinė reikšmė lygi 16 mm, tolerancijų ribos (I-VI kategorijos kelių) paimtos iš Instrukcijos K/259.

Pagėgiai–Radviliškis X-ojo kilometro septynių geometrinių parametrų suma yra 40,73 mm^2, tačiau bendras, oficialiai pripažįstamas, įvertinimas yra 85,73 mm^2 susidedantis iš:

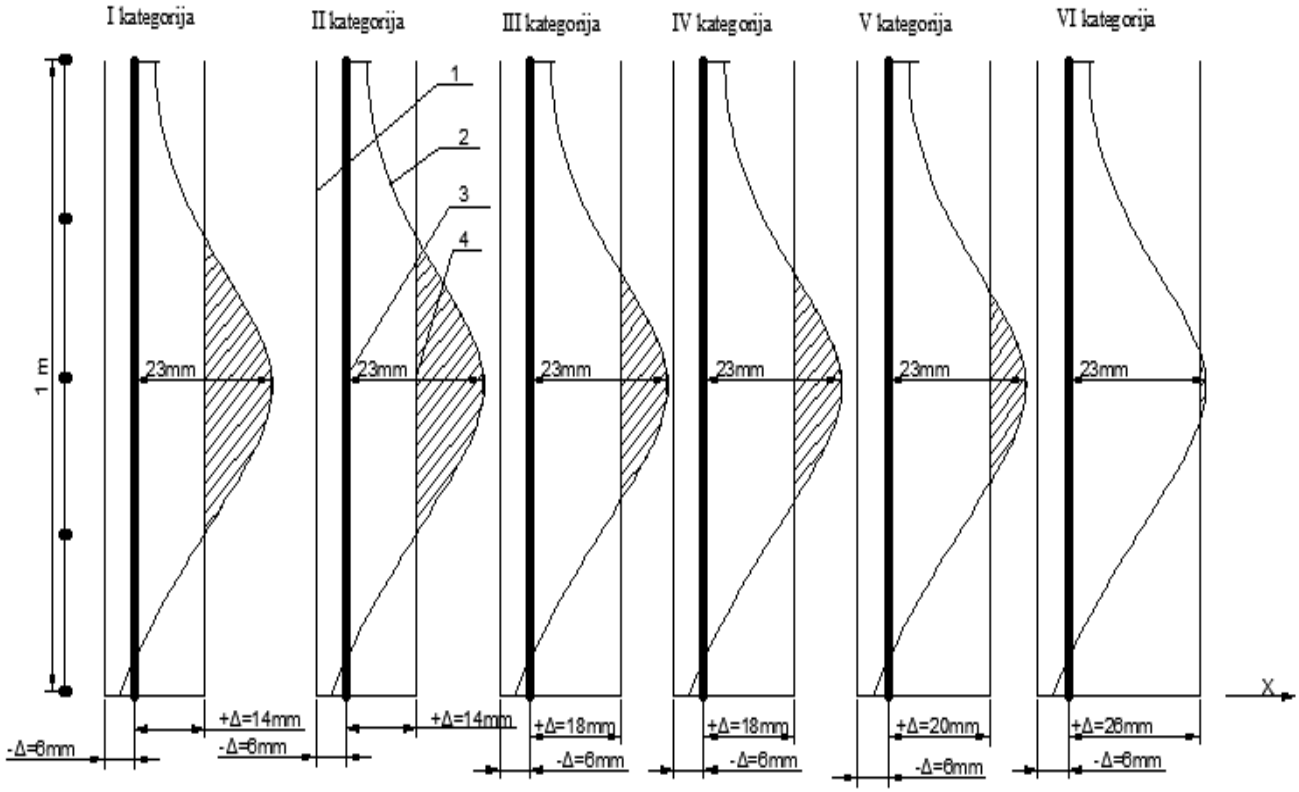
1) vėžės plotis – 15,19 mm^2, išmatuotas vėžės pločio išmatuotas nuokrypis 16 mm, kuris viršijo tolerancijų ribas todėl buvo pridėti 45 mm^2 ir gautas bendras vėžės pločio įvertinimas 60,19 mm^2 ;
2) kairės pusės bėgio įdubos – 3,65 mm^2;
3) dešinės pusės bėgio įdubos – 3,83 mm^2;
4) kairiojo bėgio padėtis plane – 3,87 mm^2;
5) dešiniojo bėgio padėtis plane – 4,84 mm^2;
6) bėgių padėtis pagal lygį – 3,34 mm^2;
7) perkrypa – 6,01 mm^2.



2.9 pav. II nuokrypių pasiskirstymo variantas: geležinkelio kelio I-VI kategorijos vėžės pločio nuokrypių grafinis vaizdas, kai nuokrypiai viršija I ir II kategorijos kelių tolerancijos ribas. 1 – neigiama tolerancijos riba (leidžiamas nuokrypis į mažąją skaitinių reikšmių pusę); 2 – išmatuota bėgių vėžės kreivė; 3 – nulinė linija arba idealaus vėžės pločio linija; 4 – teigiama tolerancijos riba (leidžiamas nuokrypis į didesniąją skaitinių reikšmių pusę)

Pateiktas paaiškinimas ir parodytas II-ojo nuokrypių pasiskirstymo grafinis vaizdas 2.9 pav. kai išmatuotas vėžės pločio kitimas ir palyginus su tolerancijų ribomis jas kerta. Gautas vėžės pločio nuokrypis 16 mm viršija II kategorijos kelio tolerancijos ribas, o lyginant su V kategorijos

tolerancijos ribomis, jų nepasiekia. Jeigu kelias Pagėgiai–Radviliškis būtų priskirtas V kategorijai nebūtų pridedami 45 mm^2 dėl to, kad nebūtų viršijamos tolerancijos ribos. V kategorijos kelio įvertinimas būtų lygus 40,73 mm^2, kelias būtų įvertinamas kaip patenkinamos būklės, tačiau šis kelias yra II kategorijos ir įvertintas 85,73 mm^2, kaip itin blogas. Tai leidžia teigti, kad vertinant skirtingų kategorijų kelius vienoda KKI skaitine verte, ne visada skirtingų kategorijų kelių būklė bus vienoda. Turint tokius kiekvieno kilometro geležinkelių kelių duomenis, juos susumavus ir apskaičiavus vidurkį, vidutinis KKI nenusakys esamos geležinkelio kelių būklės.



2.10 pav. III nuokrypių pasiskirstymo variantas: geležinkelio kelio II ir V kategorijos vėžės pločio nuokrypių grafinis vaizdas kai nuokrypiai viršija tolerancijos ribas abiejų kategorijų keliuose. 1 – neigiama tolerancijos riba (leidžiamas maksimalus nuokrypis į mažąją skaitinių reikšmių pusę); 2 – išmatuota bėgių vėžės kreivė; 3 – nulinė linija arba idealaus vėžės pločio linija; 4 – teigiama tolerancijos riba (leidžiamas maksimalus nuokrypis į didesniąją skaitinių reikšmių pusę);

Esant III nuokrypių pasiskirstymo variantui, kai nuokrypio dydis yra tokio dydžio, kai kerta bet kurios kategorijos tolerancijų ribas ir abiejų kategorijų geležinkelio kelių būklei vertinti pridedami 45 mm^2 yra teisingas ir korektiškas tarp kategorijų, tačiau neteisingas ir nekorektiškas kelių atžvilgiu, kuriems nebuvo pridėti 45 mm^2. Bet kuriuo atveju dirbtinų 45 mm^2 pridėjimas iškreipia tikrąją geležinkelio kelio būklę jei vertinama KKI.

Anksčiau pateikti pavyzdžiai puikiai iliustruoja Instrukcijos K/259 geležinkelio kelių būklės vertinimo metodikos KKI trūkumą, kai KKI neparodo esamos geležinkelio kelio būklės. Taip pat nėra pagrindimo, kodėl yra naudojama KKI 45 mm^2 vertinimo sistema.

Siūlomas modelis nustatyti ribines KKI skaitines vertes kiekvienam geležinkelio kelio geometriniam parametrui atsižvelgiant į kelio kategoriją ir atsisakyti 45 KKI vienetų pridėjimo, kai nustatoma, jog išmatuota skaitinė reikšmė viršija tolerancijų ribas, nurodytas 2.6–2.8 lentelėse. Bendru atveju, bet kurio iš septynių geometrinių geležinkelio kelio geometrinių parametrų standartinis nuokrypis turi būti skaičiuojamas padarius prielaidą, jog normalųjį skirstinį sudaro tolerancijos ribose telpantis diapazonas R, kurį sudaro 6σ standartiniai nuokrypiai (2.11 pav.)

$$R = (+\Delta) - (-\Delta); \tag{2.13}$$

čia: $(-\Delta)$ – neigiama tolerancijos riba (leidžiamas maksimalus nuokrypis į mažąją skaitinių reikšmių pusę); $(+\Delta)$ – teigiama tolerancijos riba (leidžiamas maksimalus nuokrypis į didesniąją skaitinių reikšmių pusę).

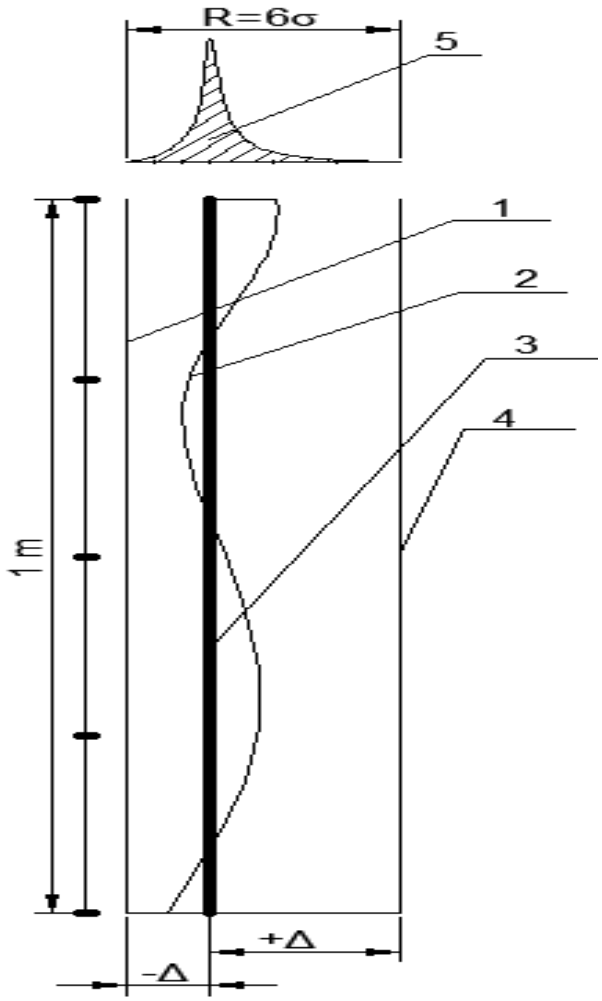
$$R = 6\sigma; \tag{2.14}$$

čia: σ – bet kurio iš septynių geometrinio parametro standartinis nuokrypis, mm;
R – normaliojo skirstinio diapazonas.

Bet kurio geometrinio parametro Kelio kokybės indeksas bus lygus:

$$KKI_p = \sigma_p^2 = \frac{R_p^2}{6^2} = \frac{R_p^2}{36} = \frac{\left((+\Delta)-(-\Delta)\right)^2}{36}; \tag{2.15}$$

Pasiūlytame metode nėra tinkamo normaliojo skirstinio imties, daroma prielaida, jog normalusis skirstinys neišeina už tolerancijos ribų. Todėl jį sudaro diapazonas R, kuris yra tolerancijos ribose: teigiama tolerancijos riba (leidžiamas maksimalus nuokrypis į didžiąją skaitinių reikšmių pusę) ir neigiama tolerancijos riba (leidžiamas maksimalus nuokrypis į mažąją skaitinių reikšmių pusę). Pirmai kelio kategorijai I–IV nuokrypių laipsniui ribinė KKI skaitinė reikšmė turi apskaičiuojama paimant iš 2.6–2.8 lentelių tolerancijos ribas ir įrašant į formules didžiausias jų reikšmes.



2.11 pav. Geležinkelio kelio geometrinių parametrų tolerancijos ribų sąsaja su normaliuoju skirstiniu. . 1 – neigiama tolerancijos riba (leidžiamas maksimalus nuokrypis į mažąją skaitinių reikšmių pusę); 2 – išmatuota bėgių vėžės kreivė; 3 – nulinė linija arba idealaus vėžės pločio linija; 4 – teigiama tolerancijos riba (leidžiamas maksimalus nuokrypis į didesniąją skaitinių reikšmių pusę); 5 – normalusis skirstinys;

I nuokrypių laipsnio I kelio kategorijos vėžės pločio KKI ribinė skaitinė reikšmė:

$$KKI_{PL} = \frac{\left((8)-(-4)\right)^2}{36} = 4 \text{ mm}^2 ; \quad (2.16)$$

II nuokrypių laipsnio:

$$KKI_{PL} = \frac{\left((14)-(-6)\right)^2}{36} = 11{,}11 \text{ mm}^2 ; \quad (2.17)$$

III nuokrypių laipsnio:

$$KKI_{PL} = \frac{\left((16)-(-8)\right)^2}{36} = 16 \text{ mm}^2 ; \quad (2.18)$$

Analogiškai apskaičiavus kitoms geležinkelio kelio kategorijoms ribines skaitines KKI reikšmes sudaroma 2.10–2.14 lentelės. Lentelėse pateikiamos apskaičiuotos KKI reikšmės pagal tolerancijų ribas pateiktas 2.5–2.8 lentelėse.

2.10 lentelė. Vėžės pločio leidžiamosios KKI skaitinių verčių ribos

Kokybinis įvertinimas	Kelio kategorija ir nustatytos KKI skaitinių reikšmių ribos, mm^2					
	I	II	III	IV	V	VI
	140/90	120/80	100/80	80/70	50/40	25/25
Labai gerai (I nuokrypių laipsnis)	0,00–4,00	0,00–4,00	0,00–4,00	0,00–4,00	0,00–4,00	0,00–5,44
Gerai (II nuokrypių laipsnis)	4,00–11,11	4,00–11,11	4,00–16,00	4,00–16,00	4,00–18,78	5,44–28,40
Patenkinamai (III nuokrypių laipsnis)	11,11–16,00	11,11–16,00	16,00–25,00	16,00–25,00	18,78–32,00	28,40–36,00
Blogai (IV nuokrypių laipsnis)	16,00<	16,00<	25,00<	25,00<	32,00<	36,00<

Perkrypos KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai I nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{per} = \frac{((4)-(-4))^2}{36} = 1{,}78 \text{ mm}^2 ; \quad (2.19)$$

Bėgių padėties pagal lygį KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai I nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{lygis} = \frac{((4)-(-4))^2}{36} = 1{,}78 \text{ mm}^2 \quad (2.20)$$

Perkrypos KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai II nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{per} = \frac{((6)-(-6))^2}{36} = 4 \text{ mm}^2 ; \quad (2.21)$$

Bėgių padėties pagal lygį KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai II nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{lygis} = \frac{((6)-(-6))^2}{36} = 4 \text{ mm}^2 \quad (2.22)$$

Perkrypos KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai III nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{per} = \frac{((8)-(-8))^2}{36} = 7{,}11 \text{ mm}^2 ; \quad (2.23)$$

Bėgių padėties pagal lygį KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai III nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{lygis} = \frac{((8)-(-8))^2}{36} = 7{,}11 \text{ mm}^2 \quad (2.24)$$

Analogiškai apskaičiuojamos leistinosios KKI reikšmė II–VI kelio kategorijoms ir sudaroma 2.11 – 2.17 lentelės.

2.11 lentelė. Perkrypos leidžiamosios KKI skaitinių verčių ribos

Kokybinis įvertinimas	Kelio kategorija ir nustatytos KKI skaitinių reikšmių ribos, mm^2					
	I	II	III	IV	V	VI
	140/90	120/80	100/80	80/70	50/40	25/25
Labai gerai (I nuokrypių laipsnis)	0,00–1,78	0,00–1,78	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–4,00	0,00–5,44
Gerai (II nuokrypių laipsnis)	1,78–4,00	1,78–4,00	2,78–7,11	2,78–7,11	4,00–11,11	5,44–16,00
Patenkinamai (III nuokrypių laipsnis)	4,00–7,11	4,00–7,11	7,11–11,11	7,11–11,11	11,11–16,00	16,00–25,00
Blogai (IV nuokrypių laipsnis)	7,11<	7,11<	11,11<	11,11<	16,00<	25<

2.12 lentelė. Bėgių pagal lygį leidžiamosios KKI skaitinių verčių ribos

Kokybinis įvertinimas	Kelio kategorija ir nustatytos KKI skaitinių reikšmių ribos, mm^2					
	I	II	III	IV	V	VI
	140/90	120/80	100/80	80/70	50/40	25/25
Labai gerai (I nuokrypių laipsnis)	0,00–1,78	0,00–1,78	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–4,00	0,00–5,44
Gerai (II nuokrypių laipsnis)	1,78–4,00	1,78–4,00	2,78–7,11	2,78–7,11	4,00–11,11	5,44–16,00
Patenkinamai (III nuokrypių laipsnis)	4,00–7,11	4,00–7,11	7,11–11,11	7,11–11,11	11,11–16,00	16,00–25,00
Blogai (IV nuokrypių laipsnis)	7,11<	7,11<	11,11<	11,11<	16,00<	25<

Kairės pusės bėgio įdubų KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai I nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{IDK} = \frac{((5)-(-5))^2}{36} = 2{,}78 \text{ mm}^2 ; \quad (2.25)$$

Dešinės pusės bėgio įdubų KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai I nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{IDD} = \frac{((5)-(-5))^2}{36} = 2{,}78 \text{ mm}^2 \quad (2.26)$$

Kairės pusės bėgio įdubų KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai II nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{IDK} = \frac{((7)-(-7))^2}{36} = 5{,}44 \text{ mm}^2 ; \quad (2.27)$$

Dešinės pusės bėgio įdubų KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai II nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{IDD} = \frac{((7)-(-7))^2}{36} = 5{,}44 \text{ mm}^2 \quad (2.28)$$

Kairės pusės bėgio įdubų KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai III nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{IDK} = \frac{((10)-(-10))^2}{36} = 11{,}11 \text{ mm}^2 ; \quad (2.29)$$

Dešinės pusės bėgio įdubų KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai III nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{IDD} = \frac{((10)-(-10))^2}{36} = 11{,}11 \text{ mm}^2 \quad (2.30)$$

Analogiškai apskaičiuojamos leistinosios KKI reikšmė II–VI kelio kategorijoms ir sudaroma 2.13 lentelė ir 2.14 lentelės.

2.13 lentelė. Dešiniojo bėgio įdubų leidžiamosios KKI skaitinių verčių ribos

Kokybinis įvertinimas	Kelio kategorija ir nustatytos KKI skaitinių reikšmių ribos, mm^2					
	I	II	III	IV	V	VI
	140/90	120/80	100/80	80/70	50/40	25/25
Labai gerai (I nuokrypių laipsnis)	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–4,00	0,00–5,44
Gerai (II nuokrypių laipsnis)	2,78–5,44	2,78–11,11	2,78–11,11	2,78–11,11	4,00–16,00	5,44–25,00
Patenkinamai (III nuokrypių laipsnis)	5,44–11,11	11,11–16,00	11,11–16,00	11,11–16,00	16,00–25,00	25,00–32,11
Blogai (IV nuokrypių laipsnis)	11,11<	16,00<	16,00<	16,00<	25,00<	32,11<

2.14 lentelė. Kairiojo bėgio įdubų leidžiamosios KKI skaitinių verčių ribos

Kokybinis įvertinimas	Kelio kategorija ir nustatytos KKI skaitinių reikšmių ribos, mm^2					
	I	II	III	IV	V	VI
	140/90	120/80	100/80	80/70	50/40	25/25
Labai gerai (I nuokrypių laipsnis)	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–4,00	0,00–5,44
Gerai (II nuokrypių laipsnis)	2,78–5,44	2,78–11,11	2,78–11,11	2,78–11,11	4,00–16,00	5,44–25,00
Patenkinamai (III nuokrypių laipsnis)	5,44–11,11	11,11–16,00	11,11–16,00	11,11–16,00	16,00–25,00	25,00–32,11
Blogai (IV nuokrypių laipsnis)	11,11<	16,00<	16,00<	16,00<	25,00<	32,11<

Kairės pusės bėgio padėties plane KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai I nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{TIEK} = \frac{((5)-(-5))^2}{36} = 2{,}78\ \mathrm{mm}^2\ ; \tag{2.31}$$

Dešinės pusės bėgio padėties plane KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai I nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{TIED} = \frac{((5)-(-5))^2}{36} = 2{,}78\ \mathrm{mm}^2 \tag{2.32}$$

Kairės pusės bėgio padėties plane KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai II nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{TIEK} = \frac{((7)-(-7))^2}{36} = 5{,}44\ \mathrm{mm}^2\ ; \tag{2.33}$$

Dešinė pusės bėgio padėties plane KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai II nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{TIED} = \frac{((7)-(-7))^2}{36} = 5{,}44\ \mathrm{mm}^2 \tag{2.34}$$

Kairės pusės bėgio padėties plane KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai III nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{TIEK} = \frac{((12)-(-12))^2}{36} = 16\ \mathrm{mm}^2\ ; \tag{2.35}$$

Dešinė pusės bėgio padėties plane KKI reikšmė pirmai kelio kategorijai III nuokrypių laipsniui:

$$KKI_{TIED} = \frac{((12)-(-12))^2}{36} = 16\ \mathrm{mm}^2 \tag{2.36}$$

Analogiškai apskaičiuojamos leistinosios KKI reikšmė II–VI kelio kategorijoms ir sudaroma 2.15 lentelė ir 2.16 lentelės.

2.15 lentelė. Kairės pusės bėgio padėties plane leidžiamosios KKI skaitinių verčių ribos

Kokybinis įvertinimas	Kelio kategorija ir nustatytos KKI skaitinių reikšmių ribos, mm^2					
	I	II	III	IV	V	VI
	140/90	120/80	100/80	80/70	50/40	25/25
Labai gerai (I nuokrypių laipsnis)	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–5,44	0,00–11,11
Gerai (II nuokrypių laipsnis)	2,78–5,44	2,78–16,00	2,78–16,00	2,78–16,00	5,44–32,11	11,11–44,44
Patenkinamai (III nuokrypių laipsnis)	5,44–16,00	16,00–32,11	16,00–32,11	16,00–32,11	32,11–44,44	44,44–69,44
Blogai (IV nuokrypių laipsnis)	16,00<	32,11<	32,11<	32,11<	44,44<	69,44<

2.16 lentelė. Dešinės pusės bėgio padėties plane leidžiamosios KKI skaitinių verčių ribos

Kokybinis įvertinimas	Kelio kategorija ir nustatytos KKI skaitinių reikšmių ribos, mm^2					
	I	II	III	IV	V	VI
	140/90	120/80	100/80	80/70	50/40	25/25
Labai gerai (I nuokrypių laipsnis)	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–2,78	0,00–5,44	0,00–11,11
Gerai (II nuokrypių laipsnis)	2,78–5,44	2,78–16,00	2,78–16,00	2,78–16,00	5,44–32,11	11,11–44,44
Patenkinamai (III nuokrypių laipsnis)	5,44–16,00	16,00–32,11	16,00–32,11	16,00–32,11	32,11–44,44	44,44–69,44
Blogai (IV nuokrypių laipsnis)	16,00<	32,11<	32,11<	32,11<	44,44<	69,44<

Pirmos kategorijos kelių I–IV nuokrypių laipsnio leidžiamoji KKI reikšmė gaunama susumavuvus visų septynių geležinkelio kelio geometrinių parametrų KKI pagal formules 2.37–2.39.

I nuokrypių laipsnis:

$$KKI_I = \sum_{i=1}^{7} KKI_i = KKI_{PL} + KKI_{per} + KKI_{lygis} + KKI_{IDK} + KKI_{IDD} + KKI_{TIEK} + KKI_{TIED} = 4 + 1{,}78 + 1{,}78 + 2{,}78 + 2{,}78 + 2{,}78 + 2{,}78 + 2{,}78 = 18{,}54\ mm^2; \quad (2.37)$$

II nuokrypių laipsnis:

$$KKI_{II} = \sum_{i=1}^{7} KKI_i = KKI_{PL} + KKI_{per} + KKI_{lygis} + KKI_{IDK} + KKI_{IDD} + KKI_{TIEK} + KKI_{TIED} = 11{,}11 + 4 + 4 + 5{,}44 + 5{,}44 + 5{,}44 + 5{,}44 = 40{,}87\ mm^2; \quad (2.38)$$

III nuokrypių laipsnis:

$$KKI_{III} = \sum_{i=1}^{7} KKI_i = KKI_{PL} + KKI_{per} + KKI_{lygis} + KKI_{IDK} + KKI_{IDD} + KKI_{TIEK} + KKI_{TIED} = 16 + 7{,}11 + 7{,}11 + 11{,}11 + 11{,}11 + 16 + 16 = 84{,}44\ mm^2; \quad (2.39)$$

Tokiu pat metodu apskaičiavus (II–VI kategorijos keliams) sudaroma nauja reikalaujamų KKI skaitinių reikšmių lentelė. Gautos skaitinės reikšmės suapvalinamos iki vienetų į mažesniąją pusę, tam kad būtų išvengta situacijos kai skaitinė reikšmė suapvalinama iki vienetų į didesniąją pusę ir kelias įvertinamas per geru kokybinių įvertinimu. Aritmetiškai 40,87 mm^2 reikėtų suapvalinti iki 41 mm^2, tačiau atsiradus geležinkelio ruožiui, kuris bus įvertintas 41 mm^2 jis bus priskirtas prie II nuokrypių laipsnio. Dėl šios priežasties, kaip jau minėta susumuotos 7 geometrinių parametrų KKI leidžiamųjų ribų skaitinės reikšmės apvalinamos i mažesniąją pusę.

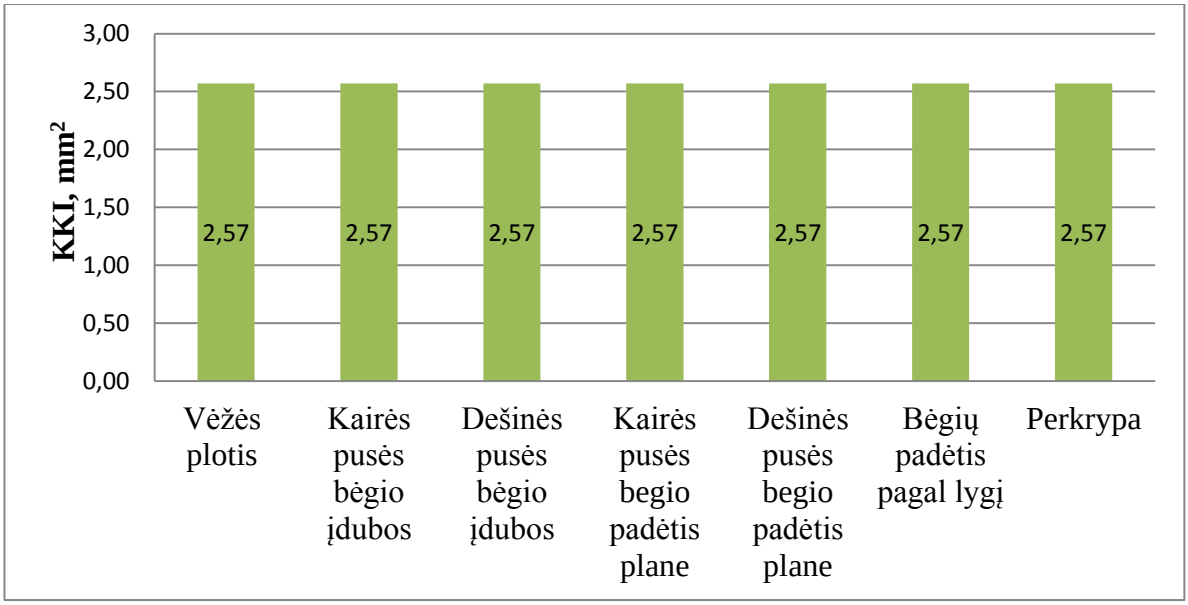
Susumavus ir sudarius leidžiamųjų reikšmių intervalus, 2.17 lentelėje palyginama esama geležinkelių kelių vertinimo metodikai ir siūlomas modelis. Šis vertinimo modelis yra matematiškai pagrįstas skaičiavimais ir duomenimis paimtais iš tolerancijų ribų. Lentelėje 2.17 parodytas esamas geležinkelių kelių vertinimo metodas, kai geležinkelių keliai vertinami neatsižvelgiant į geležinkelio kelio kategoriją ir siūlomas modelis, kai kiekvienai geležinkelio kelio kategorijai priskiriamas skirtinga reikalaujama KKI skaitinė reikšmė. Iš lentelės matoma, jog pirmai kategorijai I nuokrypių laipsniui vertinti reikalavimai griežtėja, tuo tarpu II ir III nuokrypių laipsniui leidžiamųjų KKI verčių intervalas didėja. Kitoms geležinkelio kelio kategorijoms matoma ta pati tendencija, išskyrus V ir VI kelio kategorijas, kurių leidžiamųjų KKI reikšmės yra itin didelės, VI kategorijos kelių didžiausia skaitinė reikšmė apskaičiuota iš tolerancijų ribų yra 288 mm^2. Toks vertinimo metodas leidžia užtikrinti reikiamą geležinkelio kelio saugumo lygį ir aiškų geležinkelio kelio vertinimo matematinį pagrindimą.

2.17 lentelė. Apskaičiuotų KKI skaitinių reikšmių ribos kiekvienai geležinkelio kelio kategorijai ir esamo vertinimo metodo palyginimas

Siūlomas vertinimo metodas							Esamas vertinimo metodas
Kokybinis įvertinimas	Kelio kategorija ir nustatytos KKI skaitinių reikšmių ribos, mm^2						Nustatytos KKI skaitinių reikšmių ribos
	I	II	III	IV	V	VI	nėra
	140/90	120/80	100/80	80/70	50/40	25/25	nėra
Labai gerai (I nuokrypių laipsnis)	0–18	0–18	0–20	0–20	0–30	0–49	0–20
Gerai (II nuokrypių laipsnis)	18–40	18–66	20–84	20–84	30–137	49–59	21–34
Patenkinamai (III nuokrypių laipsnis)	40–84	66–126	84–143	84–143	137–202	59–288	35–44
Blogai (IV nuokrypių laipsnis)	84<	126<	143<	143<	202<	288<	45<

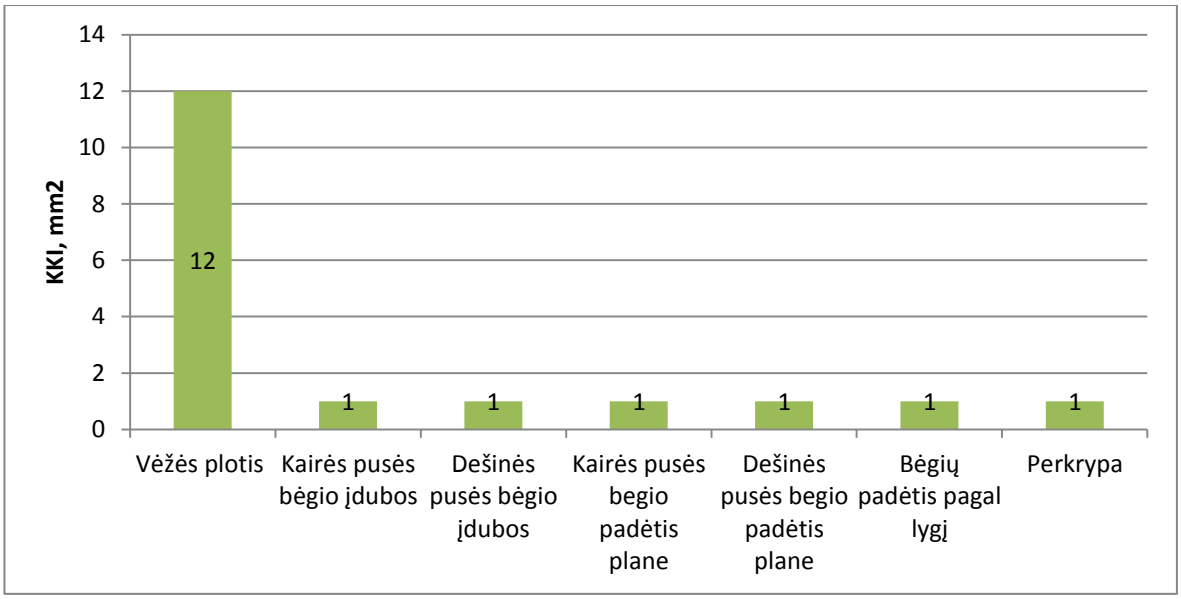
Ankstesnis vertinimo metodas aprašytas Instrukcijoje K/259 nesusiejo geležinkelio kelio kokybinio vertinimo ir nuokrypių laipsnio. Geležinkelio kelio naudotojas, pagal pateiktą 2.14 lentelę gali vertinti geležinkelio kelią pagal jo kategoriją.

Iš Instrukcija K/259 ir anksčiau tyrinėjusių geležinkelio kelio vertinimą tyrėjų neaišku, kuris geležinkelio kelio geometrinis parametras yra svarbiausias. Jeigu visi 7 geometriniai parametrai yra lygiaverčiai, jų tolerancijų ribos būtų vienodos, paėmus duomenis iš 2.18 lentelės (I geležinkelio kelio kategorijos, I nuokrypių laipsnio) ir padalinus KKI skaitinę reikšmę iš 7, gautume geležinkelio kelio parametrų pasiskirstymo grafiką 2.12 pav. Jame matoma, jog visi geometriniai geležinkelio kelio parametrai yra vienodi ir lygiaverčiai. Tačiau patikrinus 2.10–2.17 lenteles matome, jog ribinės skaitinės reikšmės kiekvieno geometrinio parametro yra skirtingos, todėl daroma prielaida, jog kiekvienas geležinkelio kelio parametras yra skirtingo reikšmingumo.



2.12 pav. A variantas. Galimos geležinkelio kelio geometrinių parametrų sudedamosios dalys suminiame KKI (Suminis KKI – 18 mm^2)

Pagal pateiktą B variantą, kai didžiausią geometrinių parametrų sudedamąją dalį suminiame KKI (2.13 pav.) sudaro vienas geometrinis parametras, t.y.vėžės plotis. Šis geometrinių parametrų pasiskirstymo variantas yra visiškai skirtingas negu A variantas. A variante visi septyni geometriniai parametrai lygūs 2,57 mm^2, o B variante vėžės pločio skaitinė reikšmė pavojingai didesnė 12 kartų už kitus parametrus.



2.13 pav. B variantas. Galimos geležinkelio kelio geometrinių parametrų sudedamosios dalys suminiame KKI (Suminis KKI – 18 mm^2)

Tam kad nustatyti kuris geometrinis parametras yra svarbiausias ir kuris variantas (A ar B) yra artimesnis, apskaičiuojama kiekvieno geometrinio parametro sudedamoji dalis suminio KKI

sudėtyje. Iš atskirų geležinkelio kelio geometrinių parametrų vertinimo ribų, apskaičiuotų pagal tolerancijos ribas tam geležinkelio kelio kategorijai (2.10–2.17 lentelės), pirmos geležinkelio kelio kategorijos, pirmo nuokrypių laipsnio KKI skaitinės reikšmės išreikšta procentine išraiška bus:

Vėžės plotis:

$$\omega_{PL} = \frac{KKI_{PL}}{KKI_{II}} \cdot 100\% = \frac{4}{18} \cdot 100\% = 22{,}22\ \%; \tag{2.40}$$

Bėgių perkrypa:

$$\omega_{per} = \frac{KKI_{per}}{KKI_{II}} \cdot 100\% = \frac{1{,}78}{18} \cdot 100\% = 9{,}80\ \%; \tag{2.41}$$

Bėgių padėtis pagal lygį:

$$\omega_{lygis} = \frac{KKI_{lygis}}{KKI_{II}} \cdot 100\% = \frac{1{,}78}{18} \cdot 100\% = 9{,}80\ \%;; \tag{2.42}$$

Kairės pusės bėgio įdubos:

$$\omega_{IDK} = \frac{KKI_{IDK}}{KKI_{II}} \cdot 100\% = \frac{2{,}78}{18} \cdot 100\% = 15{,}44\ \%; \tag{2.43}$$

Dešinės pusės bėgio įdubos:

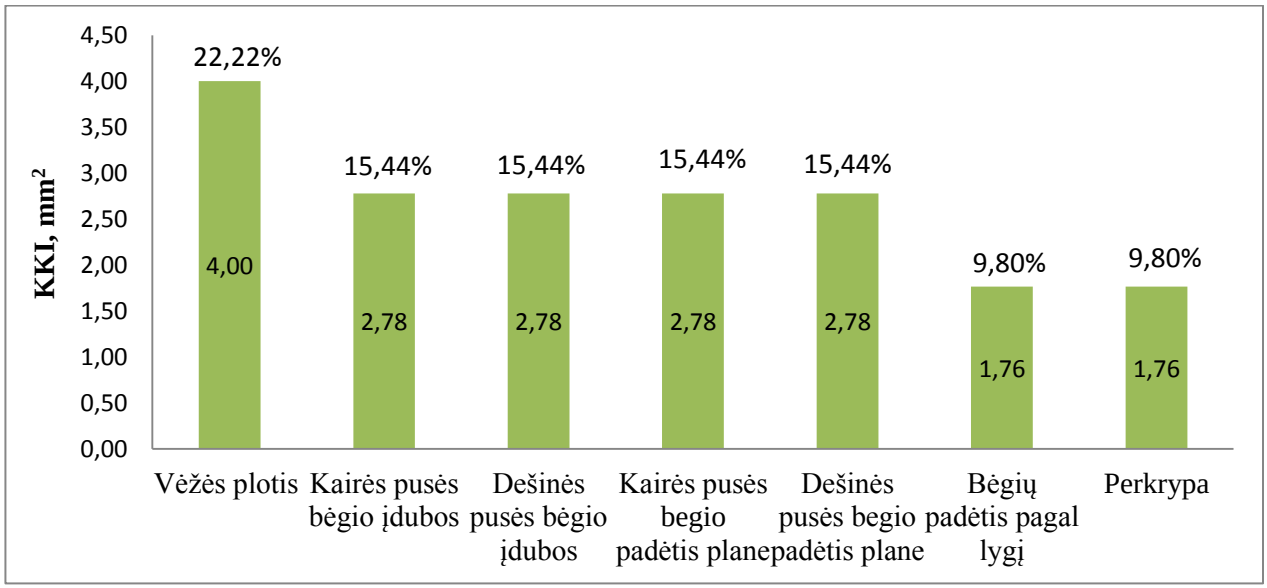
$$\omega_{IDD} = \frac{KKI_{IDD}}{KKI_{II}} \cdot 100\% = \frac{2{,}78}{18} \cdot 100\% = 15{,}44\ \%; \tag{2.44}$$

Kairės pusės bėgio padėties plane:

$$\omega_{TIEK} = \frac{KKI_{TIEK}}{KKI_{II}} \cdot 100\% = \frac{2{,}78}{18} \cdot 100\% = 15{,}44\ \ \%; \tag{2.45}$$

Dešinės pusės bėgio padėties plane:

$$\omega_{TIED} = \frac{KKI_{TIED}}{KKI_{II}} \cdot 100\% = \frac{2{,}78}{18} \cdot 100\% = 15{,}44\ \%; \tag{2.46}$$



2.14 pav. Apskaičiuotos geležinkelio kelio geometrinių parametrų sudedamosios dalys suminiame KKI (Suminis KKI – 18 mm^2)

Iš gautų skaičiavimų ir grafiko (2.13 pav.) matoma, kad didžiausią bendro leidžiamojo KKI (I geležinkelio kelio kategorijos, I nuokrypių laipsnio) dalį sudaro vėžės plotis 22,22 %, mažiausią bėgių perkrypa ir bėgių padėtis pagal lygį. Iš šio grafiko (2.13) aiškiai matoma, jog geležinkelio kelio geometriniai parametrai yra skirtingi ir nelygiaverčiai.

A ir B geležinkelio kelio geometrinių parametrų pasiskirstymo variantai parodo galimus kraštinius pasiskirstymo būdus. Tačiau neaišku kuris yra artimesnis iš tolerancijos ribų paskaičiuotam geležinkelio geometrinių parametrų pasiskirstymo variantui (2.14 pav.).

A variantas:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{7}\left|KKI_{i\,hip} - KKI_{i\,norm}\right|}{7};$$

$$A = \frac{|2{,}57-4|+|2{,}57-2{,}78|+|2{,}57-2{,}78|+|2{,}57-2{,}78|+|2{,}57-2{,}78|+|2{,}57-1{,}76|+|2{,}57-1{,}76|}{7} = 0{,}55\ \text{mm}^2; \qquad (2.47)$$

B variantas:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^{7}\left|KKI_{i\,hip} - KKI_{i\,norm}\right|}{7};$$

$$B = \frac{|12-4|+|2{,}57-1|+|2{,}57-1|+|2{,}57-1|+|2{,}57-1|+|2{,}57-1|+|2{,}57-1|}{7} = 2{,}48\ \text{mm}^2; \qquad (2.48)$$

2.5 Antrojo skyriaus išvados

Nustatyta standarto EN-13848 ir Instrukcijos K/259 atrasta neatitiktis dėl KKI dimensijos. Standarto EN–13848:6 dalyje, teigiama, jog KKI turi dimensiją [mm], nors to paties standarto simbolių ir terminų lentelėje, pateiktoje šeštajame puslapyje dimensija nėra pateikta. Darbe pateiktų 2.6–2.8 lentelių duomenys atitinka standarte nurodytas tolerancijų ribas, ir Instrukciją K/259, todėl daroma išvada, kad Instrukcija atitinka standartą EN–13848. Instrukcijos K/259 yra pateikta 45 mm^2 vertinimo sistema. Kodėl kelias vertinamas 45 mm^2, taip ir lieka nepagrįstas jokiais skaičiavimo metodais. Instrukcijos K/259 geležinkelio kelio vertinimo sistema turi trūkų ir įrodyta, jog pridedant 45 mm^2, kai viršijamos tolerancijos ribos iškreipia geležinkelio kelio kokybės vertinimą KKI, gautos skaitinės reikšmės neatspindi tikrosios kelio būklės. Skirtingų kategorijų keliai turi turėti skirtingas vertinimo KKI ribas, siūlomas metodas vertinti geležinkelių kelius skirtingomis KKI skaitinėmis reikšmėmis, pagal jų kategoriją ir nuokrypių laipsnį. Siūlomas modelis leidžia vertinti geležinkelio kelius vien tik KKI, išvengiant 45 mm^2 pridėjimo, taip pat susieja geležinkelio kelio nuokrypių laipsnį ir kokybinį vertinimą. Įvertinus kuris geometrinis parametras yra svarbiausias, iš gautų skaičiavimų matoma, kad didžiausią bendro leidžiamojo KKI dalį sudaro vėžės plotis 22,22 %, mažiausią bėgių perkrypa (9,8%) ir bėgių padėtis pagal lygį (9,8%).

3 GELEŽINKELIO KELIŲ VERTINIMO KELIO KOKYBĖS INDEKSU EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI IR VERTINIMAS

Lietuvos teritoriją kerta Europos šalių transporto ministrų konferencijoje nustatyti du Kretos transeuropiniai (TEN) koridoriai: I bei I A ir IX B bei IX D. Lietuvos geležinkelių pagrindinių kelių ilgis yra 1867,8 km, iš jų 1520 mm vėžės pločio – 1745,8 km, 1435 mm vėžės pločio – 122 km (duomenys pateikti remiantis viešosios geležinkelių infrastruktūros 2016–2017 m. tinklo nuostatais).

3.1 Šalies geležinkelių kelių techninės charakteristikos

Lietuvos geležinkelių kelių infrastruktūrą valdanti įmonė AB „Lietuvos geležinkeliai“ atlieka geležinkelio kelio priežiūros ir remonto darbus. Geležinkelio kelio kontrolė dažniausiai atliekama kas mėnesį kiekvienam kelio ruožui, pagal sudarytą matavimų grafiką, matuojant geležinkelio kelio geometrinių parametrų nuokrypius savaeigiu kelio kontrolės laboratorijos vagonu EM-140 (3.1 pav.).

Lietuvoje geležinkelių keliai skirstomi į 6 kategorijas, kiekvienas ruožas turi savo kategoriją, kelių sąrašas su jiems priskirta kategorija pateikiamas 3.1 lentelėje. Kiekvienas geležinkelio kelias turi jam priskirtą geležinkelio kelio kategoriją, kurios reikalavimus privalo atitikti. Kelio kategorija yra pagrindinė geležinkelio kelio charakteristika, pagal ją nustatoma kiekvieno geometrinio parametro tolerancijų riba ir didžiausias leidžiamas keleivinių ir krovininių traukinių judėjimo greitis.

Geležinkelių kelių skirstymas į kategorijas leidžia sutaupyti lėšų kelių remontui. Taip pat paskirstomi geležinkelių kelių priežiūros darbai pagal kelio apkrovimą, taip užtikrinant labiausiai naudojamų kelių saugumą. Lietuvoje labiausiai apkrautas geležinkelio ruožas Vilnius–Klaipėda yra pirmos kategorijos, šio ruožo priežiūrai skiriama daugiau dėmesio negu žemesnės kategorijos geležinkelių keliams. Kelmatis Vilnius–Klaipėda ruožą tikrina kartą per mėnesį, o kitus ruožus rečiau. Galima pateikti pavyzdį: mažiau apkrautą ruožą Akmenė–Karpėnai kelmatis matuoja kas tris arba keturis mėnesius.

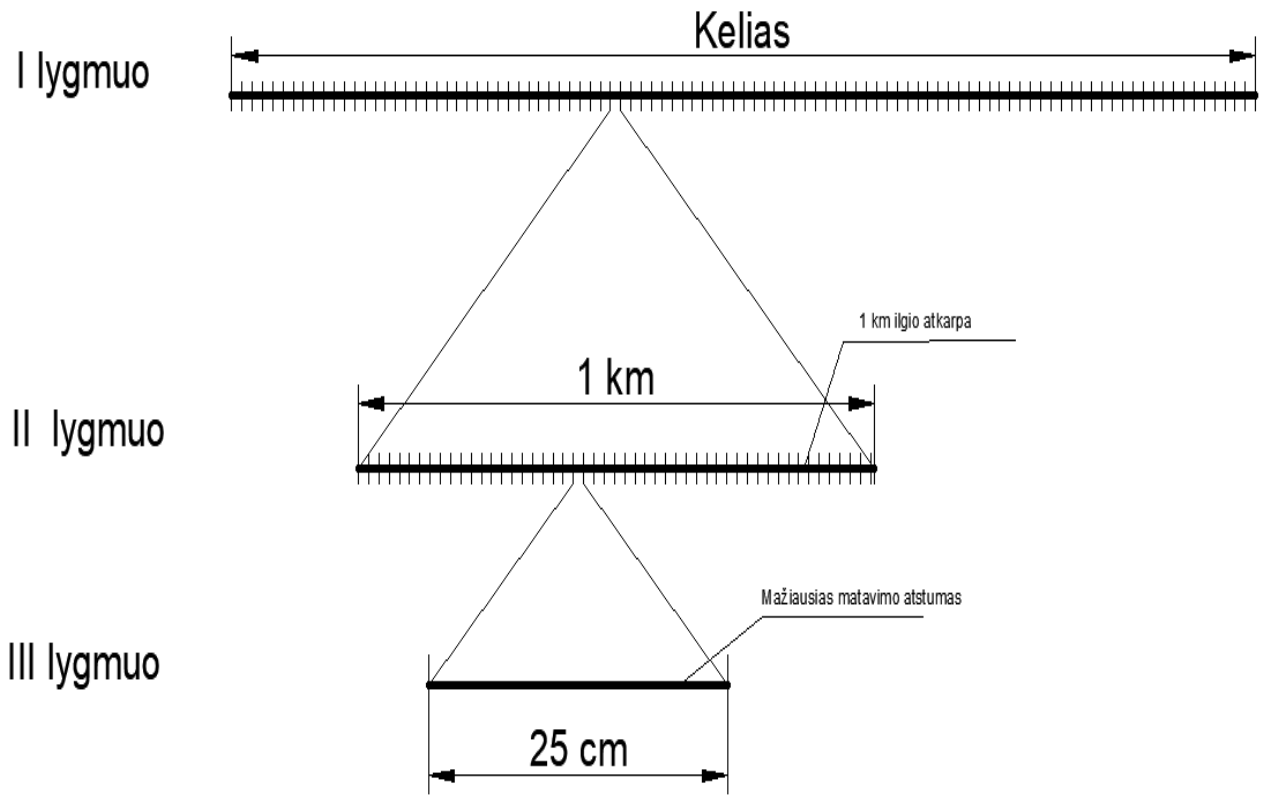
3.1 lentelė. Lietuvos geležinkelio keliai ir jų kategorijos

Eil. Nr.	Linija, ruožas	Kategorija	Ruožo ilgis, km
1.	Vilnius–Kena–valstybės siena (Dvikelis)	I	36 ir 36
2.	Vilnius–Kaišiadorys–Radviliškis–Kretinga–Klaipėda (Dvikelis)	I	377 ir 225
3.	Kaišiadorys–Kaunas–Kazlų Rūda–Kybartai (Dvikelis)	I	123 ir 121
4.	Kazlų Rūda–Šeštokai–Mockava–Valstybės siena	II	65
5.	Gaižiūnai–Palemonas	II	26
6.	Šiauliai–Joniškis–valstybės siena	II	57
7.	Radviliškis–Rokiškis–valstybės siena	II	165
8.	Kyviškės–Valčiūnai–Vaidotai (Dvikelis)	III	22 ir 23
9.	Palemonas–Rokai–Jiesia	III	15
10.	Paneriai–Vaidotai	III	10
11.	Rimkai–„Draugystė“	II	7
12.	Valčiūnai–Stasylos–Valstybės siena	III	49
13.	Kužiai–Mažeikiai–Bugeniai	III	78
14.	Kretinga–Skuodas–Valstybės siena	VI	14
15.	Klaipėda–Pagėgiai	II	86
16.	Radviliškis–Pagėgiai–Valstybės siena	II	146
17.	Naujoji Vilnia–Turmantas–Valstybės siena (Dvikelis)	II	138 ir 19
18.	Šilėnai–Jonaitiškis	IV	5
19.	Lentvaris–Marcinkonys–Valstybės siena	IV	82
20.	Vilnius–Kirtimai–Valčiūnai (trikelis)	IV	7 ir 6 ir 6
21.	Šeštokai–Alytus	IV	38
22.	Švenčionėliai–Utena	IV	49
23.	Akmenė–Karpėnai	VI	17
24.	Jonava–Rizgonys	V	22

Analizuojant 2017 metų šalies geležinkelių kelių duomenis, sudarytos 1– 8 priedų lentelės gavus kelmačiu išmatuotus visus šalies geležinkelio kelius. Analizuojami 3.1 lentelėje įvardinti keliai.

3.2 Kelmatis, jo sandara, matavimo juo procesas bei gaunami duomenys

Savaeigis geležinkelio kelio matavimo vagonas EM-140 (3.1 pav.) yra skirtas geležinkelio kelio geometrinių parametrų sklaidai (svyravimams, variacijoms) matuoti. Pagrindinis kelio kontrolės vagono EM-140 tikslas – patikrinti kelio geometrinių parametrų atitiktį galiojančioms tolerancijoms. Kelmatis matuoja viršutinės geležinkelio kelio konstrukcijos pagrindinius geometrinius parametrus.



3.1 pav. Geležinkelio kelio geometrinių parametrų matavimo samprata

Geležinkelio kelio matavimus galima skirstyti į 3 lygmenis (3.1 pav.): I lygmuo – visas geležinkelio kelio ruožas; II lygmuo – 1 km ilgio atkarpos geležinkelio kelio ruožas; III lygmuo – mažiausias matavimo atstumas 25 cm. Kelmatis EM-140 matuoja kiekvieno geležinkelio kelio parametro nuokrypius kas 25 cm. Matuojant kelmačiu geležinkelio kelią gaunamas grafinis vaizdas ir kiekvieno geometrinio parametro KKI skaitinės reikšmės. Taip pat kelmatis apskaičiuoja bendrą KKI 1 km atkarpai.

Geležinkelių valdytojo padaliniuose įdiegta kelio kontrolės vagono EM-140 duomenų peržiūros ir analizavimo programa OFFBOARD leidžia darbuotojams, atliekantiems kelio priežiūrą, ir vadovybei realiuoju laiku matyti informaciją apie kelio nuokrypius, analizuoti jų pokyčius ir atsiradimo priežastis, planuoti kapitalinius kelių remonto darbus tuose kelio ruožuose, kuriuose kelio būklė yra prasčiausia. Iš kelio kontrolės vagono EM-140 gaunama operatyvi informacija padeda atlikti kiekvieno mėnesio kelio būklės kitimo analizę. Pagal ją operatyviai vykdomi prevenciniai kelio priežiūros darbai, kurie leidžia užtikrinti saugų traukinių eismą ir išvengti traukinių važiavimo greičių mažinimo dėl netinkamos geležinkelio kelio būklės.

3.2 lentelė Kelio matavimo mašinos EM-140 techniniai parametrai

Pavadinimas	Parametras
Ilgis	24280 mm
Plotis	3100 mm
Aukštis	4250 mm
Svoris	74 t
Važiavimo greitis: savąja eiga	140 km/h
Važiavimo greitis: tempiant	160 km/h
Mažiausias apvažiuojamas spindulys	120 m

3.2 pav. Geležinkelio kelio kontrolės laboratorija (kelmatis EM-140)

Kelmačiu matuojami ir užrašomi elektronineje laikmenoje šie geležinkelio kelio geometriniai parametrai:

a) vėžės plotis;
b) bėgių padėtis vienas kito atžvilgiu pagal bėgiu galvutės lygį;
c) abiejų bėgių įdubos;
d) bėgių padėtis plane;
e) kreivių spinduliai;
f) perkrypos;
g) leidžiamasis greitis kreivėje;
h) geležinkelio kelio išorinio bėgio pakylos nuolydis;

i) išilginis kelio nuolydis.

j) Kelmačio užrašomi papildomi parametrai ir žymos:

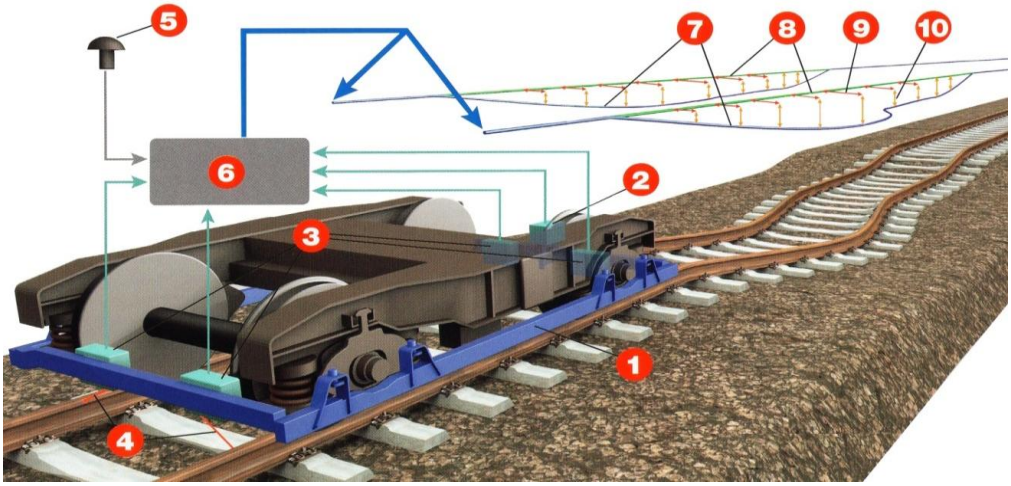
k) važiavimo greitis;

l) kilometras;

m) piketas;

n) infrastruktūros objektų žymos (iešmas, tiltas, tunelis, šviesoforas, pervaža).

Geležinkelių valdytojo padaliniuose įdiegta kelmačio EM-140 duomenų peržiūros ir analizavimo programa leidžia darbuotojams, atliekantiems kelio priežiūrą, ir vadovybei realiuoju laiku matyti informaciją apie kelio nuokrypius, analizuoti jų pokyčius ir atsiradimo priežastis, planuoti kapitalinius kelių remonto darbus tuose kelio ruožuose, kuriuose kelio būklė yra prasčiausia. Iš kelmačio EM-140 gaunama operatyvi informacija padeda atlikti kiekvieno mėnesio kelio būklės kitimo analizę. Pagal ją operatyviai vykdomi prevenciniai kelio priežiūros darbai, kurie leidžia užtikrinti traukinių saugų eismą ir išvengti traukinių važiavimo greičių mažinimo dėl netinkamos geležinkelio kelio būklės.



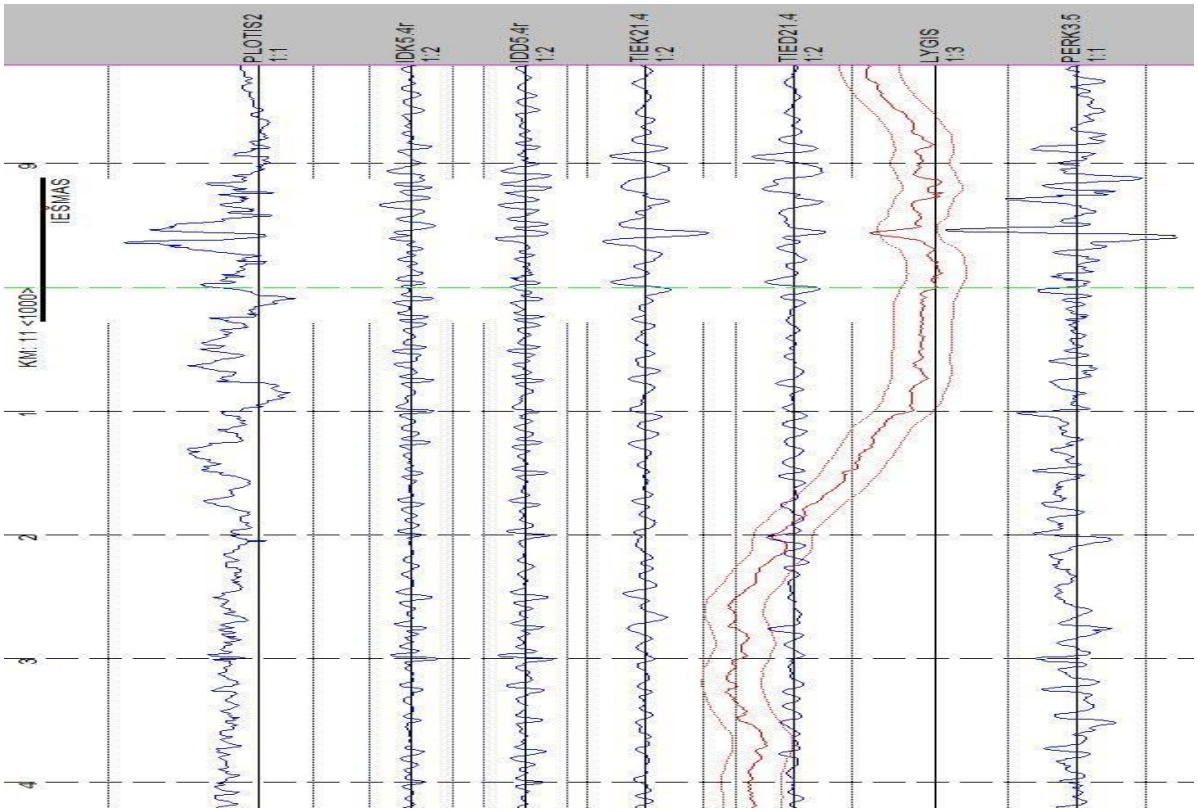
3.3 pav. Kelmačio EM-140 važiuoklės ir matavimo įrenginių elementai: 1 – matavimo rėmas su fiksuota lygiagrečia bėgiams padėtimi; 2 – inercinė matavimo sistema (IMU); 3 – optinė geometrinių parametrų matavimo sistema; 4 – lazerio spindulys; 5 – navigacinės sistemos antena (GPS); 6 – navigacijos kompiuteris (GPS); 7 – abiejų bėgių erdvinė kreivė gauta atlikus matavimus išilgai kelio ir suderinta su GPS duomenimis; 8 – projektinis kelio profilis; 9 – kelio nuokrypiai plane, gauti iš erdvinės kreivės; 10 – vertikalūs kelio nuokrypiai, gauti iš erdvinės kreivės (Bubnelis et al, 2018)

Kelmačiu matuojant taip pat užrašomi papildomi parametrai ir žymos: važiavimo greitis, kilometras, piketas, infrastruktūros objektų žymos (iešmas, tiltas, tunelis, šviesoforas, pervaža). Visi kelmatyje esantys matavimo įrenginiai sumontuoti ant matavimo rėmo, kuris tvirtinamas prie kelmačio vežimėlio ašidėžių. Tokia konstrukcija užtikrina visų matavimo įrenginių lygiagretumą su

bėgiais. Visi geometriniai kelio parametrai gaunami iš tiksliai išmatuotos kelio erdvinės kreivės (3.3 pav). Kelmatyje sumontuota „Applanix“ POS TG precizinė matavimo įranga, skirta kas 25 cm išilgai išmatuoti geležinkelio kelio geometrinius parametrus. Matavimo sistemoje integruoti inerciniai jutikliai IMU (*angl.* „Inertial Measurement Unit“), globali padėties nustatymo sistema GPS (*angl.* „Global Positioning System“), optinė vėžės matavimo sistema OGMS (*angl.* „Optical Gauge Measurement System“). Ši sistema įvertina visų svyravimų kompensatorių duomenis, vibracijas ir nuokrypius. Skirtingi įrenginiai matuoja atskirus parametrus: OGMS (3.3 pav, 4) lazerio spindulys matuoja plotį ir tiesinimą, IMU (3.3 paveikslas, 2) matuoja įdubų lygį ir perkrypas.

3.3 Matavimo procesas, proceso kokybės užtikrinimas, gaunami duomenys ir jų interpretavimas.

Visos kelio matavimo vagono EM-140 įrangos sistemos veikia sinchronizuotai jos gali atlikti geometrinius kelio parametrų matavimus važiuojant iki 250 km/h. Kelio kontrolės vagonas EM-140 fiksuoja ir užrašo elektroninėje laikmenoje bei automatiškai suteikia informaciją apie geležinkelio kelio septynių parametrų nuokrypius nuo normų.



3.4 pav. Kelmačiu išmatuotas geležinkelio kelio geometrinių parametrų grafinio vaizdo fragmentas (Bubnelis et al, 2018)

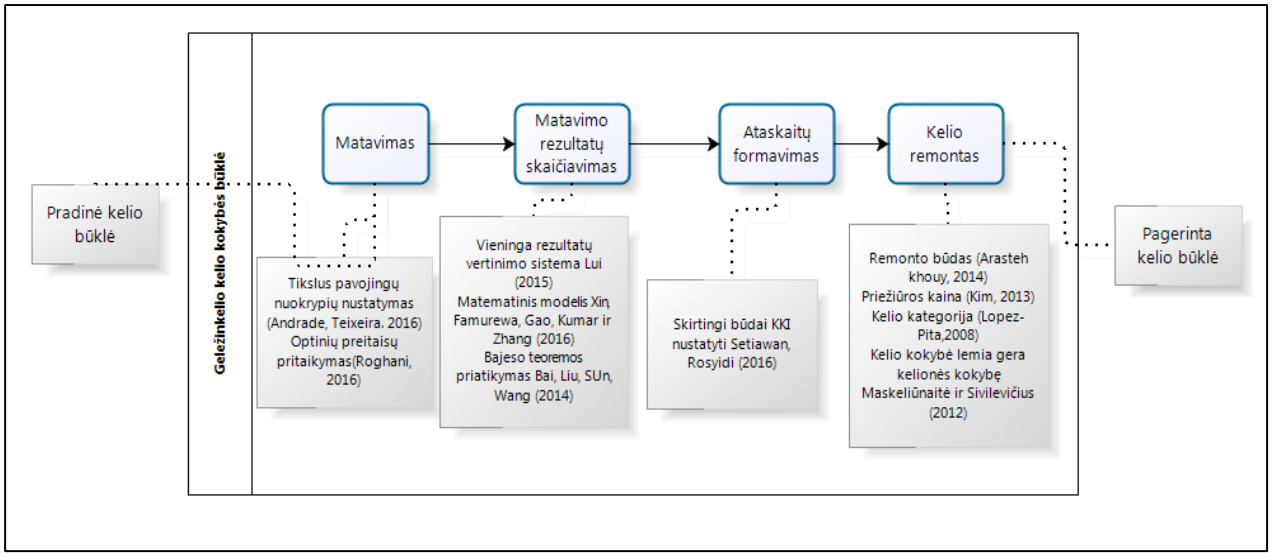
Kelmačiu išmatuoto geležinkelio kelio geometrinių parametrų grafinio vaizdo fragmente (3.4 pav.) parodyta visų septynių geležinkelio parametrų kiekvieno geometrinio parametro nulinė linija, t. y. idealaus kelio linija. Nuo jos į abi puses pagal kelio kategoriją atidedamos tolerancijų ribos, gavus išmatuotą kelio liniją, nustatoma kelio atitiktis tam tikrai kelio kategorijai. Kiekvienos kategorijos kelias turi skirtingas tolerancijos ribas. Jeigu matuojant nustatomas kelio geometrijos nuokrypių viršijimas tolerancijos ribas, mažinamas traukinių judėjimas iki tokios greičio ribos, kurio tolerancijos ribos neviršija gautų faktinių nuokrypių reikšmių. Kairėje pusėje nurodytas kelio piketas ir jeigu yra kitokių specifinių kelio statinių (iešmų, tiltų ar kitų statinių), jie taip pat pažymimi grafiniame vaizde.

KKI(2.00)		PLOTIS	IDK	IDD	TIEK	TIED	LYGIS	PERK	VISO
0	200	9.29	3.24	2.73	3.63	3.82	2.78	5.52	31.01
200	400	6.04	2.68	3.29	2.63	3.29	2.52	5.37	25.82
400	600	1.73	1.15	0.96	2.06	2.24	1.16	1.63	10.93
600	800	2.89	1.59	1.61	2.31	2.57	1.83	2.63	15.43
800	1000	2.52	1.41	1.63	2.48	1.97	1.26	1.88	13.15
355,0	356,0	8.08	2.17	2.21	2.68	2.86	2.02	4.47	24.49

3.5 pav. Vieno kilometro ilgio geležinkelio kelio kas 200 metrų išmatuotų atkarpų visų 7 geometrinių parametrų nuokrypių ir apskaičiuotų KKI reikšmių pavyzdys (Bubnelis et al, 2018)

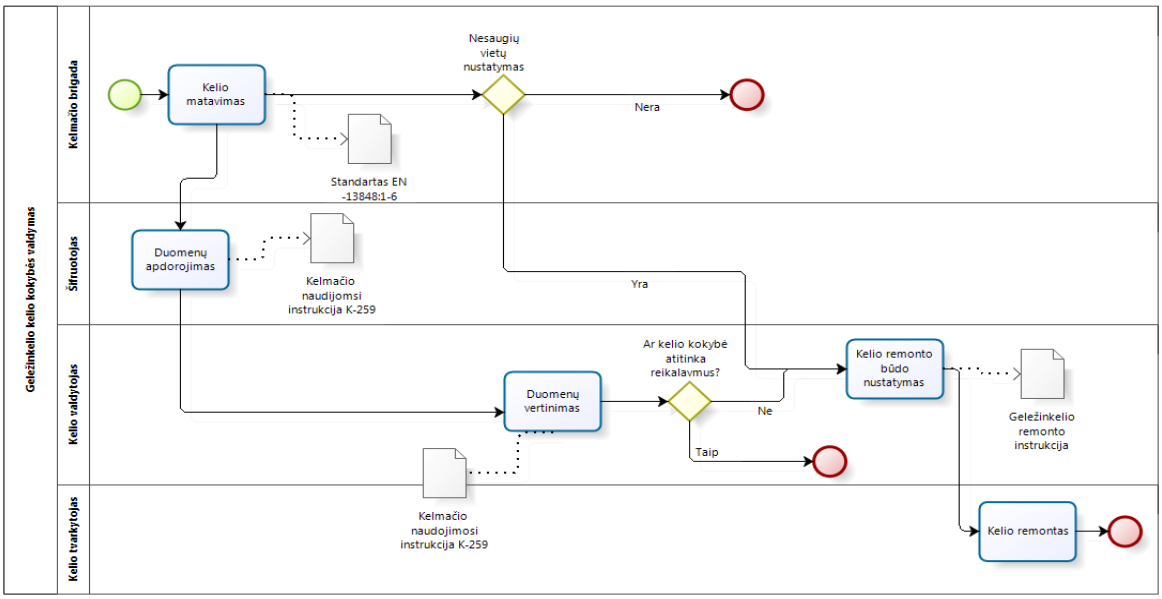
Kelmačio informacinėje sistemoje yra galimybė keisti atkarpos ilgį, kuriam nustatomas KKI, tačiau metodika kaip kelmatis paverčia geometrinių parametrų nuokrypius į KKI, taip ir lieka neaiški dėl gamintojo komercinės paslapties. Dauguma gamintojų slepia metodiką taip trukdydami geriau suprasti geležinkelių kelių vertinimą KKI.

Siekiant išlaikyti geros kokybės geležinkelio kelią Lietuvoje taikomas toks procesų nuoseklumas: važiuojama geležinkelio keliu ir optiniais prietaisais išmatuojami 7 geležinkelio kelio parametrai. Gauti rezultatai pateikiami grafiškai (3.4 pav.) ir su kelmatyje įdiegta programine įranga apskaičiuojamas KKI (3.5 pav.). Šiuos duomenis gavęs diagnostikos centras formuoja ataskaitas ir vertina duomenis, įvardija problemas ir perduoda duomenis geležinkelio kelių infrastruktūros prižiūrėtojui, kuris pagal pateiktus duomenis priima sprendimus problemoms spręsti ir atlieka kelio remonto darbus.



3.6 pav. Geležinkelio kelio kokybės valdymo etapai, juos veikiantys veiksniai

Geležinkelio kelio kokybės valdymas yra gana sudėtingas procesas. Šis procesas prasideda tada, kai geležinkelio kokybė nustatoma kelmačiu. Kelmačio brigada iš kart gali nustatyti itin pavojingas vietas, kuriose gali įvykti avarija. Nustačius tokias vietas, informacija apie jas perduodama kelio valdytojui. Jei tokių vietų nėra, duomenys perduodami Diagnostikos centro šifruotojams, kurie apdoroja kelmačio duomenis ir suformuoja ataskaitas apie išmatuotą kelio ruožą. Kelio valdytojas, gavęs ataskaitą, vertina, ar kelio kokybė atitinka nustatytus reikalavimus, jei atitinka, procesas užbaigiamas, jei ne, duomenys perduodami kelio tvarkytojui ir atliekamas kelio remontas. Tokia kelio kokybės valdymo sistema neatitinka Visuotinės kokybės vadybos principų, dėl kelio remonto kokybės nekontroliavimo ir proceso cikliškumo nebuvimo. Kelio tvarkytojas suremontuoja kelią, po šio proceso kelmačiu nematuojama ir netikrinama ar tinkamai suremontuotas kelias. Geležinkelio keliai matuojami pagal nustatytą grafiką, o ne pagal poreikį.



3.7 pav. Geležinkelio kelio kokybės valdymo procesas su Visuotinės kokybės valdymo taškais

Aprašytas geležinkelio kelio kokybės valdymo procesas (3.7 pav.) ir išvardinti pagrindiniai procesai, sudaryta matricinė valdymo schema, nurodyti pagrindiniai Visuotinės kokybės valdymo taškai ir juos reglamentuojantys dokumentai. Aprašyta geležinkelio kelio kokybės valdymo sistema neatitinka Visuotinės kokybės vadybos principų, dėl kelio remonto kokybės nekontroliavimo ir proceso cikliškumo nebuvimo. Šis vertinimo būdas nėra susietas nei su Demingo ratu, nei su kitais kokybės vadybos metodais. Tam, kad būtų užtikrinta tinkama ir atitinkanti Visuotinė kokybės valdymo principus geležinkelio kelio kokybės valdymo sistema, turėtų turėti cikliškumą. Tai reiškia, kad po atliktų kelio remonto darbų turėtų būti iš karto tikrinama to kelio remonto kokybė, o kartu ir viso kelio būklė.

3.4 2015–2018 metų visų Lietuvos geležinkelių kelių kas mėnesį išmatuotų KKI statistinis tvarkymas ir analizė

Lietuvos geležinkelių kelius valdanti AB „Lietuvos geležinkeliai“ atlieka visų šalyje esančių geležinkelių kelių matavimus. Atliekant tyrimą duomenys iš AB „Lietuvos geležinkeliai“ buvo gauti 3.8 pav. parodyta forma. Šiuose dokumentuose buvo pateiktas kelio ruožo pavadinimas, kelio numeris, geležinkelio kelią tikrinusios meistrijos numeris, brigados numeris, kilometro numeris ir patikrintų kilometrų skaičius, kiekvieno kilometro ar trumpesnio ruožo ilgio visų septynių geometrinių parametrų KKI įvertinimai, suminis KKI, kokybinis kelio įvertinimas ir vidutinis KKI, apskaičiuotas tam tikram ruožo ilgiui. Siekiant gauti vidutinius kiekvieno geometrinio parametro

visų metų KKI rodiklius 2015, 2016, 2017 ir 2018 metais duomenys buvo sumuojami ir paskaičiuojamos vidutinės KKI reikšmės, pateiktos diagramų forma 3.9–3.12 pav. ir priedų 1–4 lentelėse. Siekiant įvertinti kiekvieno mėnesio KKI kokybės indekso pasiskirstymą kiekvienam ruožui, 2017 metai buvo analizuojami braižant normaliojo skirstinio diagramas. Iš jų vizualiniu metodu galima spręsti apie tam tikro ruožo kelmačiu išmatuotų duomenų pasiskirstymą.

Kelio numeris *II pagr. kelias*						*Vilnius-Klaipėda*					**linija**	4 **Lapas**		28 **Lapų**
Meistrijos Nr.	Brigados Nr.	Kilometro NR. ir patikrintas jo ilgis, km	Bėgių vėžės plotis (KKI)	Bėgių įdubos (KKI)				Bėgių padėtis pagal lygį (KKI)	Perkrypa (KKI)	IŠ VISO (4-10 stulp.)	Kokybinis kilometro būklės įvertinimas(lg.g.p.b)	Vidutinis kelio kokybės indeksas		Pastabos
				kairė pusė	dešinė pusė	kairė pusė	dešinė pusė					Meistrijos	Brigados	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3		9	4,55	2,88	2,91	3,10	3,63	2,31	4,01	23,39	g.			Vilnius-Paneriai
		1	4,55	2,88	2,91	3,10	3,63	2,31	4,01	23,39			23,39	
	2	10	5,19	3,06	3,19	2,53	3,43	2,16	3,77	23,33	g.			
		11	5,09	2,45	2,57	3,28	3,48	2,41	3,84	23,12	g.			
		2	10,28	5,51	5,76	5,81	6,91	4,57	7,61	46,45			23,23	
	4	4	4,23	1,14	1,12	1,52	1,93	1,18	3,39	14,51	lg.			
		5	2,33	1,10	1,72	2,09	2,13	1,35	2,90	13,62	lg.			
		6	1,70	1,33	1,47	1,48	1,49	1,14	3,42	12,03	lg.			
		7	2,84	1,71	1,53	2,08	2,04	1,35	3,57	15,12	lg.			
		8	4,21	1,30	1,34	1,84	1,94	1,44	4,75	16,82	lg.			
		5	15,31	6,58	7,18	9,01	9,53	6,46	18,03	72,10			14,42	
		8	30,14	14,97	15,85	17,92	20,07	13,34	29,65	141,94		17,74		

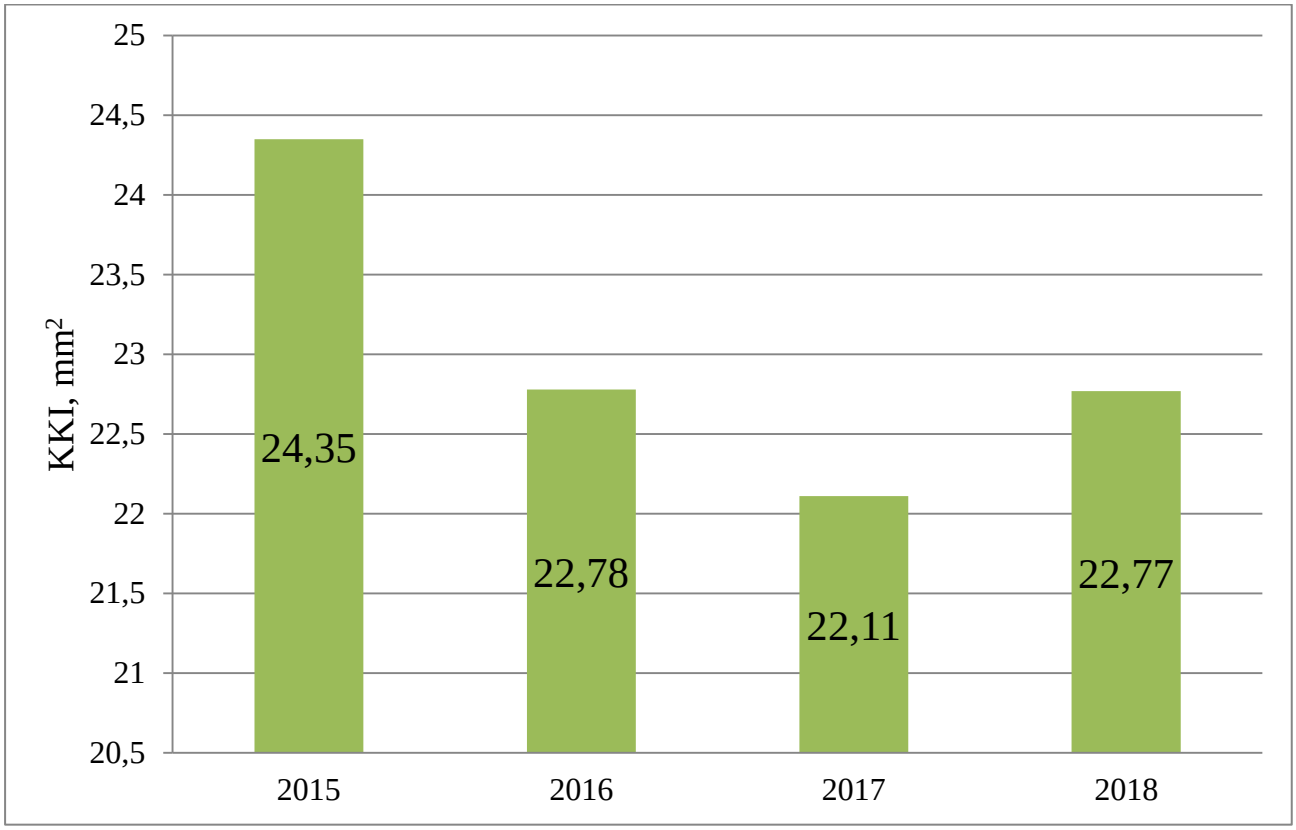
3.8 pav. 2017 metais vieno kilometro ilgio geležinkelio kelio visų 7 geometrinių parametrų nuokrypių ir apskaičiuotų KKI reikšmių pavyzdys

Apibendrinti 2015, 2016, 2017 ir 2018 metų duomenys pateikiami priedų 1–8 lentelėse. Skirtingais 2015 metų mėnesiais buvo išmatuota nuo 1797,8 km vasario mėnesį iki 1917,1 lapkričio mėnesį, 2016, 2017 ir 2018 metais taip pat bendras išmatuotas geležinkelių kelių ilgis yra skirtingas. Išmatuotų geležinkelių kelių bendras mėnesio ilgis kinta dėl to, kad geležinkeliai matuojami pagal sudarytą grafiką ir mažiau naudojami keliai matuojami kas du arba kas tris mėnesius, labiau apkrauti tikrinami kas mėnesį. Bendrą geležinkelių kelių būklę galima vertinti vidutiniu KKI (3.9 pav.). Bendras metų vidutinis KKI skaičiuojamas taip:

$$\overline{KKI_a} = \frac{\sum_{m=1}^{M} \frac{\sum_{g=1}^{G}\left[\sum_{k=1}^{K}\left(\sum_{p=1}^{P} KKI_p\right)\right]}{\sum_{g=1}^{G} k_g}}{12} \; ; \qquad (3.1)$$

Čia: $\overline{KKI_a}$ – metų vidutinis metinis KKI įvertinimas; a – metai (2015, 2016, 2017, 2018); g – geležinkelių kelių ruožų skaičius, g=1,2,...G; k – geležinkelio kelio ruožo kilometrų skaičius k=1,2,....K; p – geležinkelio kelio geometrinis parametras, p=1,2,...P (P=7); KKI_p – k-tojo

kilometro p-ojo parametro KKI įvertinimas, paimtas iš kelmačiu išmatuotų šalies geležinkelio kelių duomenų lentelės, m – mėnesio numeris m=1,2,...M.



3.9 pav. 2015–2018 metais kelmačiu išmatuotų visos šalies vidutinių metinių KKI skaitinių reikšmių palyginimas

Vertinant bendrą Lietuvos geležinkelių kelių būklę lyginamas visų Lietuvos geležinkelių kelių vidutinis KKI (3.9 pav.). Vidutinio metinio KKI pokyčiai matomi kiekvienais metais, tačiau būtina įvertinti, ar jie reikšmingi. Tam taikomas Kruskalio–Voleso ranginis kriterijus nepriklausomoms imtims (Čekanavičius, Murauskas, 2008):

$$H = \frac{12}{n(n+1)} \sum_{j=1}^{k} \frac{R_j^2}{n_j} - 3(n+1); \quad (3.2)$$

Čia: H – Kruskalio–Voluso ranginis kriterijus;

n_j – j-osios imties narių skaičius,

R_j – j-osios imties narių rangų suma,

k – imčių skaičius,

$n = n_1 + n_2 + \ldots + n_k$ – bendras visų imčių stebėjimų skaičius.

Kriuskalio–Voliuso ranginis kriterijus lyginamas su skirstinio $\chi_\alpha^2(b)$ b laisvės laipsnių α kritine reikšme. Jei H<$\chi_\alpha^2(b-1)$ tai skirstiniai yra lygūs ir jų pokytis nereikšmingas.

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 = 22243 + 23000 + 22809 + 23003 = 91055; \quad (3.3)$$

$$R = \frac{n(n-1)}{2}; \quad (3.4)$$

$$R_1 = \frac{22243(22243-1)}{2} = 247364403; \quad (3.5)$$

$$R_2 = \frac{23000(23000-1)}{2} = 264488500; \quad (3.6)$$

$$R_3 = \frac{22809(22809-1)}{2} = 260125240; \quad (3.7)$$

$$R_4 = \frac{23003(23003-1)}{2} = 264557503; \quad (3.8)$$

$$H = \frac{12}{91055(91055+1)}\left(\frac{247364403^2}{22243} + \frac{264488500^2}{23000} + \frac{260125240^2}{22809} + \frac{264557503^2}{23003}\right) - 3(91055-1) = -256083; \quad (3.9)$$

$$\chi^2_{0,95}(3) = 0{,}352; \quad (3.10)$$

$$H < \chi^2_{\alpha}(b-1); \quad (3.11)$$

$$H = -256083 < \chi^2_{0,95}(3) = 0{,}352; \quad (3.12)$$

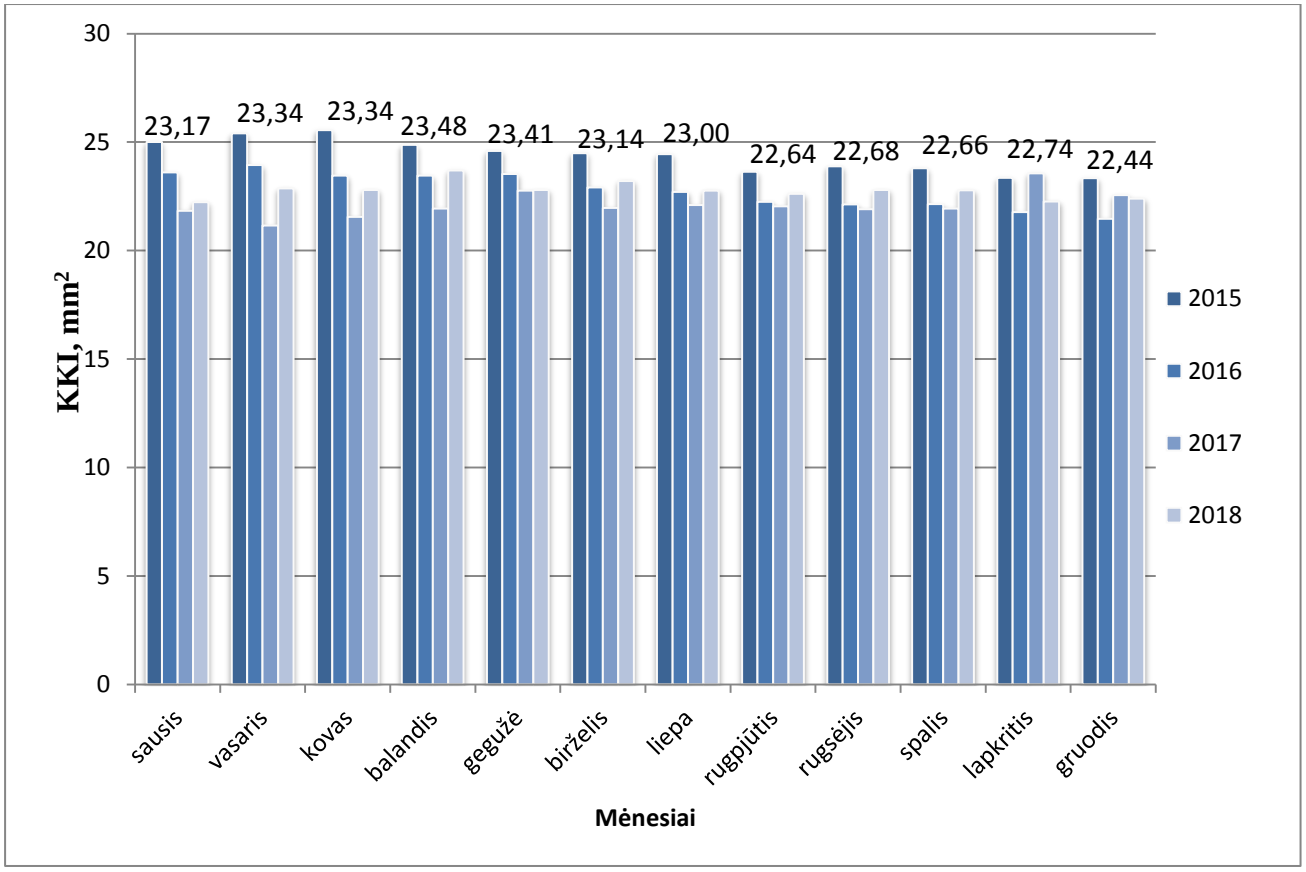
Taigi $H<\chi^2_{\alpha}(b-1)$, todėl galima daryti išvadą, jog visų keturių metų skirstiniai yra lygūs. Remiantis šiuo skirstinių lyginimo metodu nustačius, jog skirstiniai yra vienodi, galima lyginti jų skaitines vertes kaip lygiavertes.

Didžiausias vidutinis KKI apkaičiuotas 2015 metais 24,35 mm^2. Kitais metais t. y. 2016 bendra geležinkelių kelių būklė pagerėjo, todėl galima daryti prielaidą, kad buvo atlikti būtini remonto darbai. 2017 metais iš viso buvo išmatuota 22809,5 kilometrų geležinkelių kelių, vidutinė KKI reikšmė yra mažiausia per nagrinėtus ketverius metus. Kitais metais, t. y. 2018 vidutinis KKI indeksas padidėjo, todėl galima daryti prielaidą, jog 2017 metų pabaigoje ir 2018 metais atliktų geležinkelio kelio remonto darbų apimtys buvo per mažos, siekiant išlaikyti gerą geležinkelių kelių būklę. Bendras vidutinis šalies KKI nusako tik bendrą geležinkelių kelių būklės kitimo tendenciją, tačiau gali atsirasti ruožų, kuriuose būklė tik prastėjo.

Vertinant geležinkelio kelio kokybės kitimo priklausomybę nuo meteorologinių sąlygų geležinkelio keliai vertinami vidutiniu mėnesiniu KKI. Vidutinis kiekvieno mėnesio KKI pagal formulę:

$$\overline{KKI_m} = \frac{\sum_{g=1}^{G}\left[\sum_{k=1}^{K}\left(\sum_{p=1}^{P} KKI_p\right)\right]}{\sum_{g=1}^{G} k_g}; \quad (3.13)$$

Čia: g –geležinkelių kelių ruožų skaičius, g=1,2,...G; k – geležinkelio kelio ruožo kilometrų skaičius k=1,2,....K; p – geležinkelio kelio geometrinis parametras, p=1,2,...P (P=7); KKI_p – k-tojo kilometro p-ojo parametro KKI įvertinimas, paimtas iš kelmačiu išmatuotų šalies geležinkelio kelių duomenų lentelės, m – mėnesio numeris m=1,2,...M.



3.10 pav. 2015–2018 metais kelmačiu išmatuotų Lietuvos geležinkelių kelių vidutinių kiekvieno mėnesio KKI skaitinių reikšmių palyginimas

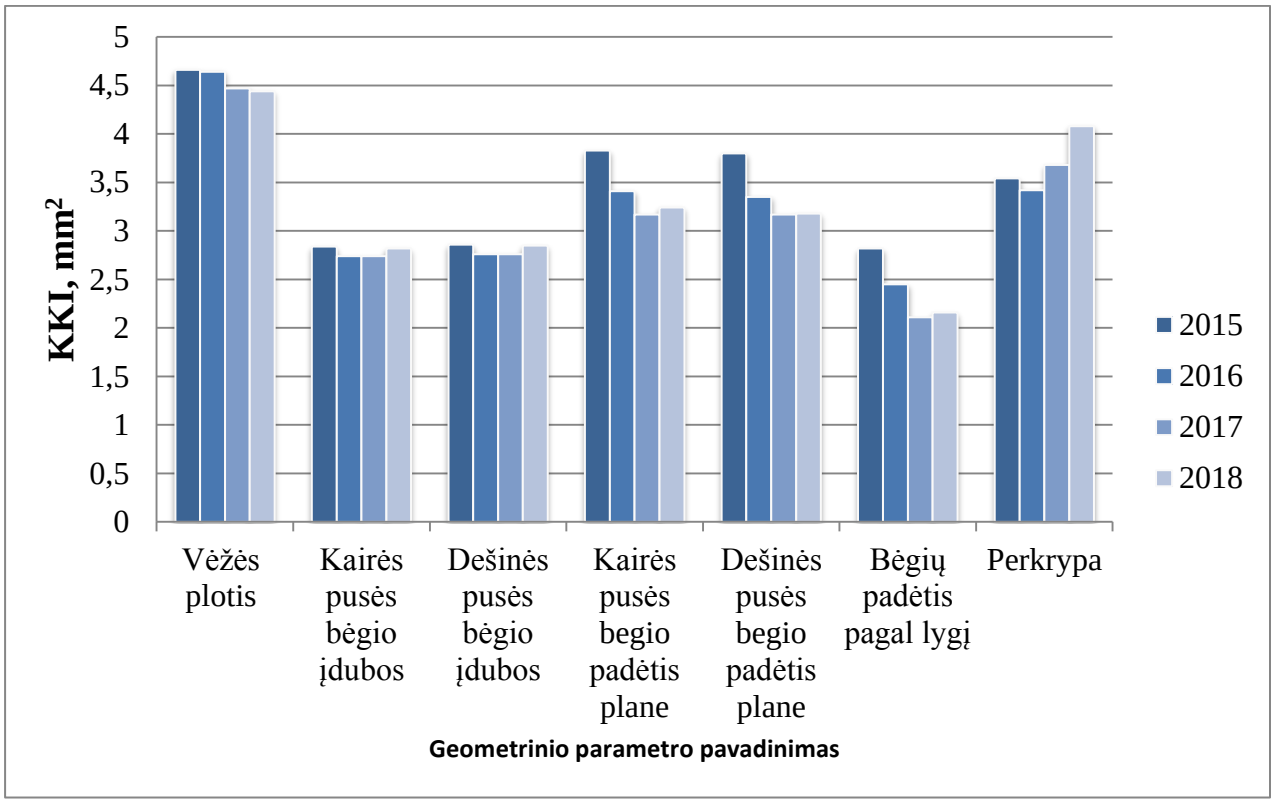
Siekiant nustatyti tendencijas kaip kito vidutinis šalies KKI, nubraižyta stulpelinė diagrama (3.10 pav.), kurioje parodyti 4 metų kiekvieno mėnesio vidutinis KKI. Akivaizdžiai matoma, kad 2015 metų pradžioje KKI siekė didžiausias skaitines reikšmes, ir didėjo iki kovo mėnesio, kai KKI buvo lygus 25,55 mm^2, vėliau KKI mažėjo visus metus. Rugsėjo mėnesį KKI šoktelėjo iki 23,88 mm^2, o rugpjūčio mėnesį buvo lygus 23,64 mm^2. Taigi, 2015 metais matomos KKI mažėjimo tendencijos, tai reiškia kad šalies geležinkelių kelių būklė gerėjo, daroma prielaida, jog buvo atlikta daug priežiūros darbų. 2016 metais taip pat matomas KKI mažėjimas nuo metų pradžios iki pabaigos. Stabilus vidutinio KKI svyravimas nuo 21 mm^2 iki 22 mm^2 pastebimas ir 2017 metais, tačiau yra matomas aiškus KKI padidėjimas gegužės 22,76 mm^2 ir lapkričio 23,56 mm^2 mėnesiais, lapkričio mėnesio padidėjimas lyginant su praėjusiu yra 1,62 mm^2. 2018 metais pastebimas vidutinio KKI svyravimas tarp 22 mm^2 ir 23 mm^2, padidėjimas pastebimas balandžio 23,69 mm^2 ir birželio 23,21 mm^2 mėnesiais. Ištyrinėjus visos šalies geležinkelio kelius, buvo nustatyta sąsaja tarp KKI kitimo ir metų laikų kitimo – KKI kitimas koreliavo su metų laikais. Bendras vidutinis mėnesio KKI padidėja pavasarį ir rudenį. Ketverių metų pavasario mėnesiais vidutinis mėnesio

KKI kovo ir balandžio mėnesį padidėjo iki 23,34 mm^2 ir 23,38 mm^2. Rudens mėnesiais spalio mėnesį apskaičiutas buvo 22,66 mm^2 22,74 mm^2.

Tyrimo metu analizuojamas visų 7 geometrinių parametrų vidutinis KKI. Vertinant kiekvieną geometrinį parametrą atskirai, galima nustatyti, kokie defektai dažniausiai pasitaiko šalies geležinkelių keliuose. Vidutinė reikšmė bet kurio iš 7 geometrinių parametrų skaičiuojama pagal formulę:

$$\overline{KKI_{mp}} = \frac{\sum_{g=1}^{G}[\sum_{k=1}^{K} KKI_p]}{\sum_{g=1}^{G} k_g} \quad ; \tag{3.14}$$

čia: $\overline{KKI_{mp}}$ – metų vidutinis metinis vieno iš 7 geometrinio parametro KKI įvertinimas; g – geležinkelių kelių ruožų skaičius, g=1,2,...G; k – geležinkelio kelio ruožo kilometrų skaičius k=1,2,....K; p – geležinkelio kelio geometrinis parametras, p=1,2,...P (P=7); KKI_p – k-tojo kilometro p-ojo parametro KKI įvertinimas, paimtas iš kelmačiu išmatuotų šalies geležinkelio kelių duomenų lentelės, m – mėnesio numeris m=1,2,...M.



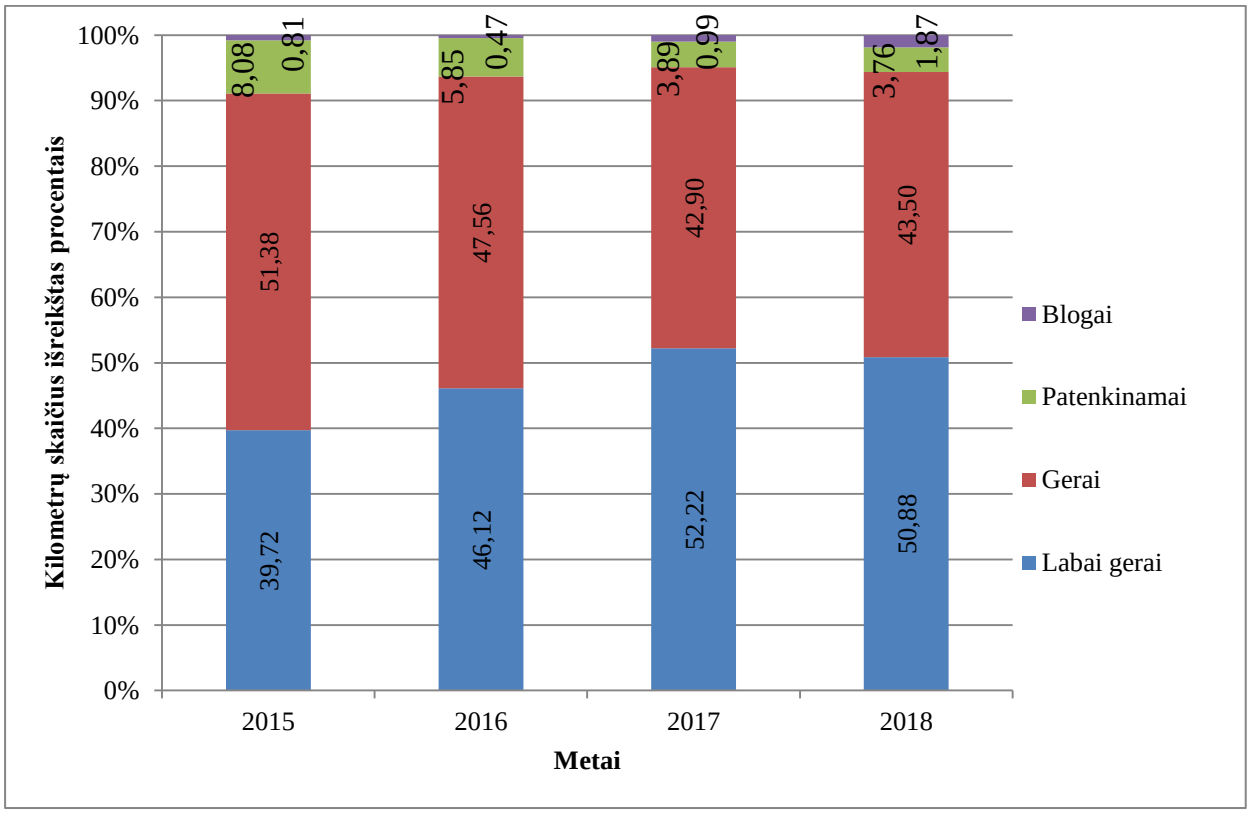
3.11 pav. 2015–2018 metais kelmačiu išmatuotų Lietuvos geležinkelių kelių vidutinių kiekvieno geometrinio parametro KKI skaitinių reikšmių palyginimas

Išnagrinėjus vidutinio KKI tendencijas 2015–2018 metais ir siekiant paaiškinti priežastis KKI kitimo, nubraižomas septynių geometrinių parametrų vidutinio KKI kitimas (3.11 pav.). Iš šio grafiko matoma, kad blogiausiai įvertintas vėžės plotis, kurio įvertinimas sumažėjo per 4 metus nuo

4,66 mm^2 iki 4,44 mm^2. Nors šio geometrinio parametro įvertinimas gerėjo, tačiau išliko didžiausias iš visų septynių. Labiausiai blogėjantis geometrinis parametras yra perkrypa, kuri 2018 metais vidutiniškai įvertinta 4,08 mm^2. 2015 metais perkrypos vidutinis įvertinimas buvo 3,54 mm^2, tai rodo, kad per minėtą laikotarpį užfiksuotas ryškus šio geometrinio parametro blogėjimas ir neatkreiptas dėmesys į perkrypas remontuojant kelius. Bėgių įdubų vidutiniai KKI įvertinimai yra stabilūs, kinta nedaug nuo 2,74 mm^2 iki 2,86 mm^2. Labiausiai gerėjantys geometriniai parametrai yra abiejų pusių bėgių padėties plane, KKI įvertinimai per nagrinėtą laikotarpį pagerėjo nuo 3,83 mm^2 iki 3,18 mm^2. Bėgių padėties pagal lygį vidutiniai KKI įvertinimai taip pat buvo užfiksuoti gerėjantys: 2015 metais buvo 2,82 mm^2 geresnis rezultatas užfiksuotas negu 2017 metais 2,11 mm^2, tada matomas pablogėjimas 2018 metais 2,18 mm^2.

$$\omega_i = \frac{a_i}{b} \cdot 100\%; \qquad (3.15)$$

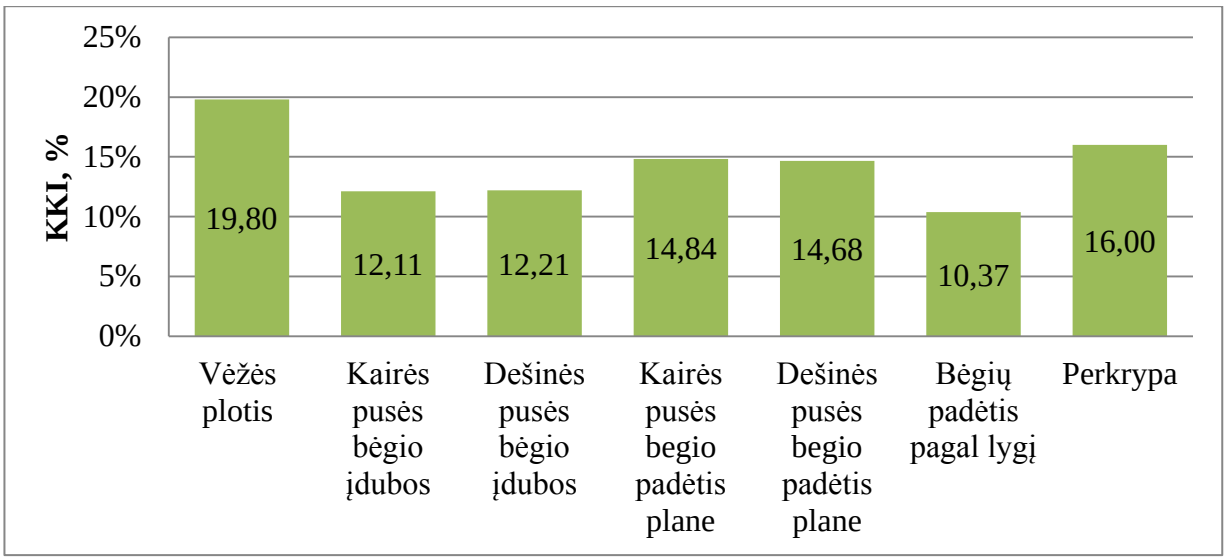
Čia: ω – geležinkelio kelių kokybinio įvertinimo (labai gerai, gerai, patenkinamai, blogai) kilometrų kiekis procentine išraiška; a_i – kilometrų skaičius įvertintas (labai gerai, gerai, patenkinamai, blogai); i – kokybinis įvertinimas (labai gerai, gerai, patenkinamai, blogai); b – bendras per metus kelmačiu išmatuotas kilometrų skaičius;



3.12 pav. 2015–2018 metais kelmačiu išmatuotų Lietuvos geležinkelių kelių vidutinių kiekvieno mėnesio KKI skaitinių reikšmių palyginimas

Ankstesniuose grafikuose buvo matoma ir padaryta išvada, jog prasčiausios būklės geležinkelio keliai buvo 2015 metais ir jų būklė gerėjo iki 2017 metų, ta pati tendencija matoma ir 3.12 pav. Kokybiniu įvertinimu „Labai gerai“ (KKI nuo 0 mm^2 iki 20 mm^2) didžiausiu procentų skaičiumi įvertinta 2017 metais (52,22 %), 2015 metais mažiausia procentinė išraiška – 39,72 %, tai rodo padidėjusį labai geros kokybės geležinkelių kelių kilometrų skaičių. Kilometrų, įvertintų kokybiniu vertinimu „Gerai“ (KKI nuo 21 mm^2 iki 34 mm^2), sumažėjo nuo 51,38 % 2015 metais iki 42,90 % 2017 metais. Šis pasiskirstymas rodo, jog buvo daugiausia buvo remontuojami keliai, kurie įvertinti „Gerai“, taip pagerinus jų būklę, pagerėjo bendras geležinkelių kelių vidutinis KKI. Kokybiniu įvertinimu „Patenkinamai“ (KKI nuo 35 mm^2 iki 44 mm^2) taip pat sumažėjo nuo 8,08 % 2015 metais iki 3,76 % 2018 metais. Didžiausią pavojų įvertintų kokybiniu vertinimu „Blogai“ ir labiausiai pavojų keliančių kilometrų skaičius išreikštas procentine išraiška padidėjo nuo 0,81 % 2015 metai iki 1,8 % 2018 metais. Iš to galima daryti išvadą, jog saugumas šalies geležinkelių keliuose pablogėjo.

Išanalizavus anksčiau pateiktus grafikus, lieka neaišku, kuris geometrinis parametras buvo blogiausiai įvertintas per visą 2015–2018 metų tyrinėtą laikotarpį. Dėl šios priežasties apskaičiuojamas vidutinis KKI kiekvienam iš 7 geometrinių parametrų per ketverius metus. Gautos reikšmės paverčiamos procentine išraiška ir nubraižomas (3.12 pav.) grafikas, kuriame matoma, jog prasčiausiai per visus 4 metus buvo įvertintas vėžės plotis (19,8 %), toliau seka perkrypa (16%). Geriausiai vertinama bėgių padėtis pagal lygį (10,5%) ir kairės bei dešinės pusės bėgių įdubos.



3.13 pav. 2015–2018 metais kelmačiu išmatuotų Lietuvos geležinkelių kelių visų geležinkelio kelio geometrinių parametrų vidutinių KKI skaitinių reikšmių, išreikštų procentine išraiška, palyginimas

Išanalizavus Lietuvos geležinkelių kelių 2015–2018 metų duomenis, galima daryti išvadą, jog vidutinė KKI skaitinė reikšmė sumažėjo 2015–2017 metais, 2018 metais vėl padidėjo. Nepaisant to, įvertintų kokybiniu vertinimu „Blogai“ kilometrų skaičiui padidėjus dvigubai, šalies geležinkelių kelių saugumas nepagerėjo. Padidėjus itin pavojingų kilometrų skaičiui, padidėjo ir tikimybė, jog traukinys gali nukristi nuo bėgių. Didžiausią įtaką daro geležinkelio kelio vėžės pločio ir pekrypos nuokrypiai. Mažiausios bėgių padėtis pagal lygį ir dešinės bei kairės pusės bėgio įdubos skaitinės reikšmės.

3.5 Taikoma geležinkelių kelių remonto klasifikacija ir technologijos

Geležinkelio kelių ūkio tikslas – užtikrinti saugų traukinių judėjimą. Visi geležinkelio kelio elementai (sankasa, viršutinė kelio konstrukcija, kelio statiniai ir įrenginiai) nuolatos turi būti prižiūrimi; stebima jų techninė būklė, kad nuokrypiai nuo projekte planuotų parametrų atitiktų norminius reglamentus.

Kuo stipresnė viršutinė kelio konstrukcija, tuo mažiau reikia dėmesio ir išlaidų priežiūros darbams. Tačiau, didėjant traukinių greičiui, jų masei ir intensyvumui, reikia kurti ir naujesnius viršutinės kelio konstrukcijos elementus, priežiūros ir remonto darbų technologijas, kelio elementų diagnostikos metodus. Kelio remonto ir priežiūros darbų išlaidoms mažinti reikia reglamentuoti šių darbų procesus, nustatant griežtą darbų technologiją, apibūdinamą ne tik išlaidomis, bet ir darbų trukme (Gailiene et al. 2018). Stipresnė kelio konstrukcija ilgiau išlaiko tinkamą eksploatacijai būklę, traukiniams greitėjant tai tampa neišvengiama.

Dažnu atveju geležinkelio kelias remontuojamas nenutraukiant traukinių eismo. Geležinkelio kelias turi būti geros būklės ir nekelti pavojaus traukinių eismui, tik tokiu atveju galimas kelio remontas nenutraukiant traukinių eismo. Kita būtina sąlyga kuri leidžia remontuoti kelią nenutraukiant traukinių eismo – tai traukinių eismo intensyvumas, laiko intervalas tarp važiuojančių traukinių turėtų būti daugiau kaip 60 min. Kai traukinių eismas intensyvesnis, geležinkelio kelias remontuojamas per specialiai skiriamas eismo pertraukas, kurių trukmę nustato viešosios geležinkelių infrastruktūros valdytojo sudaryta komisija. Mažiausia reikalinga eismo pertrauka nustatoma atsižvelgiant į darbų rūšį, jų apimtį ir naudojamų mechanizmų našumą (Gailiene et al. 2018).

Geležinkelio kelio remonto darbai klasifikuojami pagal (Geležinkelio kelio remonto... 2000) taip:

a) paprastasis:
    1) paprastasis I (pusvidutinis) kelio remontas;

2) paprastasis II (vidutinis) kelio remontas;

b) kapitalinis kelio remontas;

c) geležinkelio kelio rekonstrukcija;

d) einamoji kelio priežiūra (einamasis kelio remontas).

Kiti autoriai (Gailiene et al. 2018) mini dar dvi papildomas remontų rūšis ir jas apibrėžia:

Einamoji kelio priežiūra (einamasis kelio remontas) – darbai viršutinės konstrukcijos, kelio statinių ir įrenginių, pervažų, kelio signalinių ženklų ir pageležinkelio juostos tinkamoms eksploatacinėms sąlygoms bei saugiam traukinių eismui užtikrinti.

Paprastasis I (pusvidutinis) kelio remontas – darbai, kai kelias tiesinamas plane ir lyginamas išilginiame profilyje, pakeliant jį iki 5 cm (atkuriant bėgių galvučių altitudžių lygį iki projektinio) ir plūkiant balastą po pabėgiais. Balastas, kurio užterštumas viršija leidžiamąjį, išvalomas arba keičiamas nauju, taip pat keičiami arba remontuojami geležinkelio kelio viršutinės konstrukcijos elementai, kuriuose užfiksuoti defektai, remontuojama sankasa ir vandens nuvedimo įrenginiai.

Paprastasis II (vidutinis) kelio remontas – remontas, kai kelias tiesinamas plane ir lyginamas išilginiame profilyje, pakeliant jį >5 cm (atstatant bėgių galvučių altitudžių lygį iki projektinio), plūkiamas balastas po pabėgiais. Balastas, kurio užterštumas viršija leidžiamąjį, išvalomas arba keičiamas nauju, keičiami arba remontuojami viršutinės kelio konstrukcijos elementai, kuriuose pastebimi defektai. Taip pat remontuojama sankasa ir vandens nuvedimo įrenginiai, pakelės juosta ir pervažos.

Kapitalinis kelio remontas – darbai, kai keičiami naujais visi susidėvėję geležinkelio kelio viršutinės konstrukcijos elementai, nekeičiant jų geometrinių parametrų. Po šio remonto

traukinių važiavimo greitis turi būti ne mažesnis, negu buvo nustatytas iki kapitalinio remonto.

Geležinkelio kelio rekonstrukcija – darbai keleivinių ir prekinių traukinių greičiui didinti, taip pat greitam keleivių vežimui užtikrinti tarp atskirų rajonų ar miestų tuo atveju, kai kitos susisiekimo priemonės neatitinka keleivių ir krovinių gabenimo poreikių. Rekonstruojant kelią keičiami geležinkelio kelio geometriniai parametrai ir automatinių įrenginių techniniai tipai (kreivių spindulys, kelio planas ir profilis, iešmų ir automatikos įrenginiai). Sprendimus rekonstruoti kelią ar jo ruožą priima Vyriausybė, vadovaudamasi socialiniais atskirų regionų tyrimais.

Instrukcijoje (Geležinkelio kelio remonto... 2000) nurodyta viena iš po remonto priėmimo sąlygų tam tikras KKI balų skaičius išmatavus kelią kelmačiu:

a) paprastasis:

I. paprastasis I (pusvidutinis) kelio remontas – mažiau kaip 80 balų;

II. paprastasis II (vidutinis) kelio remontas – mažiau kaip 40 balų;

b) kapitalinis kelio remontas – mažiau kaip 40 balų.

c) geležinkelio kelio rekonstrukcijai – nėra nustatyta;

d) einamoji kelio priežiūra (einamasis kelio remontas) – nėra nustatyta;

Geležinkelio kelio remonto darbai atliekami pagal (Kelio statinių defektai... 2006) instrukciją, kurioje yra nurodyti geležinkelio kelių defektai, jų atsiradimo priežastys ir sprendimo būdai.

3.6 Trečio skyriaus išvados

Iš Lietuvos geležinkelių kelių 2015–2018 metų duomenų pastebima, jog vidutinė KKI skaitinė reikšmė sumažėjo 2015–2017 metais, nuo 24,35 mm^2 iki 22,11 mm^2. 2018 metais nežymiai padidėjo iki 22,77 mm^2. Pagal vidutinę KKI skaitinę reikšmę, geležinkelių kelių būklė Lietuvoje pagerėjo. Taikant Voloso–Kruskalio kriterijų nustatyta, kad visus ketverius metus galima vertinti kaip vienodus, todėl reikšmingo pokyčio nėra. Vertinant kokybiniu vertinimu, įvertinimu „Blogai“ kilometrų skaičius padidėjo dvigubai, todėl šalies geležinkelių kelių saugumas nepagerėjo. Padidėjus itin pavojingų kilometrų skaičiui padidėjo ir tikimybė, jog traukinys gali nukristi nuo bėgių. Didžiausią bendro vidutinio atskirų geometrinių parametrų KKI įvertinimo dalį sudaro geležinkelio kelio vėžės pločio ir pekrypos nuokrypiai, o mažiausią bėgių padėtis pagal lygį ir dešinės ir kairės pusės begio įdubos.

BENDROSIOS IŠVADOS

1. Eksploatuojamo geležinkelio kelio vertinimo būdas, kurį pateikė Xu et al. (2010) pavadindamas trumpojo nuotolio kelio kokybės nustatymo modeliu, matematiškai yra neteisingas. Taikant matematinės statistikos pagrindus ir kitų autorių patirtį daroma išvada, kad KKI nėra bedimensis dydis, o turi dimensiją [mm^2] t.y. KKI nėra standartinių nuokrypių suma, o dispersijų suma.
2. Kelmačiu išmatuotų duomenų vertinimas pagal Instrukciją K/259 yra netikslus. Instrukcijos K/259 geležinkelio kelio vertinimo sistema turi trūkumų ir įrodyta, jog pridedant 45 mm^2, kai viršijamos bet kurio geometrinio parametro tolerancijos ribos tendencingai blogina geležinkelio kelio kokybės vertinimo rezultatą, nes gautos skaitinės reikšmės neatspindi tikrosios kelio būklės. Paisant Instrukcijos K/259 vienodos būklės keliai įvertinami skirtinga KKI skaitine reikšme. Pagal šią išvadą ir matematinę logiką sudaryta 2.18 lentelė, kurioje pateikti kiekvienai kelio kategorijai skirtingi KKI skaitinių verčių reikalaujami intervalai.
3. Instrukcijoje K/259 yra pateikta kelio kokybės indekso 45 mm^2 vertinimo sistema, kurioje neatsižvelgiama į kelio kategoriją. Matematinio ir inžinerinio pagrindimo, kodėl geležinkelio keliai vertinami leidžiamąja 45 mm^2 KKI riba nėra. Skirtingų kategorijų keliai kuriems nustatytos skirtingos tolerancijų ribos, turi turėti skirtingas ir KKI ribas. Mūsų (magistranto ir vadovo) siūlomas metodas vertinti geležinkelių kelius skirtingomis su KKI skaitinėmis reikšmėmis pateiktas pagal geležinkelio kelio kategoriją ir nuokrypių laipsnį (2.18 lentelė). Siūlomas modelis leidžia vertinti geležinkelio kelius vien tik pagal KKI, išvengiant nepagrįsto 45 mm^2 pridėjimo. Jis susieja geležinkelio kelio nuokrypių laipsnį ir kokybinį vertinimą.
4. Geležinkelio kelio geometriniai parametrai yra skirtingos svarbos, tai įrodo iš tolerancijos ribų apskaičiuoti duomenys. Darbe palyginti esamas geležinkelio kelio geometrinių parametrų vertinimo būdas ir mūsų siūlomas pateiktas (2.12 ir 2.13 pav.) grafikai. Iš jų matoma, jog iš 7 geometrinių parametrų didžiausią dalį leidžiamojo suminio KKI sudaro vėžės plotis (22,22 %), mažiausią bėgių perkrypa ir bėgių padėtis pagal lygį (9,8 %).
5. Ištyrinėjus geležinkelio kelio priežiūros instrukcijas K/138 ir K/147 paaiškėjo, kad suremontavus geležinkelio kelią ne visada jis pripažįstamas tinkamu tikrinant kelmačiu. Kelmačiu tikrinama tik po paprastojo pusvidutinio, vidutinio ir kapitalinio remontų. Tikrinimas kelmačiu nenumatytas po geležinkelio kelio rekonstrukcijos, einamojo kelio priežiūros darbų Atlikus šiuos darbus, bet neišmatavus KKI, neužtikrinama tinkama geležinkelio kelio priežiūros proceso kokybė.
6. Iš Lietuvos geležinkelių kelių 2015–2018 metų duomenų nustatyta, jog vidutinė KKI skaitinė reikšmė sumažėjo 2015–2017 metais, nuo 24,35 mm^2 iki 22,11 mm^2. 2018 metais nežymiai

padidėjo iki 22,77 mm^2. Pagal vidutinę KKI skaitinę reikšmę, geležinkelių kelių būklė Lietuvoje pagerėjo. Taikant Voleso–Kruskalio kriterijų nustatyta, kad visus ketverius metus galima vertinti kaip vienodus, todėl reikšmingo pokyčio nėra.

7. Kokybiniu įvertinimu „blogai“ įvertintų kilometrų skaičius 2015–2018 metais padidėjo nuo 180 km iki 430 km. Dėl šios priežasties tikėtina, kad šalies geležinkelių kelių saugumas nepagerėjo. Padidėjus itin pavojingų kilometrų su įvertinimu „blogai“ skaičiui padidėjo ir tikimybė, jog traukinys gali nuvažiuoti nuo bėgių ir važiavimo komfortas pablogėjo.

8. Blogiausiai per 2015–2018 metus buvo įvertinta kelio vėžės pločio, kurio dalies KKI vidurkio lygus 19,8% nuo suminio vidutinio KKI ir pekrypa, kurios dalies KKI vidurkio lygus 16%. Geriausiai įvertinta bėgių padėtis pagal lygį sudaranti 10,5% ir kairės pusės bėgio įdubos, kurių dalies KKI vidurkio lygus 12% .

9. Ištyrinėjus visos šalies geležinkelio kelius, buvo nustatyta sąsaja tarp KKI kitimo ir metų laikų kitimo – KKI kitimas koreliavo su metų laikais. Bendras vidutinis mėnesio KKI padidėja pavasarį ir rudenį. Ketverių metų pavasario mėnesiais vidutinis mėnesio KKI kovo ir balandžio mėnesį padidėjo iki 23,34 mm^2 ir 23,38 mm^2. Rudens mėnesiais spalio mėnesį apskaičiutas buvo 22,66 mm^2 22,74 mm^2.

Literatūros sąrašas

Andrade, A. R., & Teixeira, P. F. 2016. Exploring different alert limit strategies in the maintenance of railway track geometry, *Journal of Transportation Engineering, 142*(9): (04016037-1)-(04016037-9). https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000867

Arasteh khouhy, I., Larsson-Kråik, P., Nissen, A., & Kumar, U. 2014. Cost-effective track geometry maintenance limits, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit 230*(2): 611–622. https://doi.org/10.1177/0954409714542859

Bai, L., Liu, R., Sun, Q., Wang, F., & Wang, F. 2014. Classification-learning-based framework for predicting railway track irregularities, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 230*(2), 598–610. https://doi.org/10.1177/0954409714552818

Barbosa, R. S. 2016. Evaluation of railway track safety with a new method for track quality identification. *Journal of Transport Engineering. 142*(11): (04016053-1)-(04016053-11). https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000855

Bubnelis, V. M., Slepakovas, B., Černiauskaite, L., Sivileičius, H. 2018. Geležinkelio kelio geometrinių parametrų dinamikos tyrimas. Mokslas – Lietuvos ateitis (10). 1-7. https://doi.org/10.3846/mla.2018.6165

Caetano, L. P., & Teixeira, P. F. 2016. Predictive maintenance model for ballast tamping. *Journal of Transportation Engineering, 142*(4): (04016006-1)-(04016006-9). https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000825

Čekanavičius, V., Murauskas G., 2008. Statistika ir jos taikymai II. Vilnius. Technika. 268 p.

Famurewa, S.M., Juntti, U., Nisssen, A., Kumar, U.(2016). Augment utilisation of possession time: Analysis for track geometry maintenance. *Journal of Rail and Rapid Transit* 230(4):1118–1130. https://doi.org/10.1177/0954409715583890

Ferreira, L., Murray, M.H., 1997. Modelling rail track deterioration and maintenance: current practices and future needs. Transport Reviews 17: 207–221. https://doi.org/10.1080/01441649708716982

Gailiene, I.; Laurinavičius. A.; Daškevič, S.; Podagėlis, I.; Sakalauskas, K.; Bureikia, G,; Vaiškūnaitė. R. 2018. Geležinkelio kelias. Vilnius: Technika. 359p.

Geležinkelio kelio remonto darbų priėmimo taisyklės K/138. 2000. AB „Lietuvos geležinkeliai“. Vilnius. 33 p.

Kelio statinių priežiūros instrukcija 147/K. 2001. AB „Lietuvos geležinkeliai“. Vilnius. 94 p.

Kim, D. S., & Ham, S. 2013. Dynamic wheel loads of High-speed rail at speed greather than 400 km/h. *Transport Research Record 2374*: 55–65. https://doi.org/10.3141/2374-07

Liu, R.-K., Xu, P., Sun, Z.-Z., Zou, C., & Sun, Q.-X. 2015. Establishment of track quality index standart recommendations for Beijing metro. *Discrete Dynamics in Nature and Society, 2015*: Article ID473830 (9 p.).

Lopez-Pita, A., Texeira, P. F., Casas, C., Bachiller, A., Ferreira, P. A. (2008). Maintenance cost of high-speed lines in Europe, *Transport Research Record 2043*: 13–19. https://doi.org/10.3141/2043-02

Lietuvos standartizacijos departamentas. 2008. *Geležinkelio taikmenys. Geležinkelio kelias. Geležinkelio kelio kokybė. 1 dalis. Geležinkelio kelio kokybės apibūdinimas (LST EN13848-1)* (25 p.). Vilnius.

Lietuvos standartizacijos departamentas. 2006. *Geležinkelio taikmenys. Bėgių kelias. Geometrinė bėgių kelio kokybė. 2 dalis. Matavimo sistemos. Kelmatės transporto priemonės (LST EN13848-2)* (26 p.). Vilnius.

Lietuvos standartizacijos departamentas. 2009. *Geležinkelio taikmenys. Bėgių kelias. Geometrinė bėgių kelio kokybė. 3 dalis. Matavimo sistemos. Geležinkelio kelio tiesimo ir tachninės priežiūros mašinos (LST EN13848-3)* (25 p.). Vilnius.

Lietuvos standartizacijos departamentas. 2012. *Geležinkelio taikmenys. Bėgių kelias. Geometrinė bėgių kelio kokybė. 4 dalis. Matavimo sistemos. Rankiniai ir lengvieji įtaisai (LST EN13848-4)* (29 p.). Vilnius.

Lietuvos standartizacijos departamentas. 2010. *Geležinkelio taikmenys. Bėgių kelias. Geometrinė bėgių kelio kokybė. 5 dalis. Geometrinės kokybės lygmenys. Bėgių kelias (LST EN13848-5)* (22 p.). Vilnius.

Lietuvos standartizacijos departamentas. 2006. *Geležinkelio taikmenys. Bėgių kelias. Geometrinė bėgių kelio kokybė. 6 dalis. Geometrinės bėgių kelio kokybės apibūdinimas (LST EN13848-6)* (28 p.). Vilnius.

Maskeliūnaitė, L. ir Sivilevičius, H. 2012. Expert evaluation of criteria describing the quality of traveling by international passenger train, technological economic and safety perspectives. *Technological and Ekonomic Development of Economy 18*(3): 544–566. https://doi.org/10.3846/20294913.2012.710178

Maskeliūnaitė, L. ir Sivilevičius H. 2014. The model for evaluating the criteria describing the quality of the trip by international train. *Technological and Ekonomic Development of Economy, 20*(3): 484–506. https://doi.org/10.3846/20294913.2014.949333

Navikas, D., Bulevičius, M. ir Sivilevičius, H. 2016. Determination and evaluation of railway agregate gradation and other properties variantion, *Journal of Civil Engineering and Management, 22*(5): 699–710. https://doi.org/10.3846/13923730.2016.1177586

Navikas, D., Bulevičius, M. ir Sivilevičius, H. 2018. Investigation and evaluation of railway ballast properties variation during technological processes. *Construction and Building Materials, 185*(10): 325–337. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.090

Navikas, D. ir Sivilevičius, H. 2017. Aplinkos oro neigiamos temperatūros įtakos geležinkelio konstrukcijos įšalimo gyliui Lietuvoje modeliavimas. *Mokslas – Lietuvos ateitis / Science – Future of Lithuania,* 9(5): 547–552. https://doi.org/10.3846/mla.2017.1076

Ramūnas, V., Vaitkus, A., Laurinavičius, A., Čygas, D. ir Šiukščius, A. 2017. Prediction of lifespan of railway ballast agregate according to mechanical properties of it. *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 12*(3): 203–209. https://doi.org/10.3846/bjrbe.2017.25

Roghani, A., Hendry, T. M., Eng, P. 2016. Continuous Vertical Track Deflection Measurements to Map Subgrade Condition along a Railway Line: Methodology and Case Studies. *Journal of Transportation Enginiering* 142(12): 04016059-1 – 04016059-8 https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000892

Sakalauskas, K. 2012 Geležinkelių projektavimas. Vilnius. Technika. 177 p.

Savaeigio kelio matavimo vagono EM-140 matuojamų geležinkelio kelio geometrinių parametrų įvertinimo instrukcija (K/259) (patvirtinta AB „Lietuvos geležinkeliai“ generalinio direktoriaus 2012 m. sausio 4d. įsakymu Nr. Į–10). 2012. Vilnius: UAB „Geležinkelių produkcijos atitikties vertininmo centras“ (18 p.).

Setiawan, M. D., & Rosyidi, S. A. P. 2016. Track quality index as track quality assessment indicator. *Simposium XIX FSTPT, Universitas Islam Indonesia:* 11–13.

Xin, T., Famurewa, S. M., Gao, L., Kumar, U., & Zhang, Q. 2016. Grey-system- theory –based model for the prediction of track geometry quality, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 225*(7): 1735–1744. https://doi.org/10.1177/0954409715610603

Xu, P., Sun, Q., Lui, R., & Wang, F. (2010). A short-range prediction model for track quality index. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 225*(F): 277–285.
https://doi.org/10.1177/2041301710392477

Priedai

1 lentelė. Vidutinis visų 2015 metais išmatuotų kelmačiu geležinkelių kelių geometrinių parametrų įvertinimas.

Mėnesio pavadinimas	Patikrintų kilometrų skaičius	Bėgių vėžės plotis (KKI)	Bėgių įdubos (KKI)		Bėgių padėtis plane (KKI)		Bėgių padėtis pagal lygį (KKI)	Perkrypa (KK)	IŠ VISO (3-9 stulp.)	Vidutinis kelio kokybės indeksas
			kairė pusė	dešinė pusė	kairė pusė	dešinė pusė				
sausis	1818,8	9700,46	4994,86	5031,86	6684,27	6595,74	5364,72	6954,56	45485,02	25,01
vasaris	1797,8	9713,40	5251,94	5300,10	6737,90	6768,45	5325,63	6872,40	45672,01	25,40
kovas	1821,5	9086,76	5306,67	5328,80	6841,87	6710,15	5310,17	6450,69	46535,84	25,55
balandis	1837,2	8724,46	5304,48	5366,66	6914,97	6919,42	5290,95	6380,84	45697,83	24,87
gegužė	1824,6	9287,40	5339,41	5380,00	6949,28	6777,26	4900,09	6411,11	44868,28	24,59
birželis	1837,2	8693,64	5354,50	5376,39	6431,28	6354,32	5373,18	6439,85	44994,25	24,49
liepa	1829,8	8773,78	5340,40	5392,30	6560,10	6449,44	4369,09	6739,49	44729,61	24,45
rugpjūtis	1843,1	8453,32	5228,03	5251,39	6391,92	6132,96	4086,19	6686,40	43565,93	23,64
rugsėjis	1900,3	8624,80	5258,46	5311,59	6521,62	6340,30	4076,62	6334,10	45387,67	23,88
spalis	1898,6	8608,04	5287,21	5295,30	6418,38	6262,82	4058,77	6581,61	45171,91	23,79
lapkritis	1917,1	8646,10	5245,46	5280,75	6110,22	5949,85	4028,43	6432,80	44770,91	23,35
gruodis	1916,7	8512,92	5218,96	5267,84	5894,57	5801,05	4060,74	6385,04	44737,38	23,34
Suma	22242,9	103,706,24	63092,88	63665,3	85170,6	84595,39	62638,91	78747,09	541616,41	
Vidurkis		4,66	2,84	2,86	3,83	3,80	2,82	3,54		24,35

2 lentelė 2015 metų kelmačiu patikrintų geležinkelių kelių kiekvieno kilometro kokybinis būklės įvertinimas.

Kilometrų kokybinis būklės įvertinimas	Labai gerai	Gerai	Patenkinamai	Blogai
sausis	679,7	947,2	162,9	29,0
vasaris	667,9	945,5	155,4	29,0
kovas	651,0	974,7	163,8	32,0
balandis	668,0	980,4	171,4	17,4
gegužė	694,1	962,0	154,5	14,0
birželis	701,8	953,0	164,6	18,0
liepa	714,0	927,0	170,8	18,0
rugpjūtis	780,9	952,6	97,6	12,0
rugsėjis	792,6	968,5	132,2	7,0
spalis	805,1	939,4	150,1	4,0
lapkritis	842,1	931,3	143,7	0,0
gruodis	838,6	947,4	130,7	0,0
SUMA	8835,8	11429,0	1797,7	180,4

3 lentelė. Vidutinis visų 2016 metais išmatuotų kelmačiu geležinkelių kelių geometrinių parametrų įvertinimas.

Mėnesio pavadinimas	Patikrintų kilometrų skaičius	Bėgių vėžės plotis (KKI)	Bėgių įdubos (KKI)		Bėgių padėtis plane (KKI)		Bėgių padėtis pagal lygį (KKI)	Perkrypa (KK)	IŠ VISO (3-9 stulp.)	Vidutinis kelio kokybės indeksas
			kairė pusė	dešinė pusė	kairė pusė	dešinė pusė				
sausis	1919,8	9700,46	4994,86	5031,86	6684,27	6595,74	5364,72	6954,56	45326,47	23,61
vasaris	1920,0	9713,40	5251,94	5300,10	6737,90	6768,45	5325,63	6872,40	45969,82	23,94
kovas	1920,2	9086,76	5306,67	5328,80	6841,87	6710,15	5310,17	6450,69	45035,11	23,45
balandis	1914,4	8724,46	5304,48	5366,66	6914,97	6919,42	5290,95	6380,84	44898,78	23,45
gegužė	1914,6	9287,40	5339,41	5380,00	6949,28	6777,26	4900,09	6411,11	45044,65	23,53
birželis	1921,8	8693,64	5354,50	5376,39	6431,28	6354,32	5373,18	6439,85	44023,16	22,91
liepa	1921,1	8773,78	5340,40	5392,30	6560,10	6449,44	4369,09	6739,49	43624,60	22,71
rugpjūtis	1897,9	8453,32	5228,03	5251,39	6391,92	6132,96	4086,19	6686,40	42230,21	22,25
rugsėjis	1919,4	8624,80	5258,46	5311,59	6521,62	6340,30	4076,62	6334,10	42470,49	22,13
spalis	1919,8	8608,04	5287,21	5295,30	6418,38	6262,82	4058,77	6581,61	42512,13	22,14
lapkritis	1914,9	8646,10	5245,46	5280,75	6110,22	5949,85	4028,43	6432,80	41693,61	21,77
gruodis	1916,3	8512,92	5218,96	5267,84	5894,57	5801,05	4060,74	6385,04	41141,12	21,47
Suma	23000,2	106825,08	63130,38	63582,98	78456,38	77058,76	56247,68	78668,89	523970,15	
Vidurkis		4,64	2,74	2,76	3,41	3,35	2,45	3,42	22,78	

4 lentelė 2016 metų kelmačiu patikrintų geležinkelių kelių kiekvieno kilometro kokybinis būklės įvertinimas.

Kilometrų kokybinis būklės įvertinimas	Labai gerai	Gerai	Patenkinamai	Blogai
sausis	821,0	957,2	129,6	12,0
vasaris	770,5	981,6	155,9	12,0
kovas	804,6	961,6	151,0	3,0
balandis	791,6	979,1	142,7	1,0
gegužė	822,9	946,4	130,3	15,0
birželis	867,2	935,2	109,4	10,0
liepa	893,4	903,3	107,4	17,0
rugpjūtis	935,8	861,1	85,0	16,0
rugsėjis	952,6	866,7	90,1	10,0
spalis	955,6	869,7	87,5	7,0
lapkritis	987,9	839,1	83,9	4,0
gruodis	1003,5	838,7	72,1	2,0
SUMA	10606,6	10939,7	1344,9	109,0

5 lentelė. Vidutinis visų 2017 metais išmatuotų kelmačiu geležinkelių kelių geometrinių parametrų įvertinimas.

Mėnesio pavadinimas	Patikrintų kilometrų skaičius	Bėgių vėžės plotis (KKI)	Bėgių įdubos (KKI)		Bėgių padėtis plane (KKI)		Bėgių padėtis pagal lygį (KKI)	Perkrypa (KK)	IŠ VISO (3-9 stulp.)	Vidutinis kelio kokybės indeksas
			kairė pusė	dešinė pusė	kairė pusė	dešinė pusė				
sausis	1914,3	8487,58	5104,63	5125,82	6175,58	6158,73	4093,59	6666,61	41812,54	21,84
vasaris	1918,0	8547,12	5029,90	5052,59	5786,78	5644,84	4124,39	6395,67	40581,29	21,16
kovas	1916,0	8329,98	5325,93	5375,10	5860,01	5876,15	4062,72	6469,85	41299,74	21,56
balandis	1900,4	8516,49	5319,17	5354,80	5915,36	5965,74	4036,56	6594,18	41702,30	21,94
gegužė	1902,1	8628,12	5327,86	5308,40	6084,77	6076,17	4039,41	7818,76	43283,49	22,76
birželis	1900,8	8563,85	5227,97	5298,42	6021,75	6085,51	4000,57	6559,42	41757,49	21,97
liepa	1900,3	8443,46	5251,45	5272,59	6118,89	6039,96	4003,32	6873,19	42002,86	22,10
rugpjūtis	1898,1	8437,63	5196,22	5213,03	6195,09	6141,34	3963,12	6689,48	41835,91	22,04
rugsėjis	1868,2	8229,13	5103,93	5113,97	5934,51	5977,64	3921,58	6644,99	40925,75	21,91
spalis	1877,3	8309,03	5127,34	5142,02	5963,16	5979,01	3940,69	6721,77	41183,02	21,94
lapkritis	1905,8	8443,03	5226,49	5434,74	6078,21	6153,34	3990,10	9565,87	44891,78	23,56
gruodis	1908,2	9040,37	5194,91	5261,77	6275,60	6186,09	4024,18	7044,61	43027,53	22,55
Suma	22809,5	101975,79	62435,80	62953,25	72409,71	72284,52	48200,23	84044,40	504303,70	22,11
Vidurkis		4,47	2,74	2,76	3,17	3,17	2,11	3,68		

6 lentelė 2017 metų kelmačiu patikrintų geležinkelių kelių kiekvieno kilometro kokybinis būklės įvertinimas.

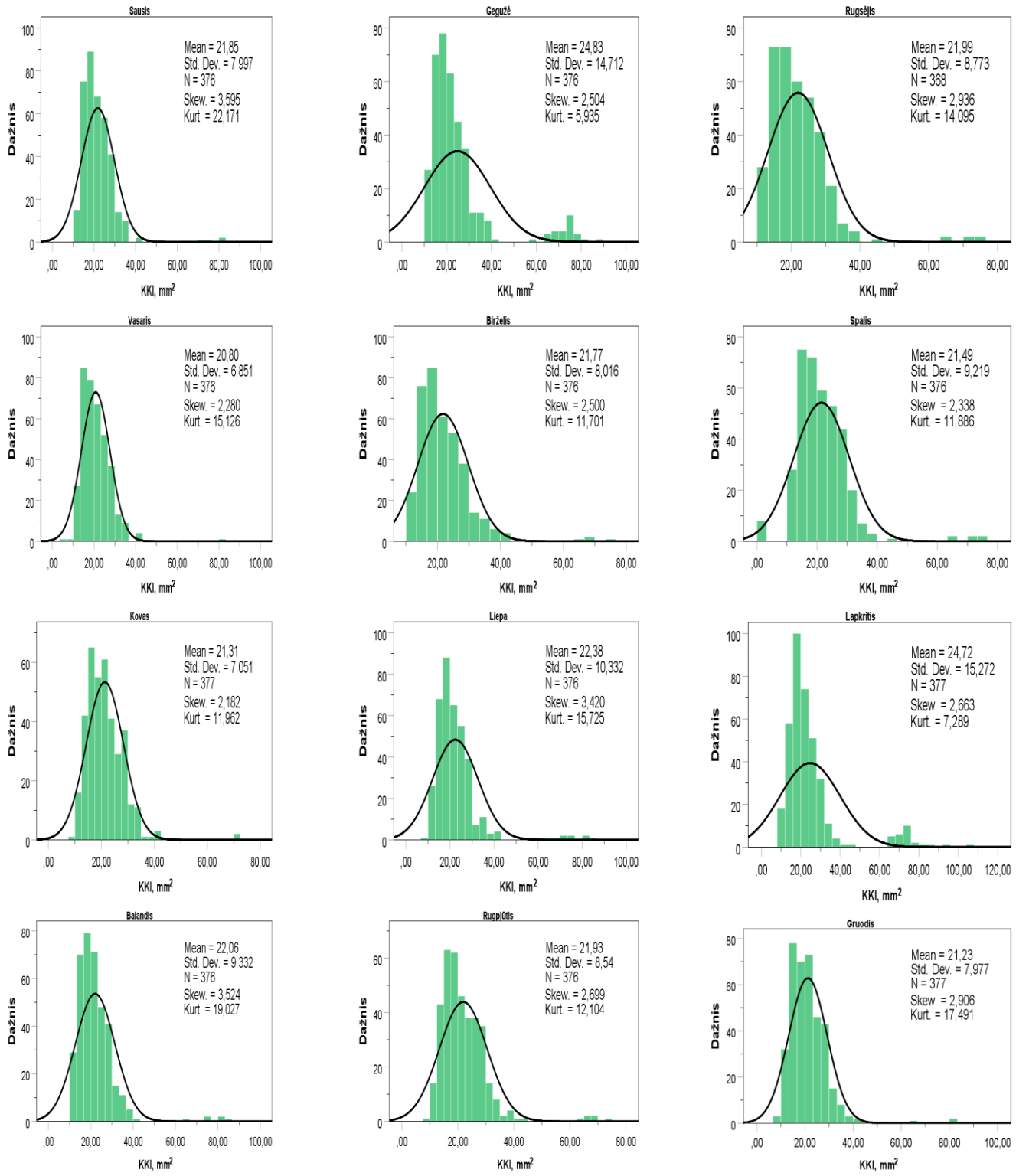
Kilometrų kokybinis būklės įvertinimas	Labai gerai	Gerai	Patenkinamai	Blogai
sausis	1005,3	847,5	54,5	7,0
vasaris	1059,7	801,6	55,7	1,0
kovas	1006,3	835,2	70,5	4,0
balandis	979,8	831,4	81,2	8,0
gegužė	975,6	811,1	79,4	36,0
birželis	973,1	829,4	89,3	9,0
liepa	987,4	820,7	77,2	15,0
rugpjūtis	981,1	820,8	84,2	12,0
rugsėjis	982,7	794,9	78,2	12,4
spalis	988,3	799,4	67,0	13,4
lapkritis	989,5	769,3	67,0	80,0
gruodis	982,5	823,2	74,1	28,4
SUMA	11911,3	9784,5	887,5	226,2

7 lentelė. Vidutinis visų 2018 metais išmatuotų kelmačiu geležinkelių kelių geometrinių parametrų įvertinimas.

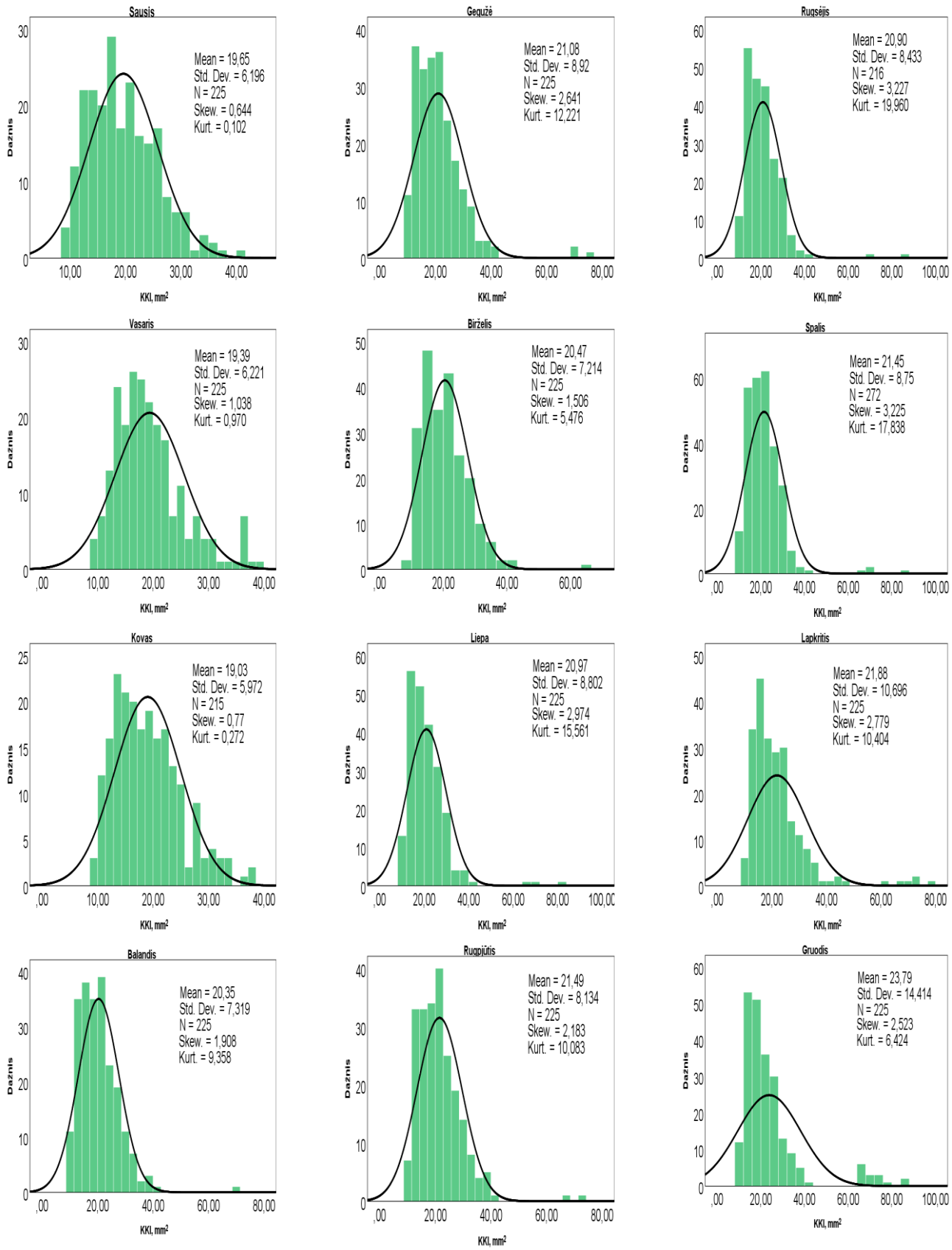
Mėnesio pavadinimas	Patikrintų kilometrų skaičius	Bėgių vėžės plotis (KKI)	Bėgių įdubos (KKI)		Bėgių padėtis plane (KKI)		Bėgių padėtis pagal lygį (KKI)	Perkrypa (KK)	IŠ VISO (3-9 stulp.)	Vidutinis kelio kokybės indeksas
			kairė pusė	dešinė pusė	kairė pusė	dešinė pusė				
sausis	1908,2	8819,32	5118,74	5143,81	6207,96	6042,76	4009,17	7071,16	42412,92	22,23
vasaris	1914,4	8816,62	5194,10	5232,05	6220,28	6199,45	4027,76	8194,84	43785,10	22,87
kovas	1914,3	8495,18	5121,10	5175,57	6611,18	6572,37	4128,38	7526,09	43629,87	22,79
balandis	1913,4	8412,54	5550,13	5735,17	6969,26	6930,11	4190,95	7537,50	45325,66	23,69
gegužė	1913,9	8594,39	5462,05	5607,27	6342,14	6179,93	4099,02	7329,60	43614,40	22,79
birželis	1916,3	8488,77	5521,96	5682,63	6146,82	6045,12	4159,27	8432,78	44477,35	23,21
liepa	1912,7	8345,39	5465,86	5517,97	6161,16	5998,21	4137,10	7918,43	43544,12	22,77
rugpjūtis	1921,6	8357,71	5528,08	5570,75	5998,86	5969,54	4192,64	7853,65	43471,23	22,62
rugsėjis	1921,6	8256,18	5488,23	5499,73	6083,56	5782,77	4185,58	8503,60	43799,65	22,79
spalis	1922,7	8462,53	5544,91	5649,17	6008,11	5909,90	4176,11	8055,32	43806,05	22,78
lapkritis	1921,7	8595,14	5418,44	5461,44	5857,24	5769,84	4094,05	7589,12	42785,27	22,26
gruodis	1921,7	8591,13	5375,74	5340,60	5858,36	5806,41	4197,87	7880,65	43050,76	22,40
Suma	23002,5	102234,90	64789,34	65616,16	74464,93	73206,41	49597,90	93792,90	523702,38	22,77
Vidurkis		4,44	2,82	2,85	3,24	3,18	2,16	4,08		

8 lentelė 2018 metų kelmačiu patikrintų geležinkelių kelių kiekvieno kilometro kokybinis būklės įvertinimas.

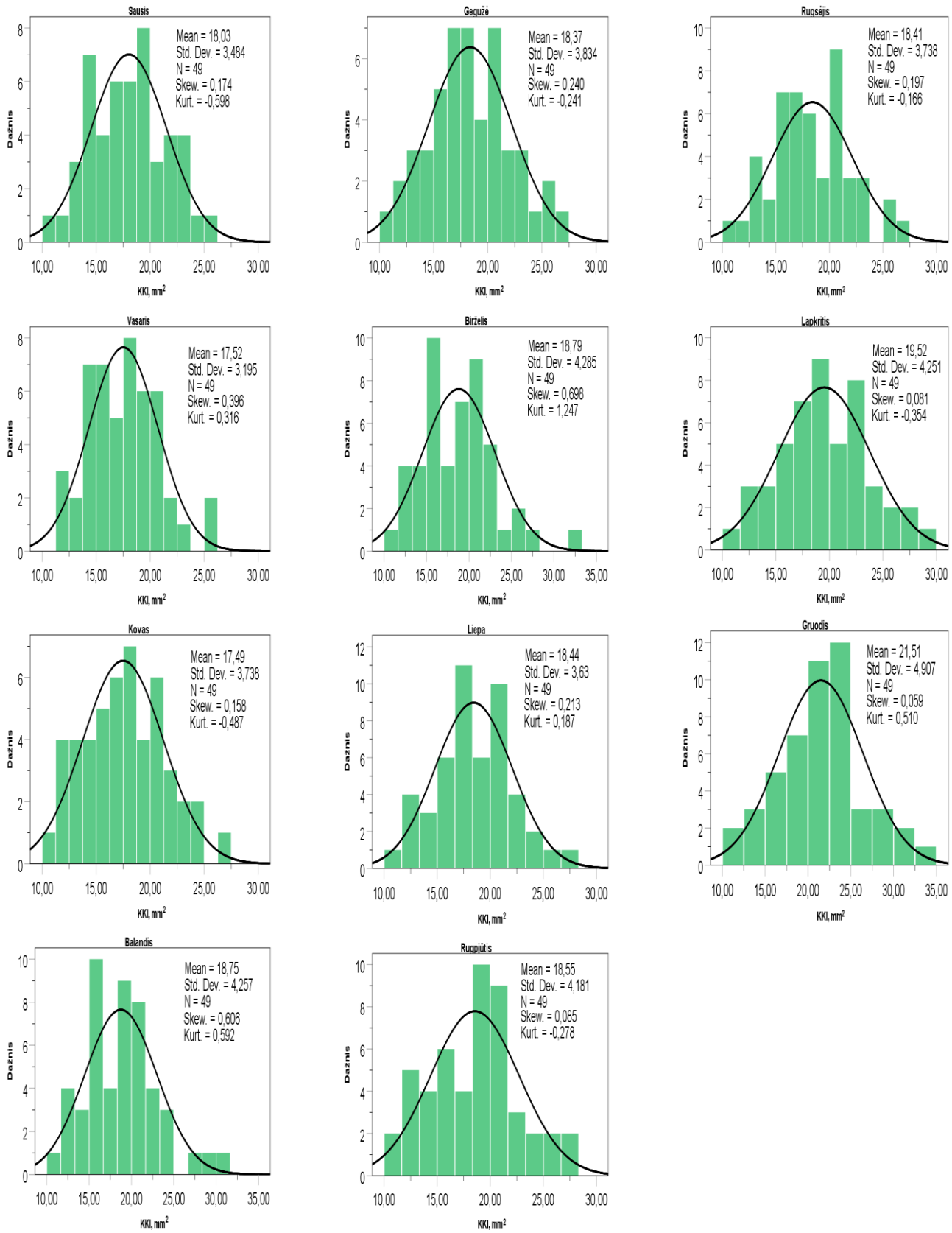
Kilometrų kokybinis būklės įvertinimas	Labai gerai	Gerai	Patenkinamai	Blogai
sausis	999,3	834,9	69,0	25,0
vasaris	985,2	814,4	66,4	48,4
kovas	941,9	878,2	66,6	27,6
balandis	882,2	889,0	105,8	36,4
gegužė	962,7	835,2	89,4	26,6
birželis	967,3	826,0	75,0	48,0
liepa	973,0	823,8	81,9	34,0
rugpjūtis	979,0	836,6	74,0	32,0
rugsėjis	1009,0	802,9	64,3	45,4
spalis	988,4	839,0	53,3	42,0
lapkritis	1011,6	813,8	65,3	31,0
gruodis	1003,2	831,3	53,2	34,0
SUMA	11702,8	10005,1	864,2	430,4



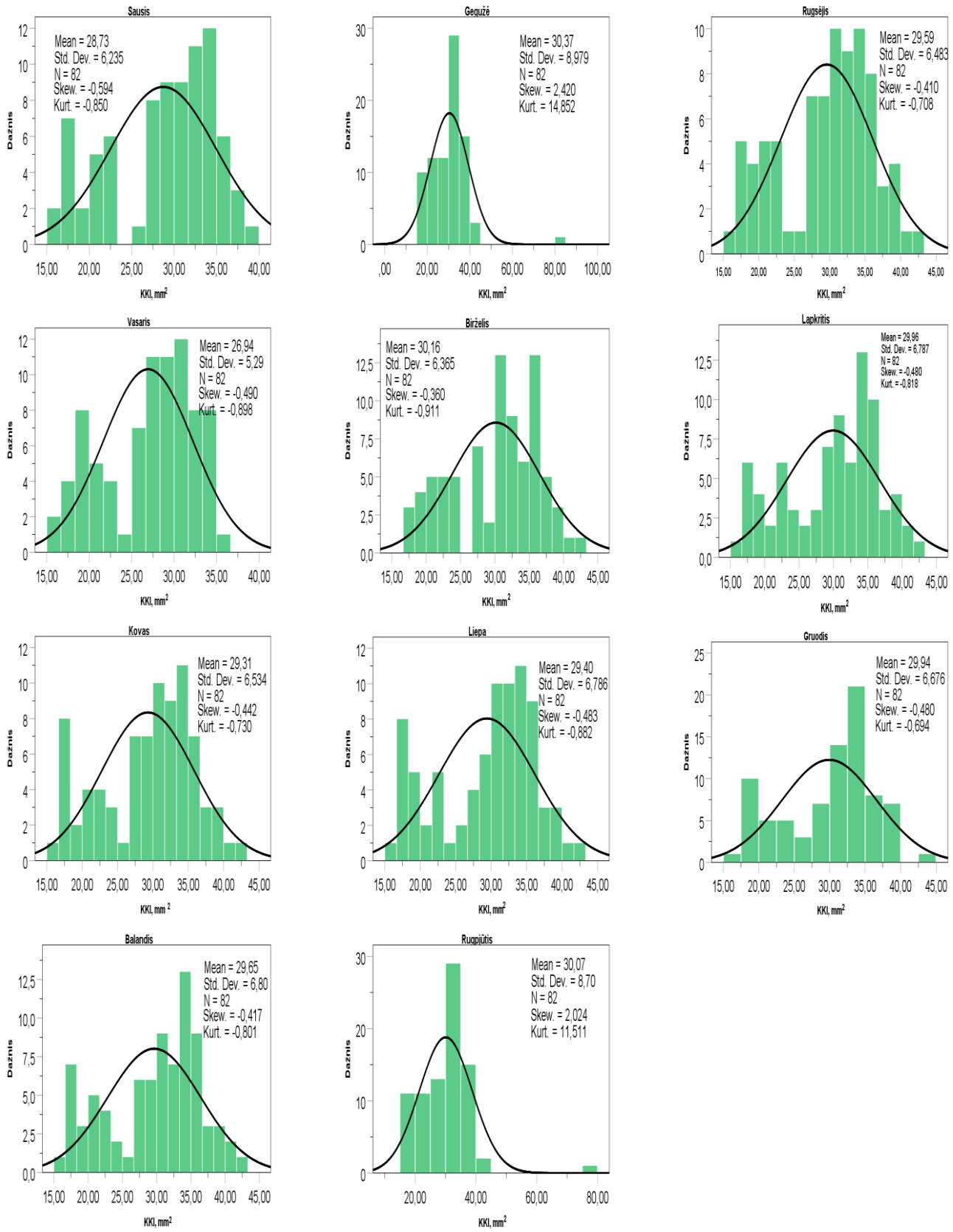
1.Vilnius-Klaipėda I pagrindinio geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



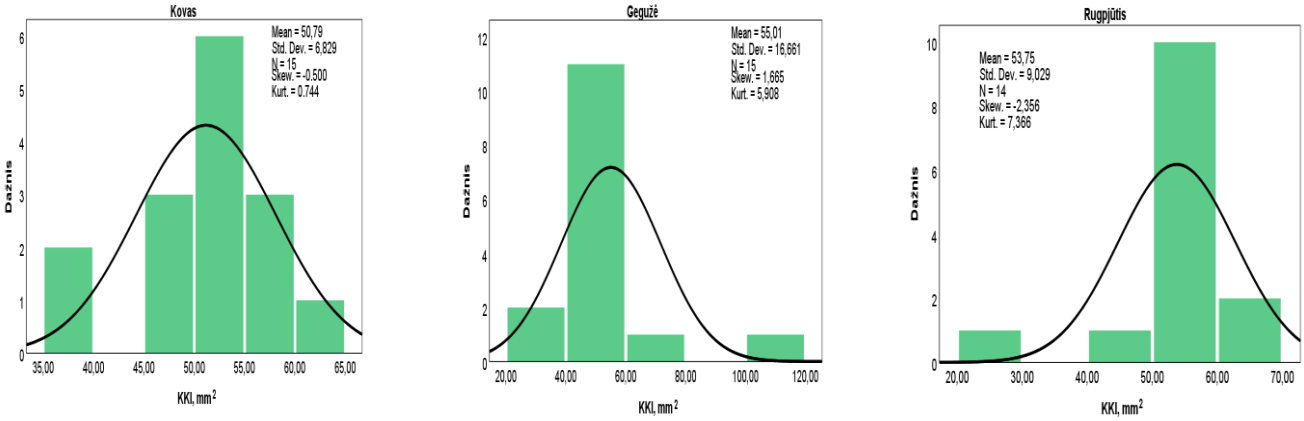
2.Vilnius-Klaipėda II pagrindinio geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



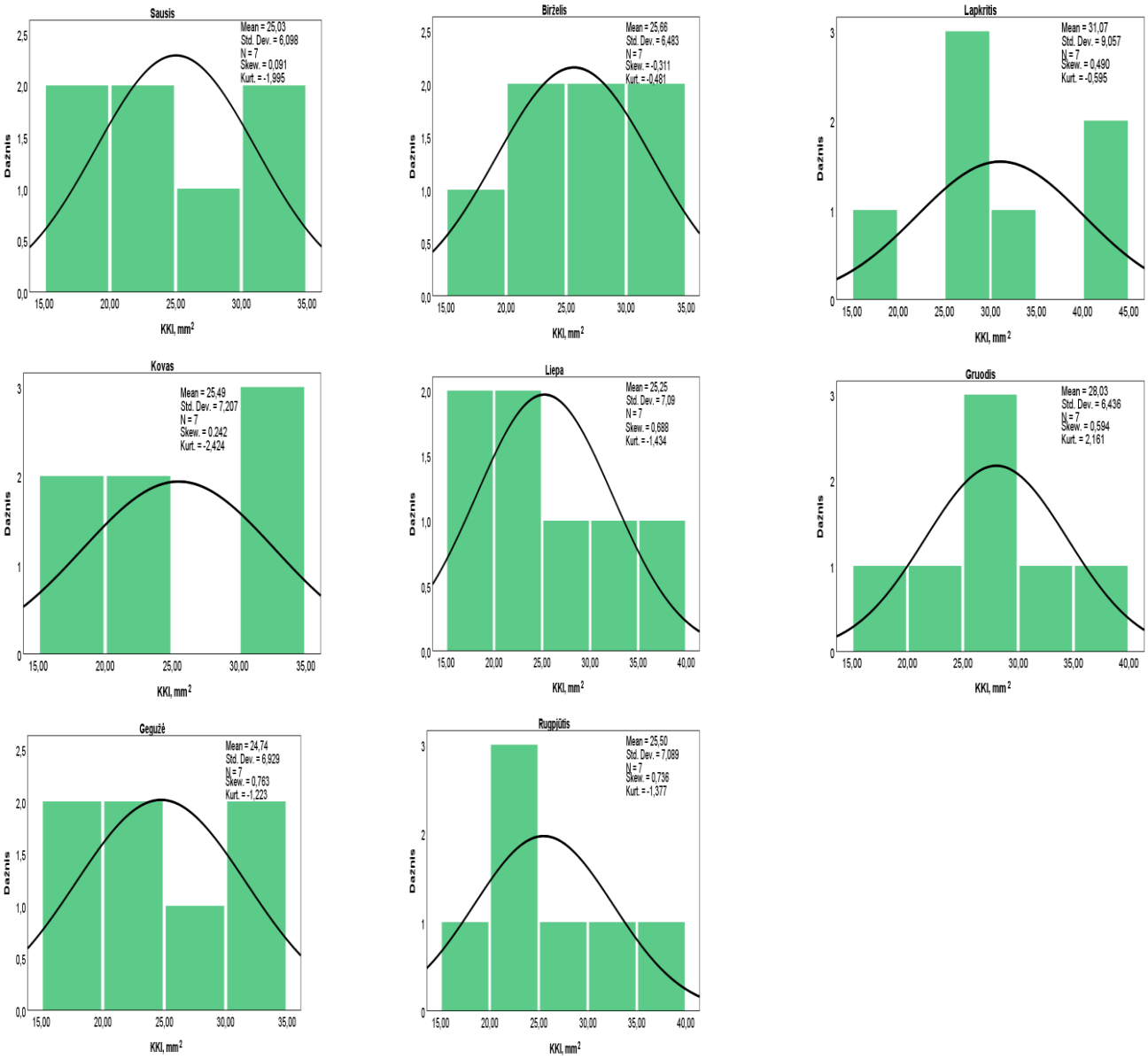
3.Vilnius-Stasylos geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



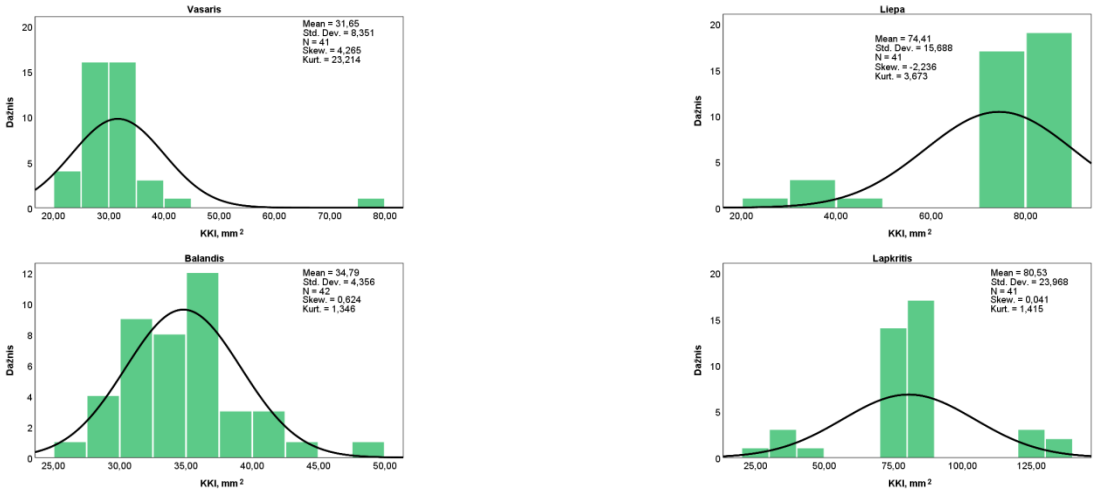
4.Lentvaris-Marcinkonys geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



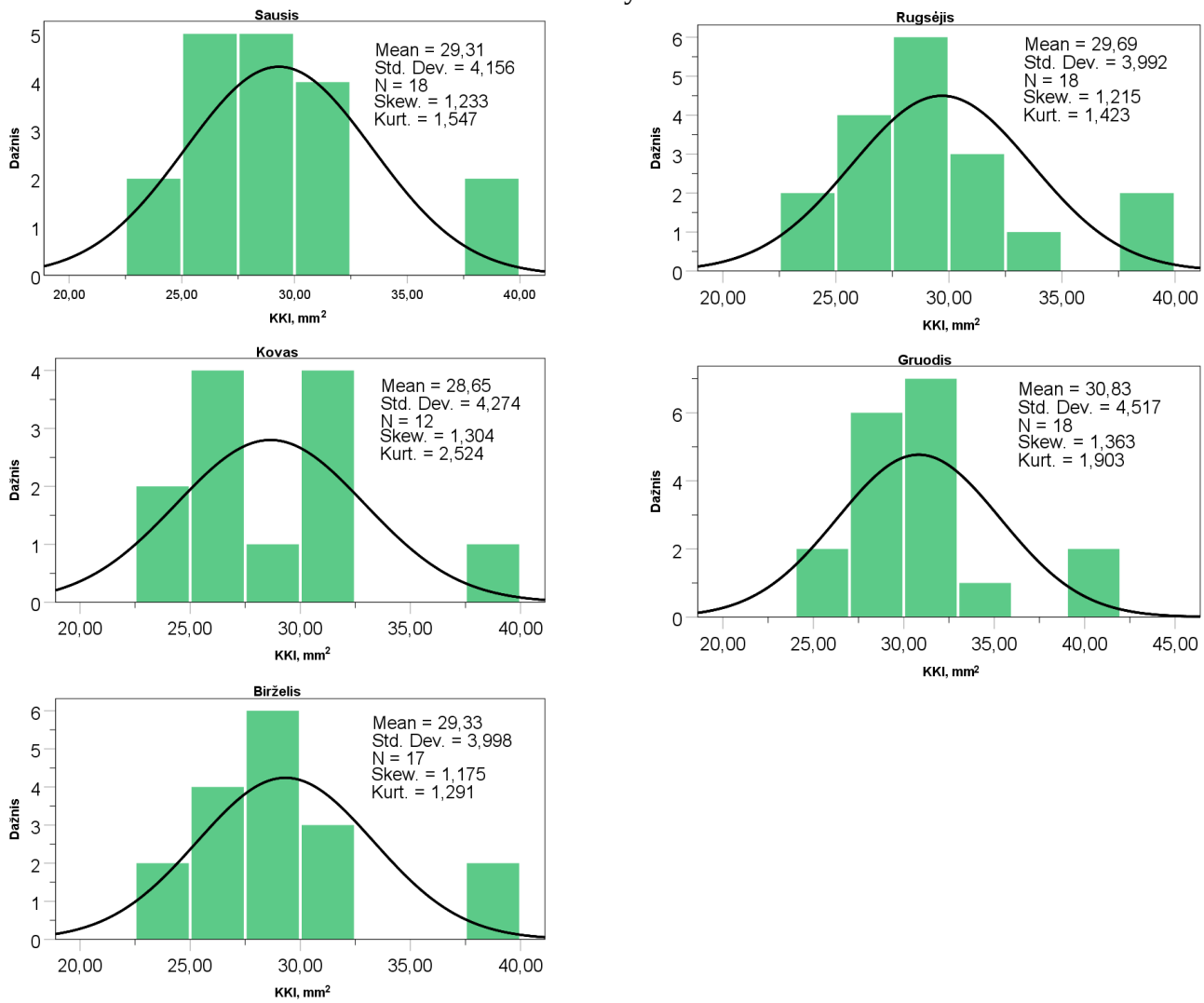
5.Kretinga-Darbėnai geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



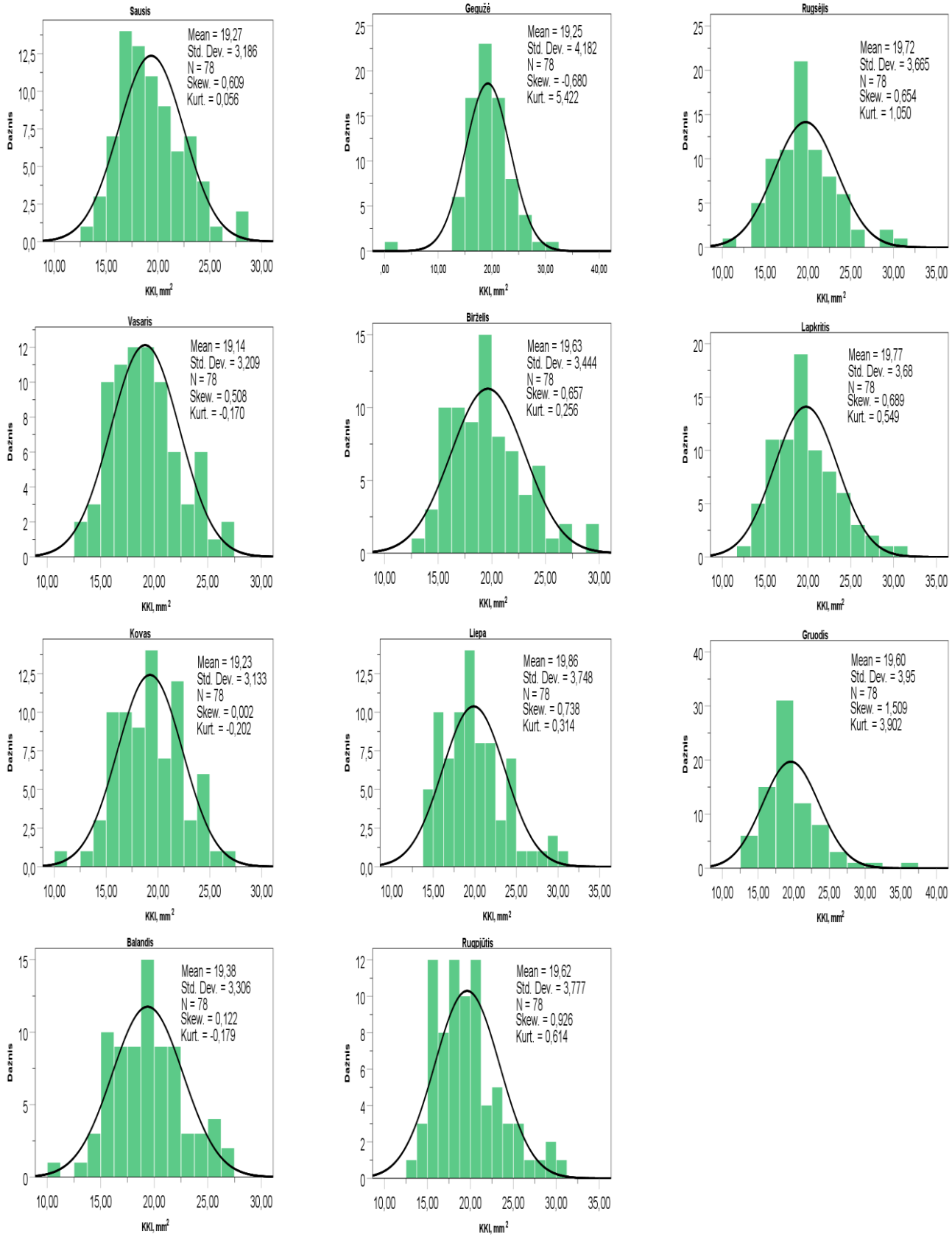
6.Rimkai-Draugystė geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



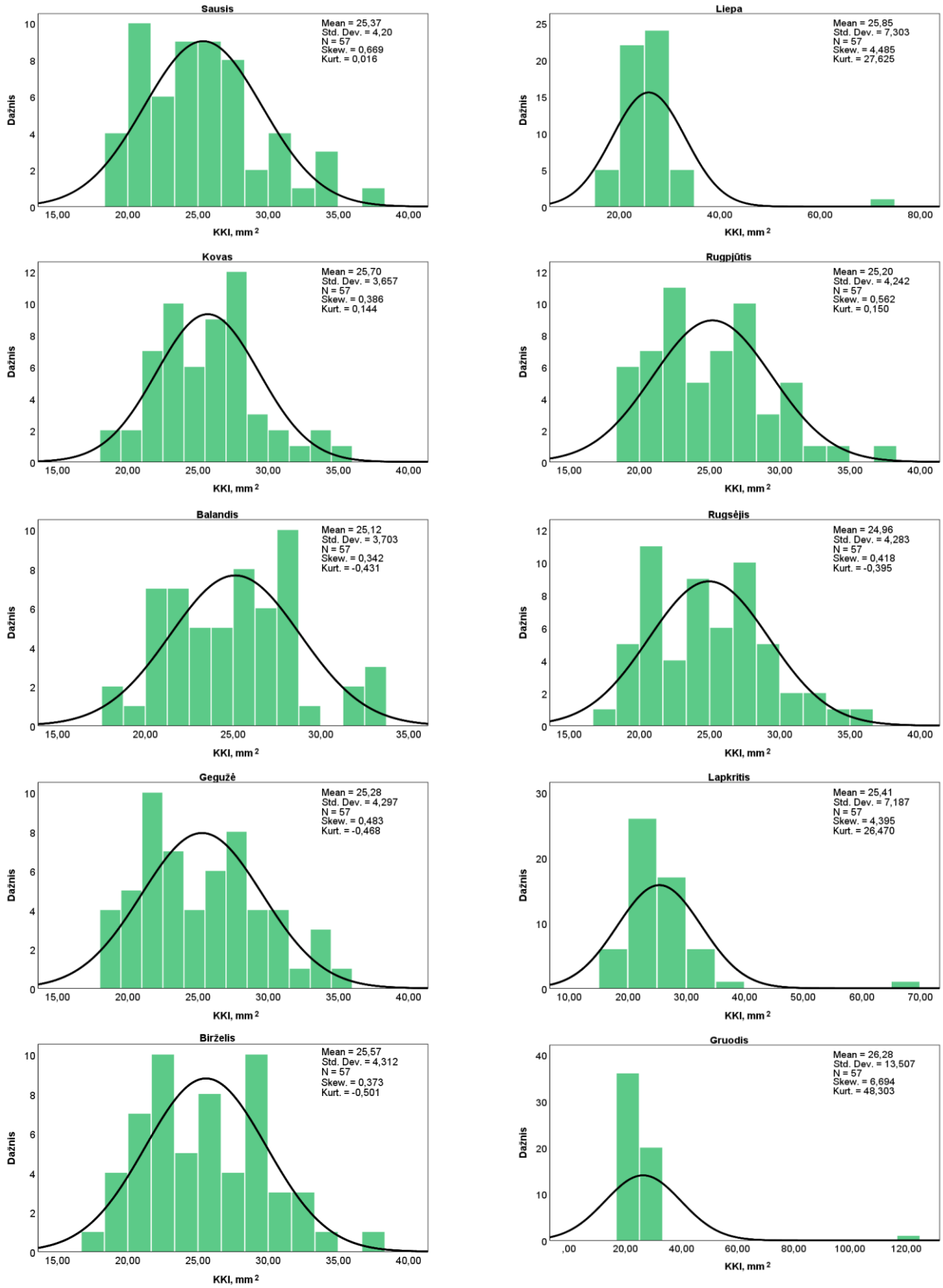
7.Radviliškis-Pakruojis geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



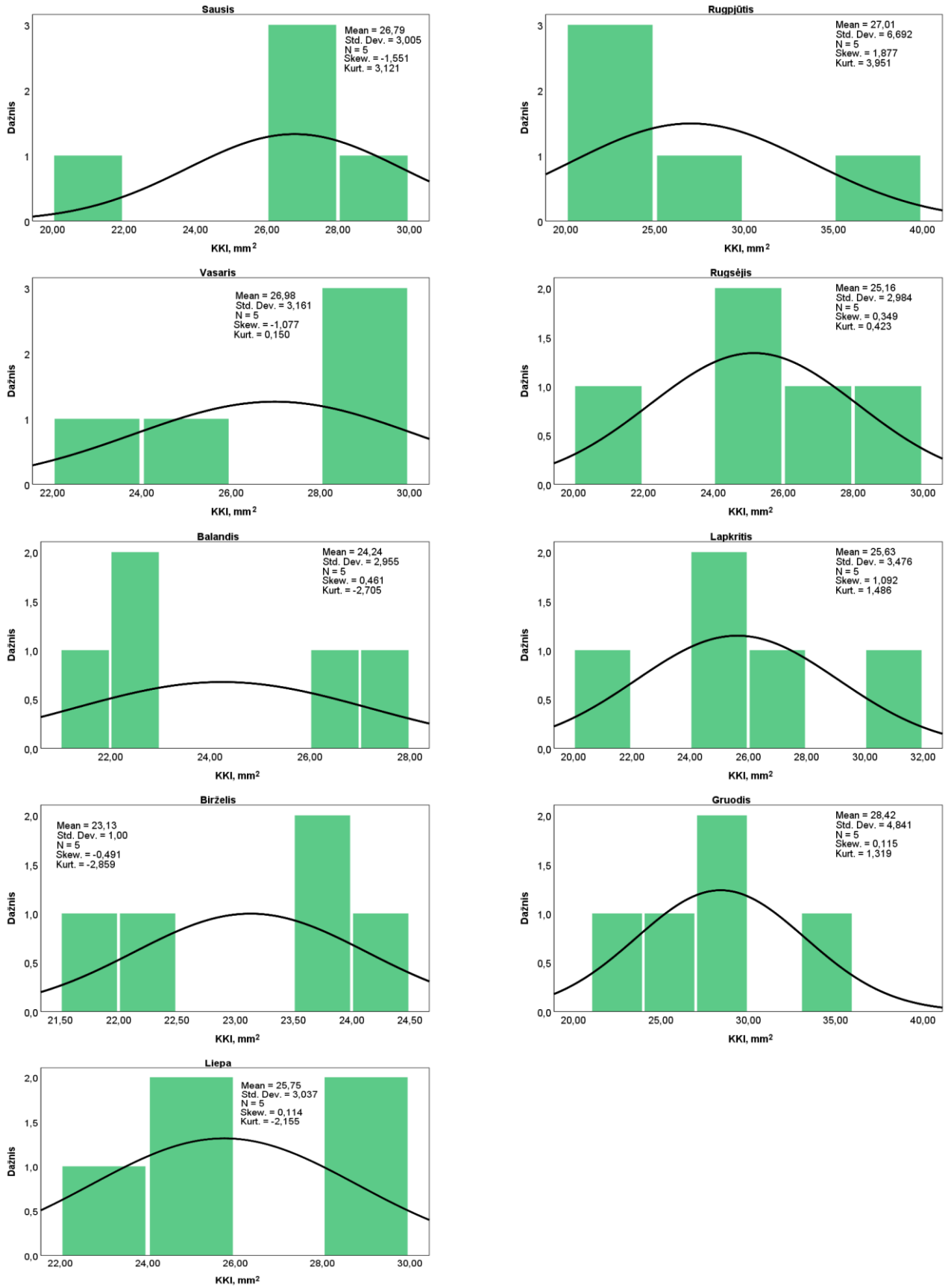
8.Akmenė-Karpėnai geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



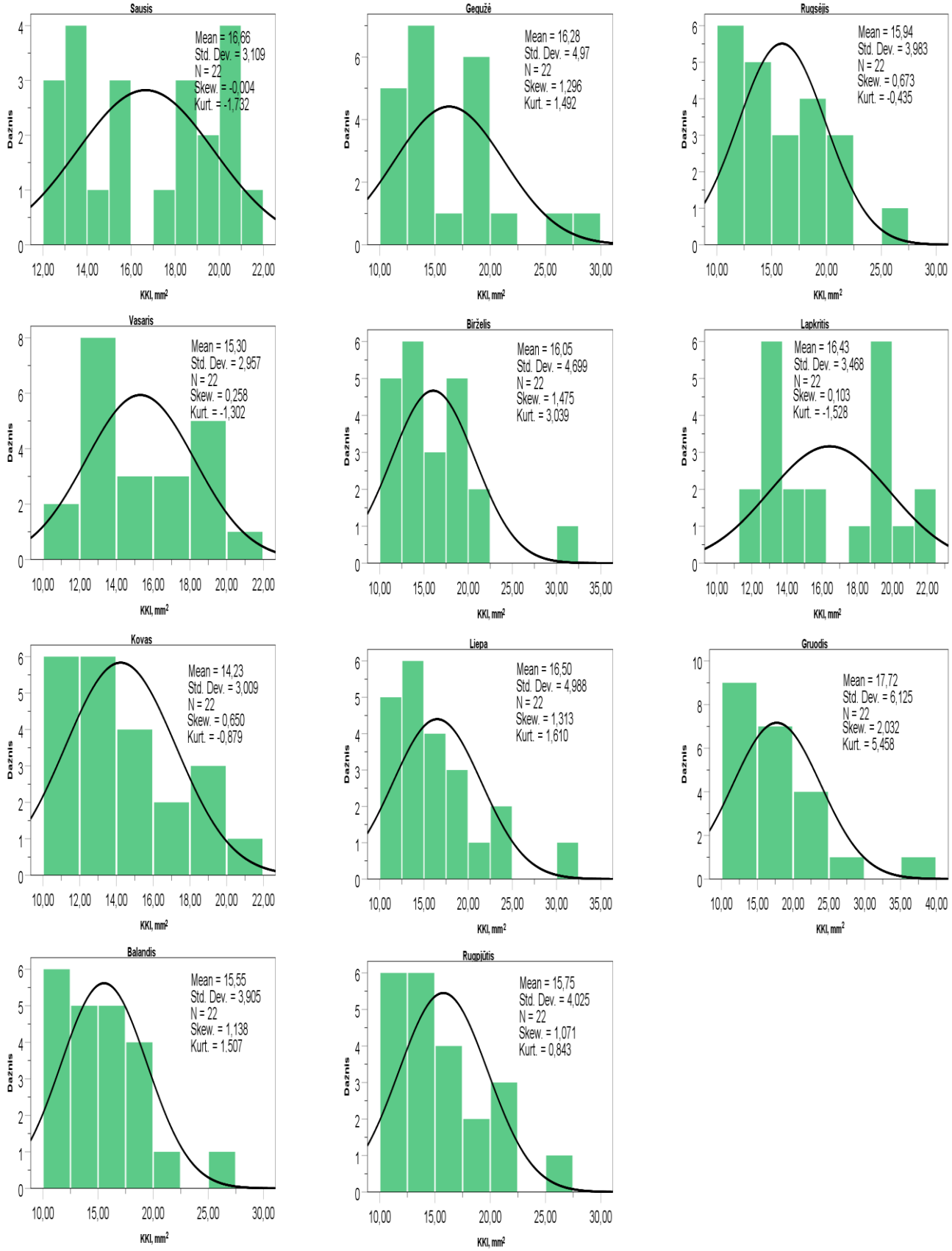
9.Kružiai-Mažeikiai geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



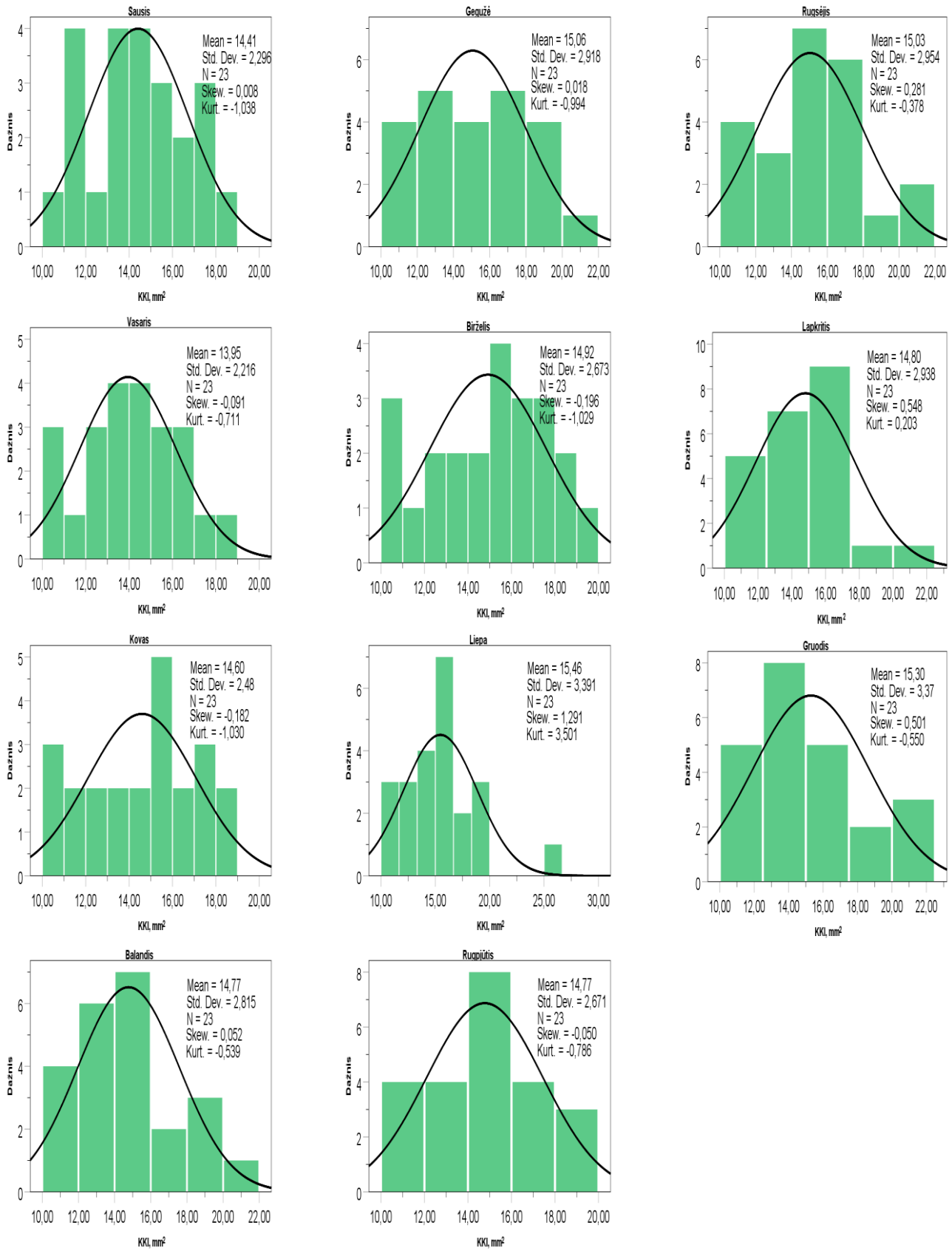
10.Šiauliai-Joniškis geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



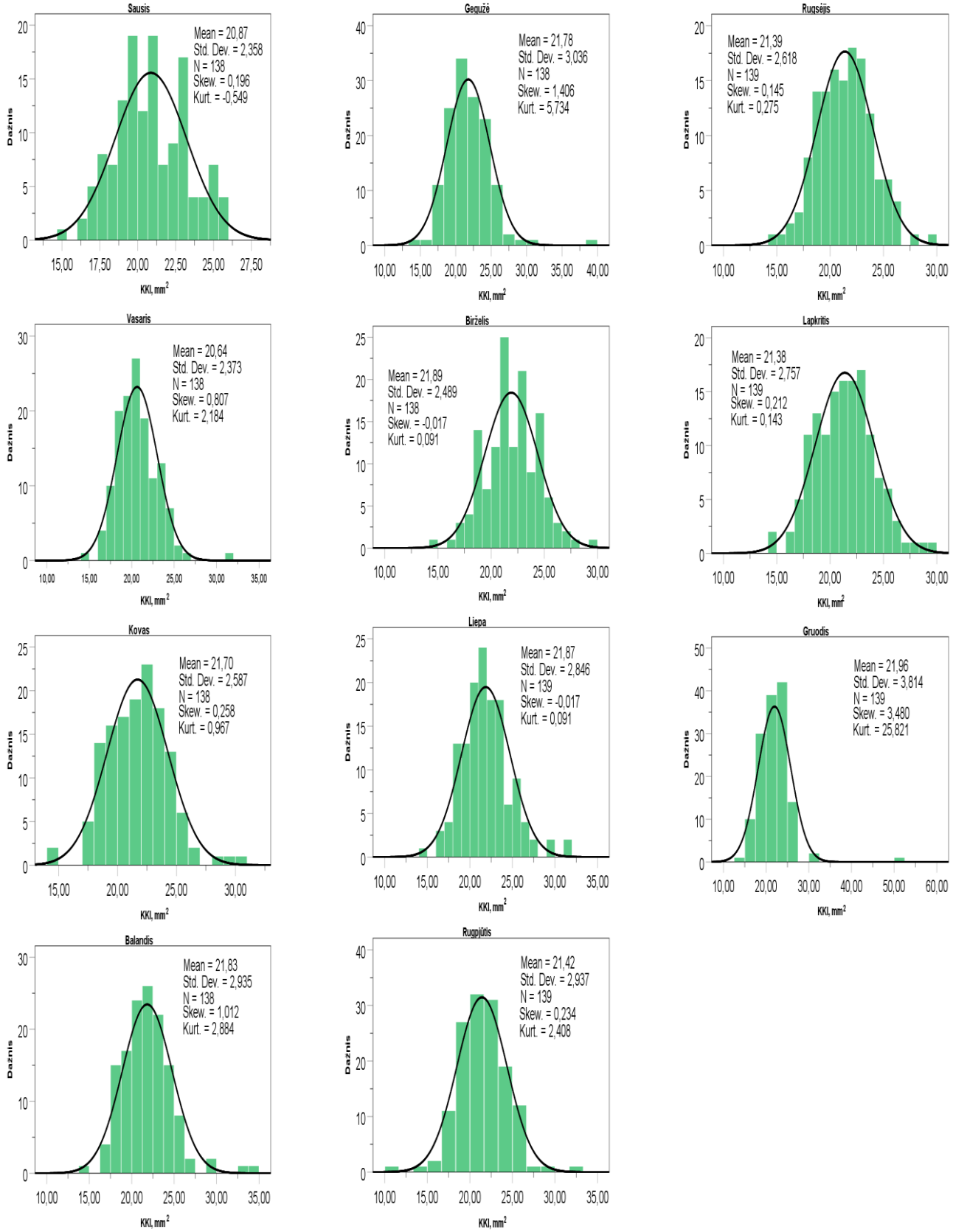
11.Jonaitiškis-Šilėnai geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



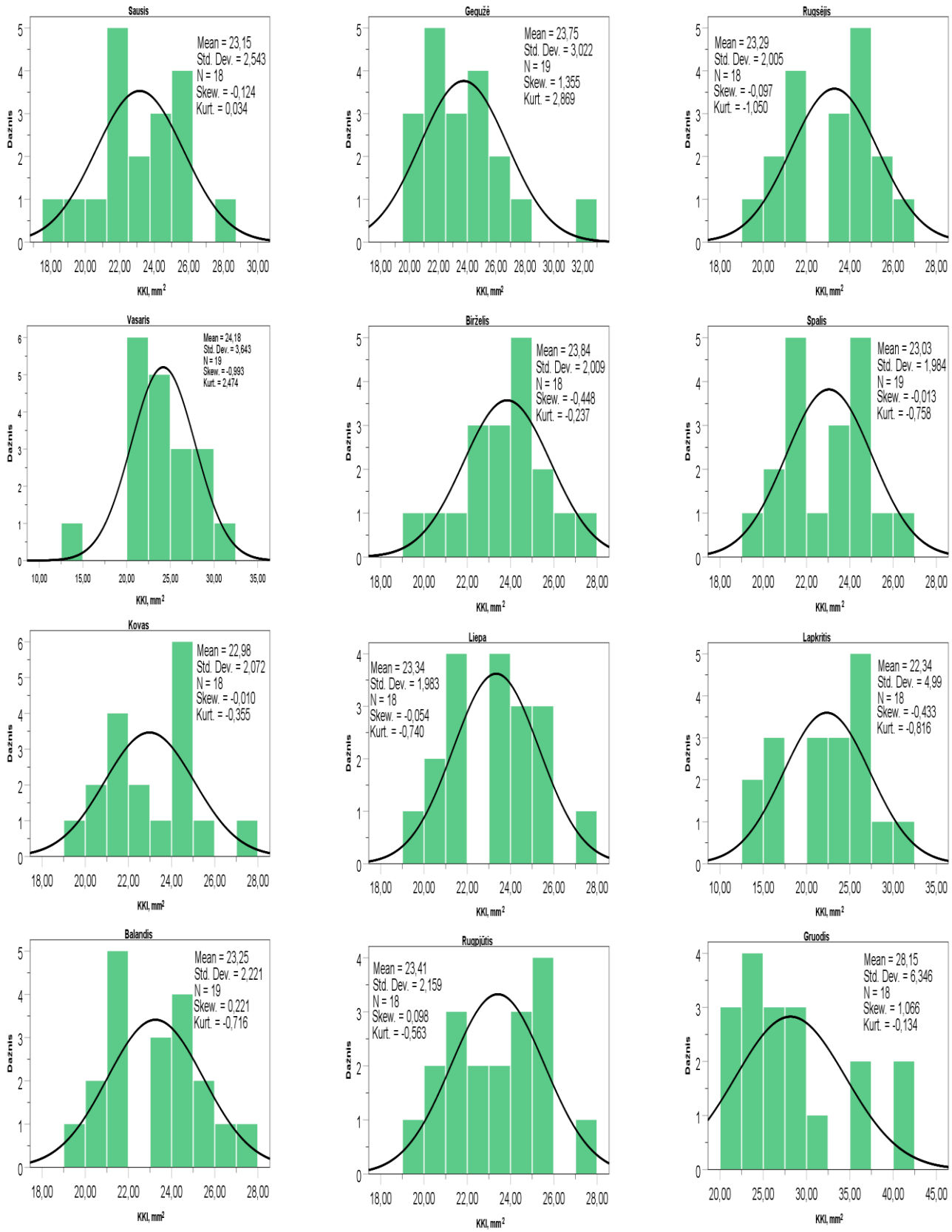
12.Kyviškės-Valčiūnai I pagrindinio kelio 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



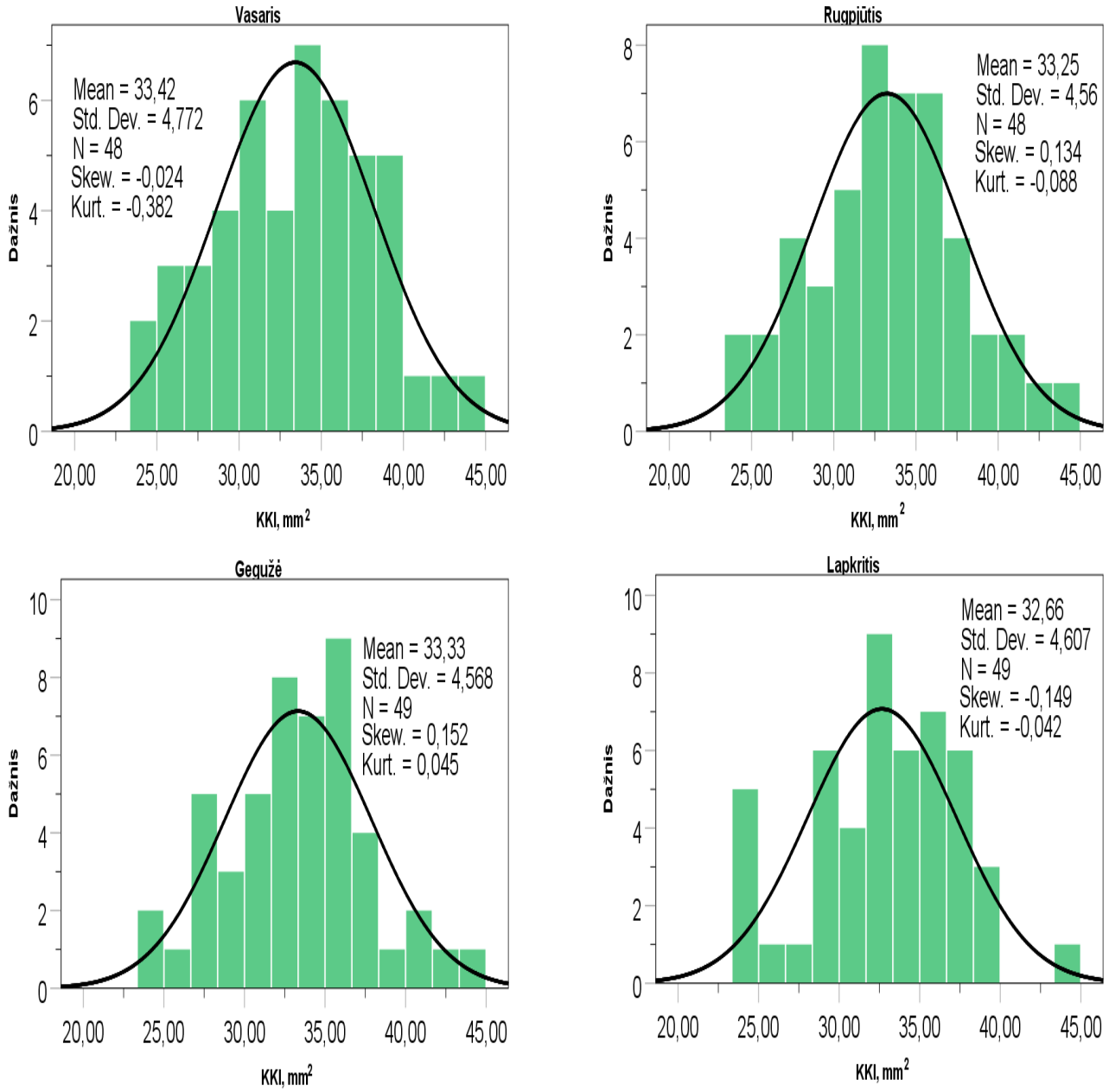
13.Kyviškės-Valčiūnai II pagrindinio kelio 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



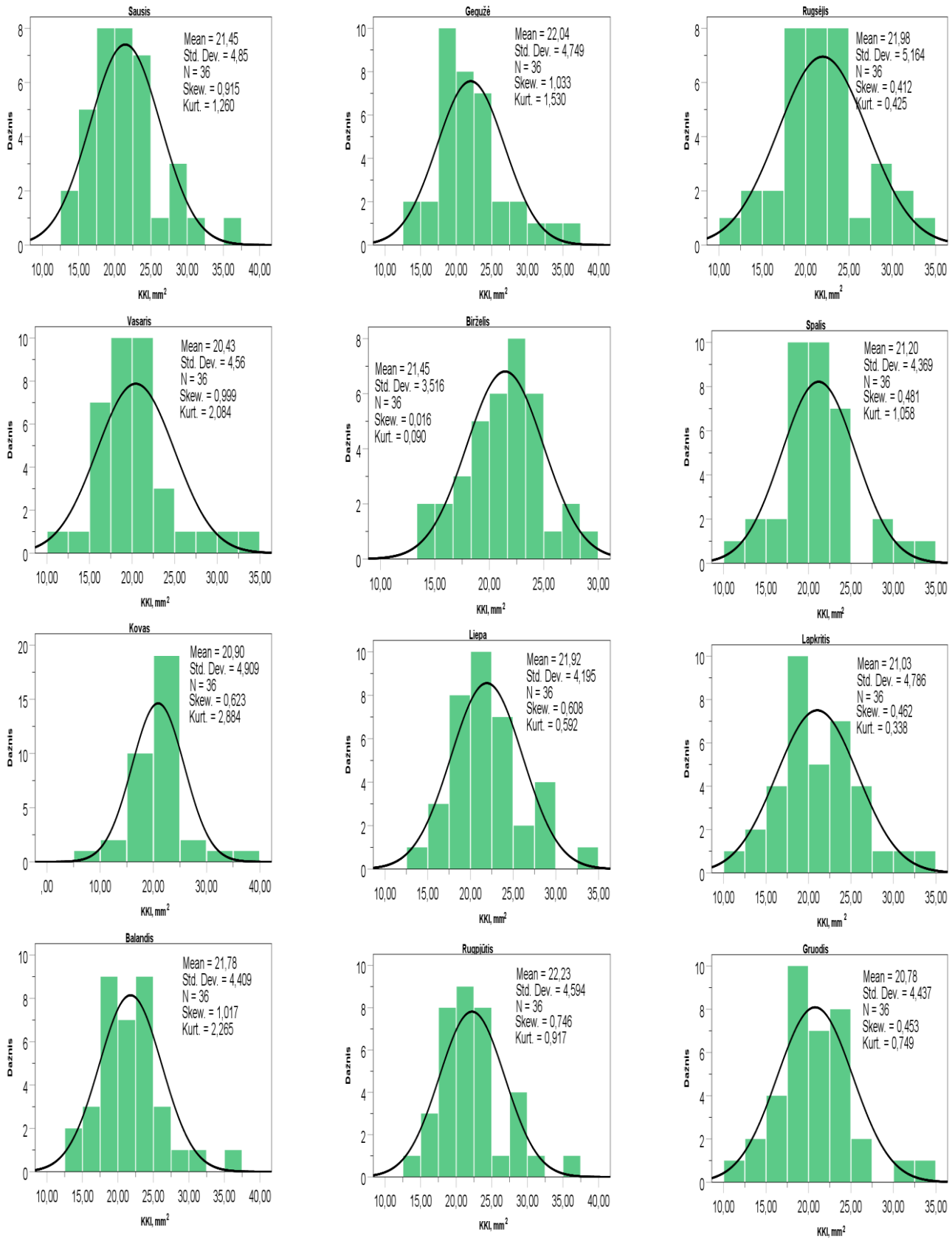
14.Naujoji Vilnia-Turmantas I pagrindinio kelio 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



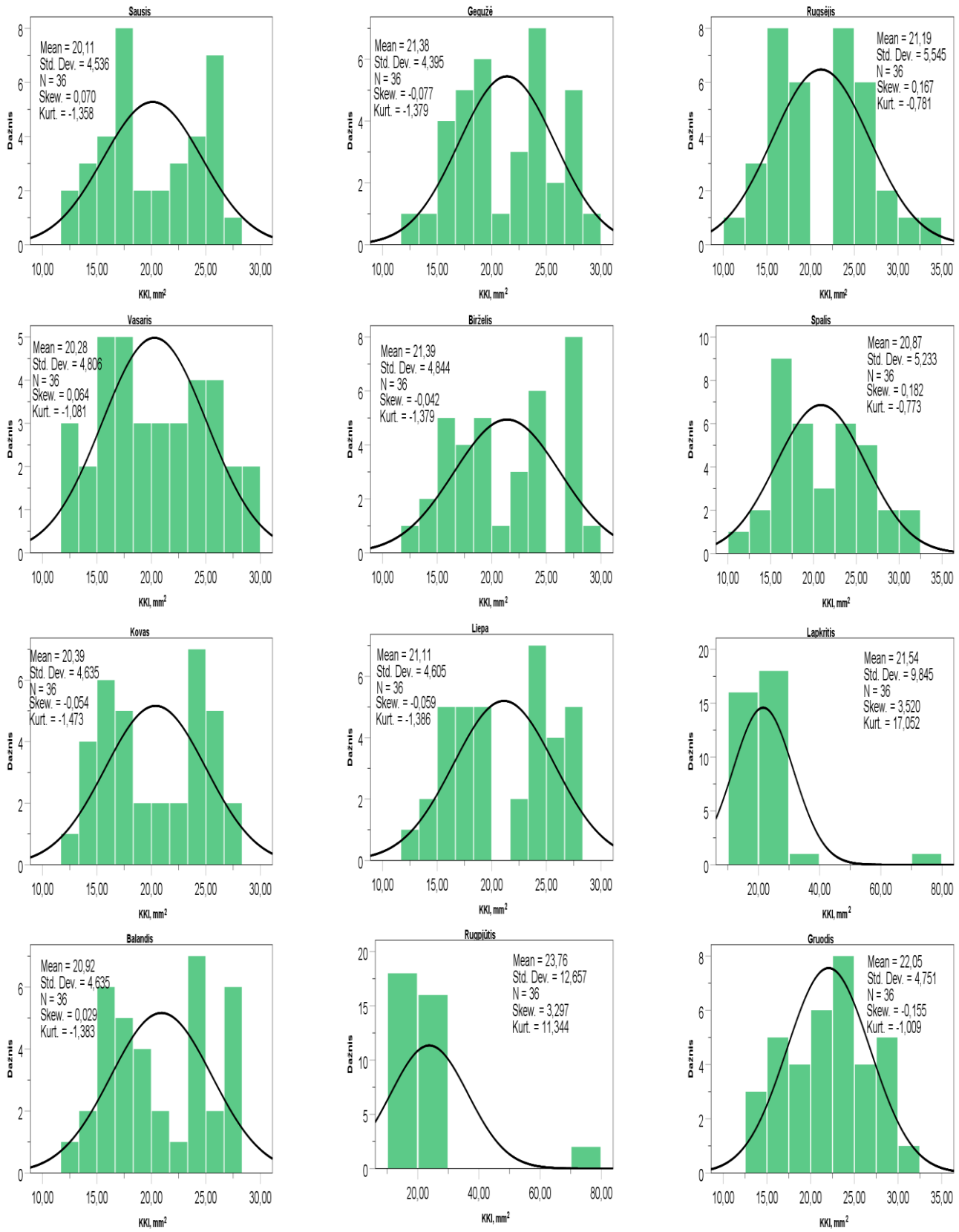
15.Naujoji Vilnia-Turmantas II pagrindinio kelio 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



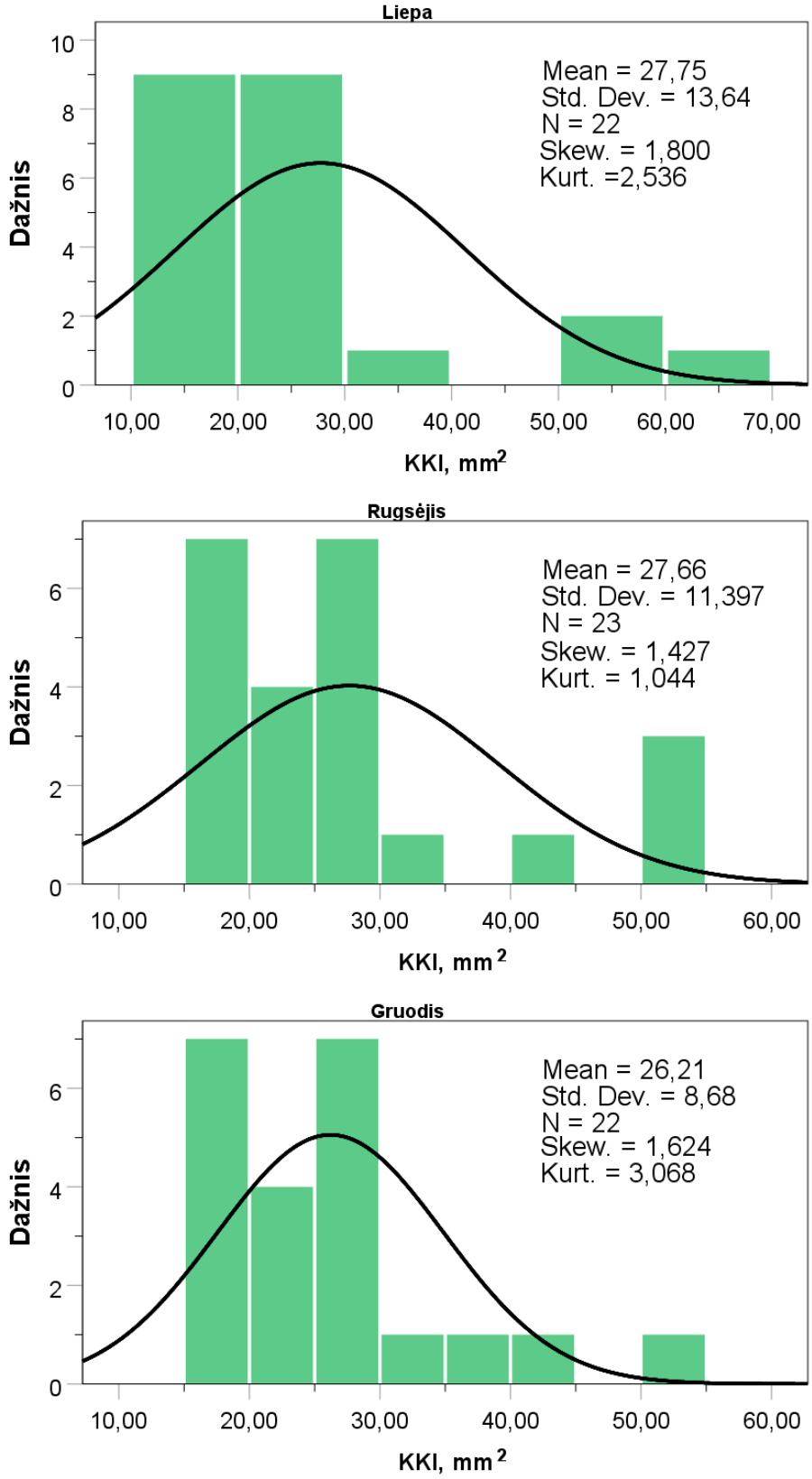
16.Švenčionėliai-Utena geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



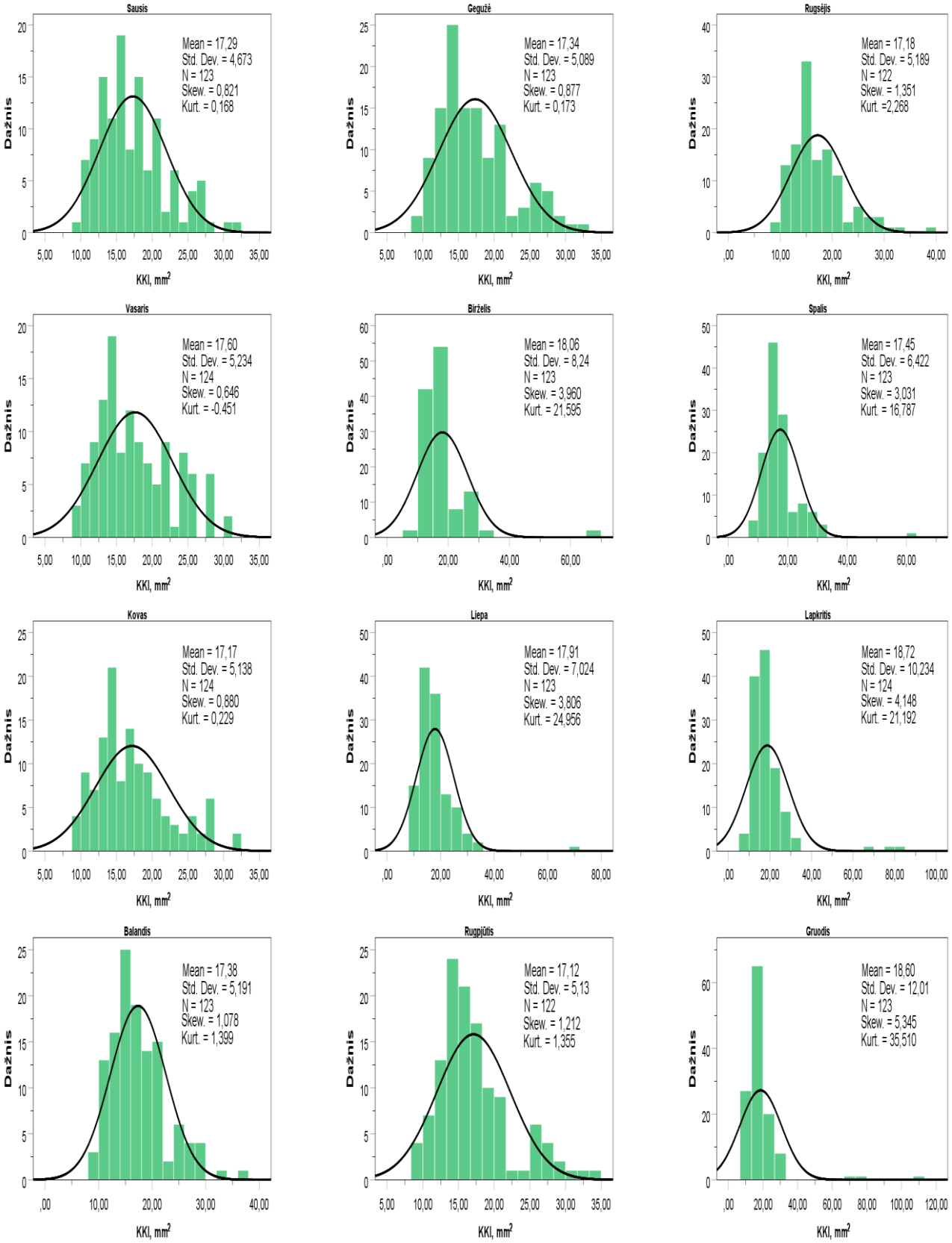
17.Vilnius-Kena I pagrindinio kelio 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



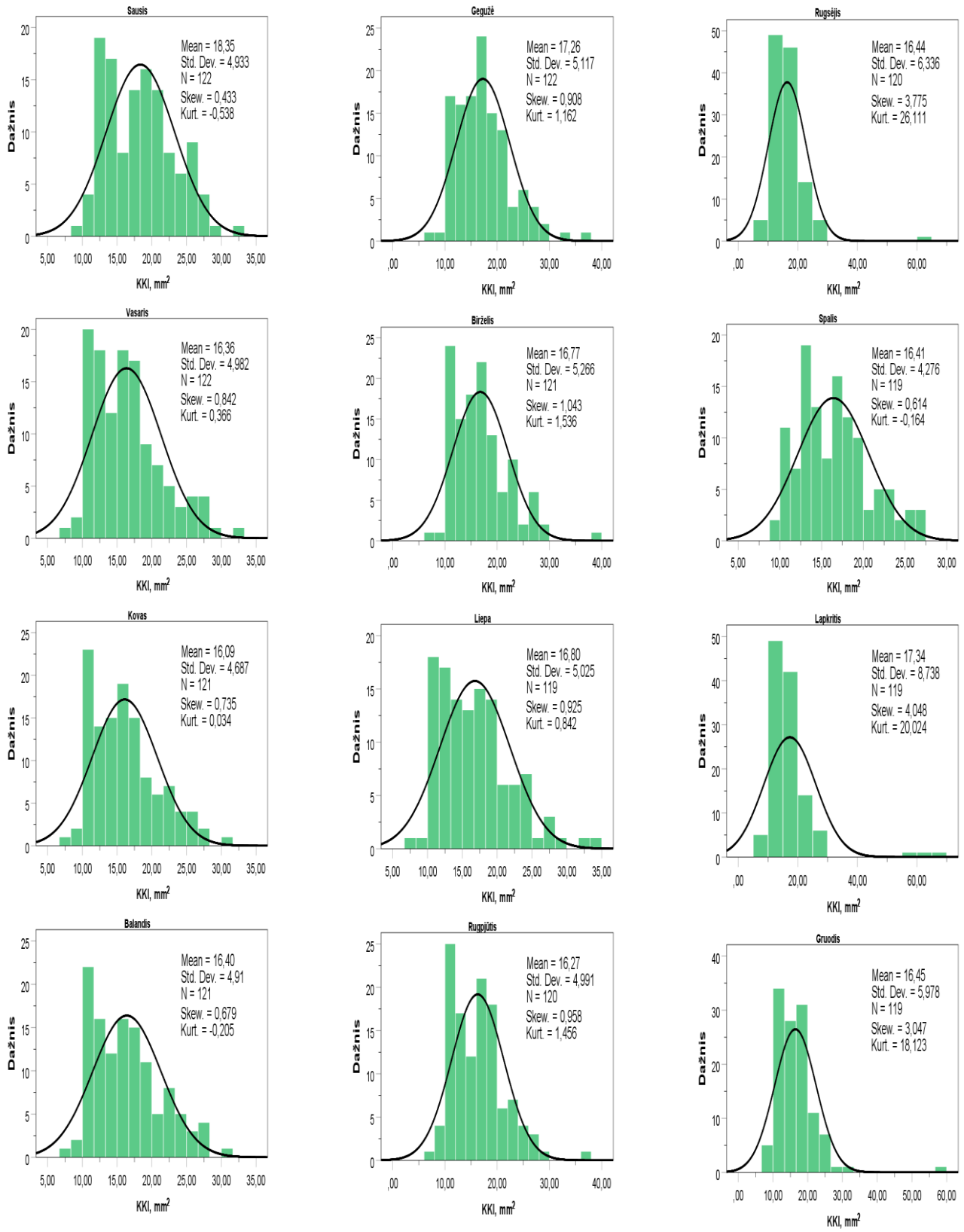
18.Vilnius-Kena II pagrindinio kelio 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



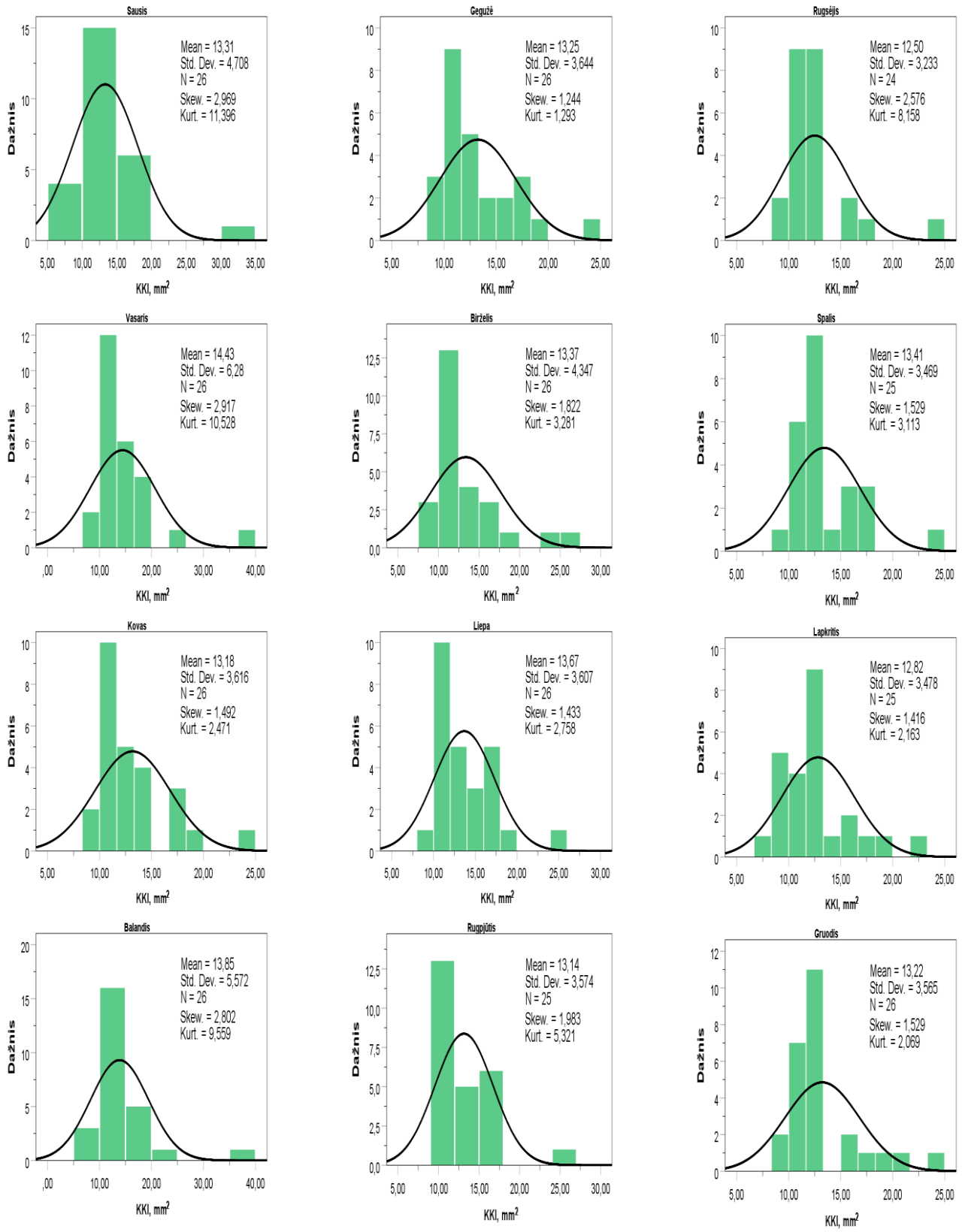
19.Jonava-Rizgonys geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



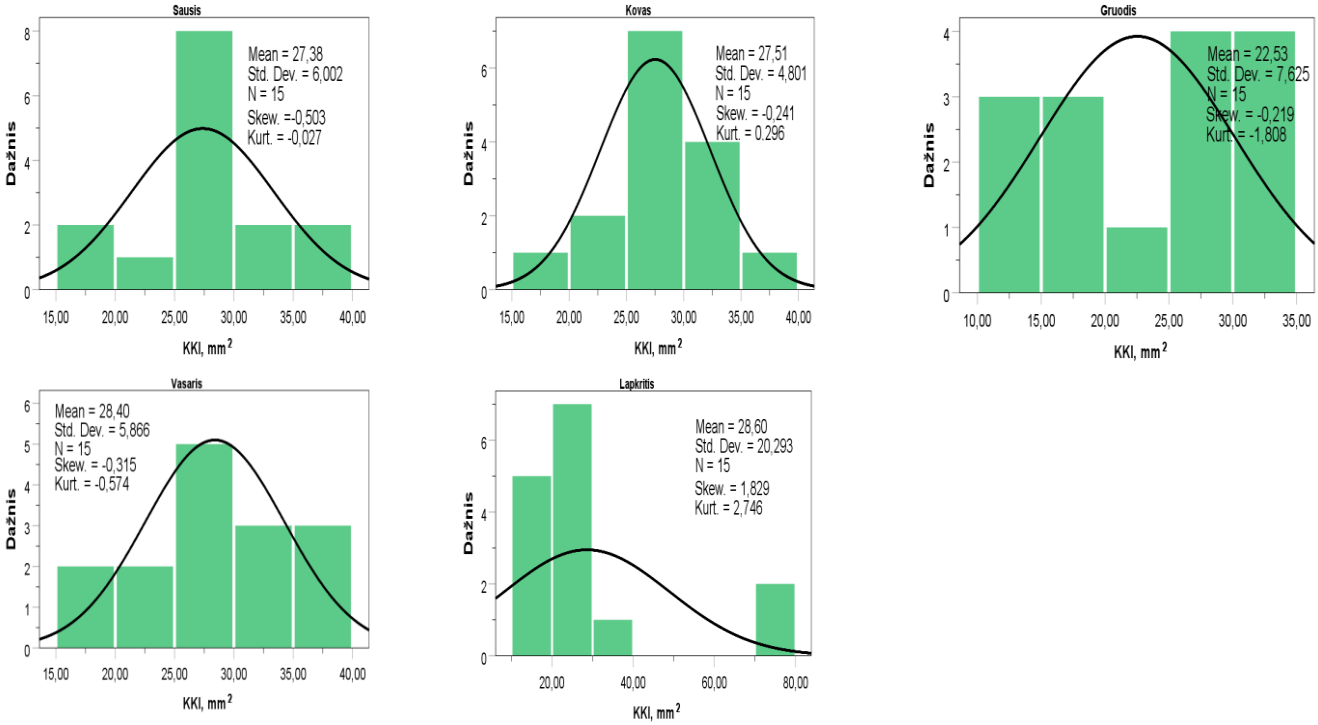
20.Kaišiadorys-Kybartai I pagrindinio kelio 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



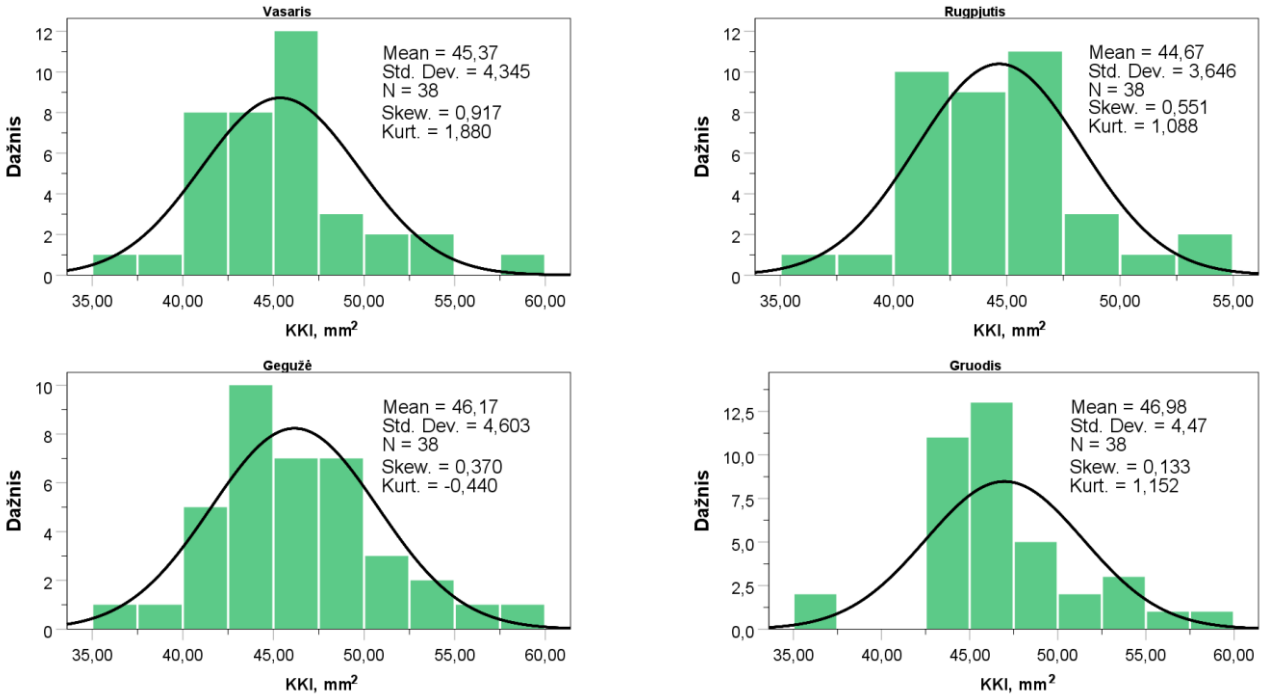
21.Kaišiadorys-Kybartai II pagrindinio kelio 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



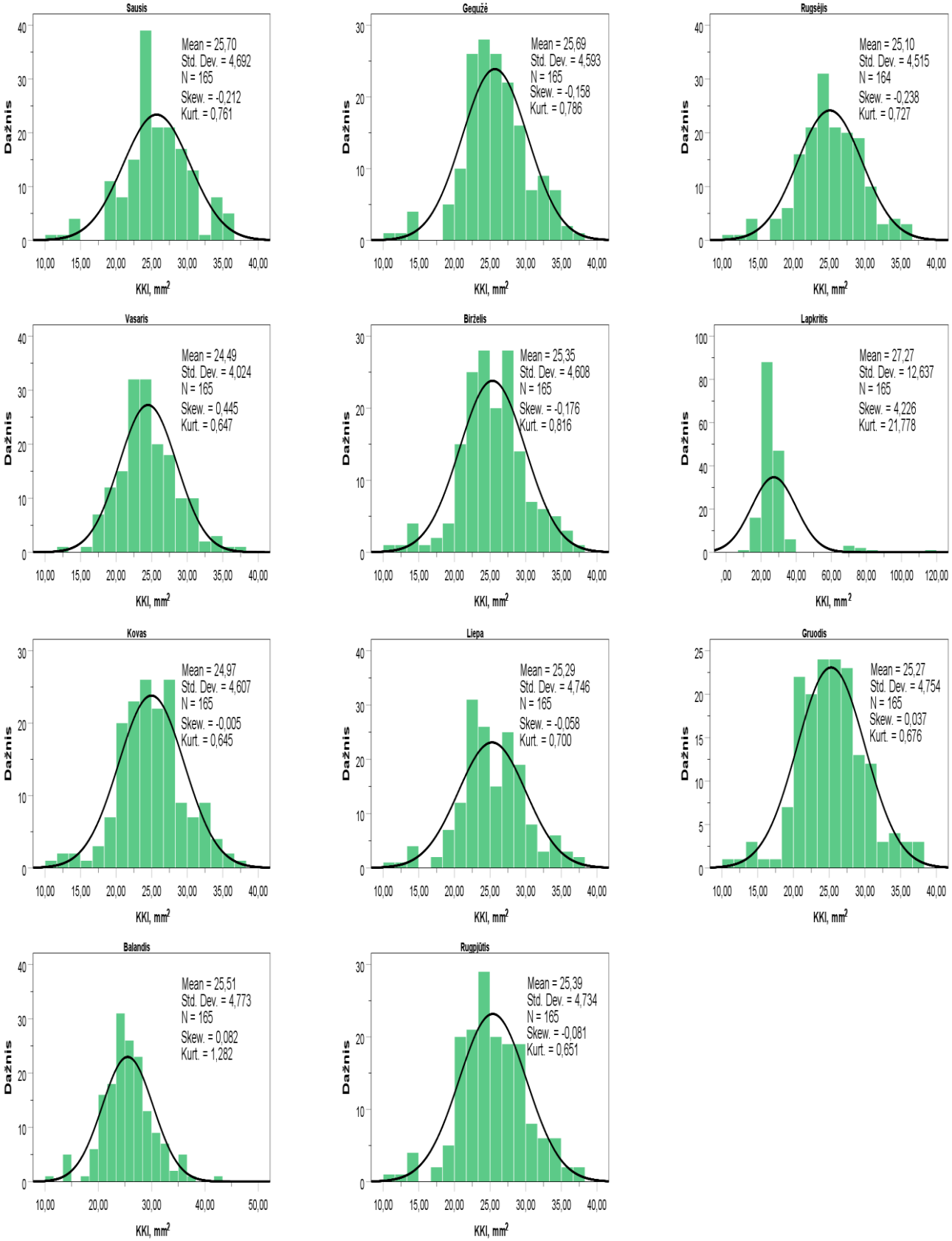
22.Palemonas-Gaižiūnai geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



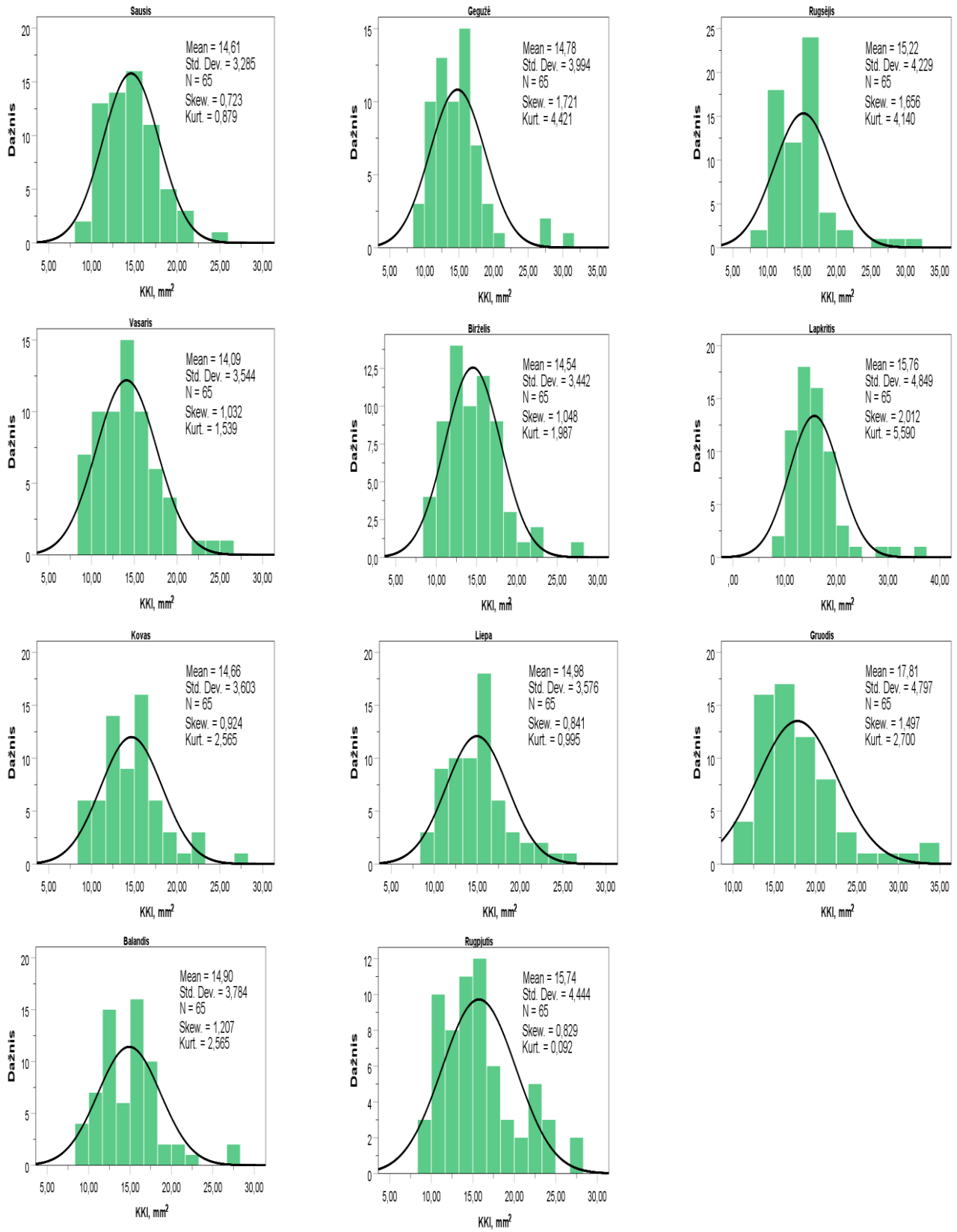
23.Palemonas-Jiesia geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



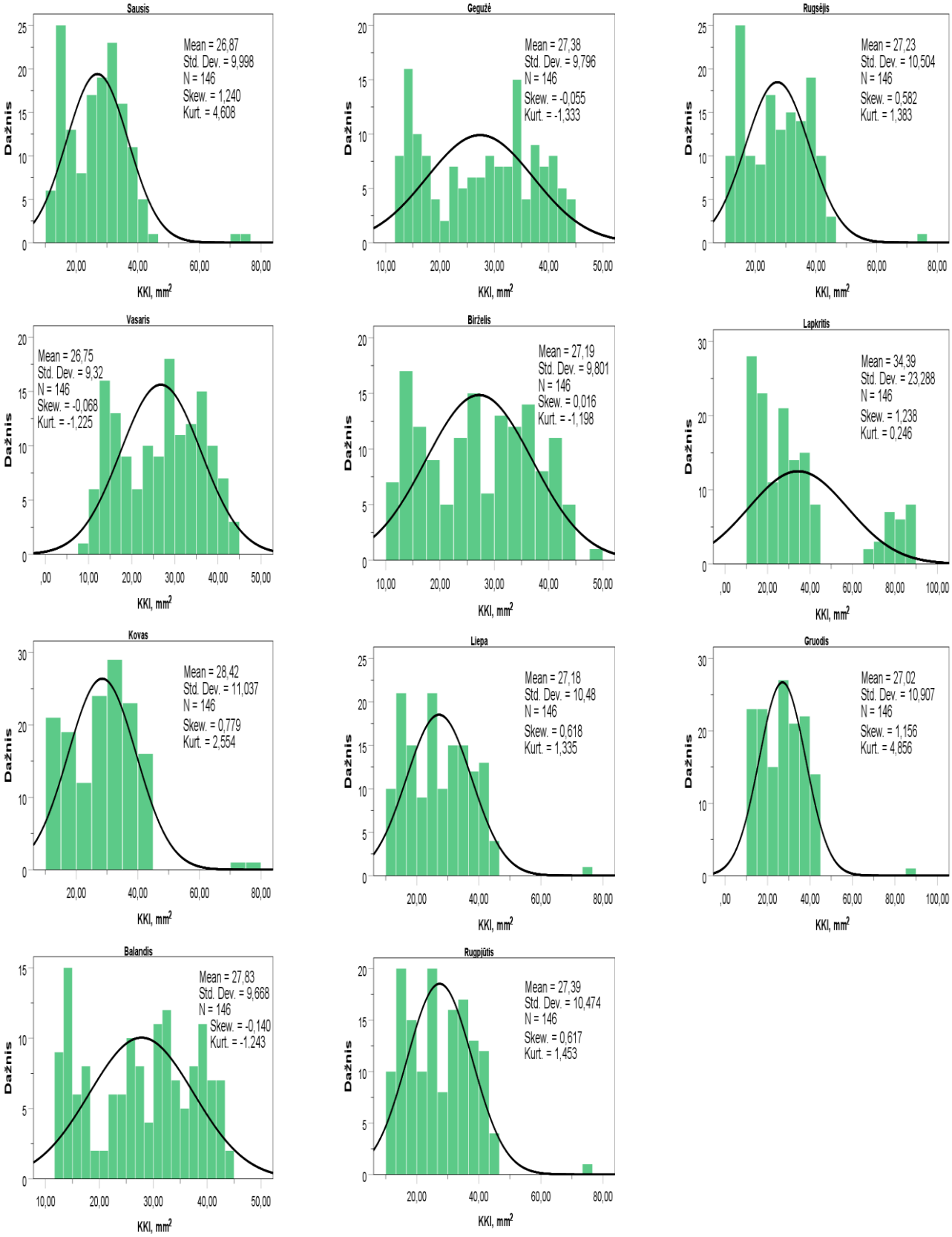
24.Alytus-Šeštokai geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



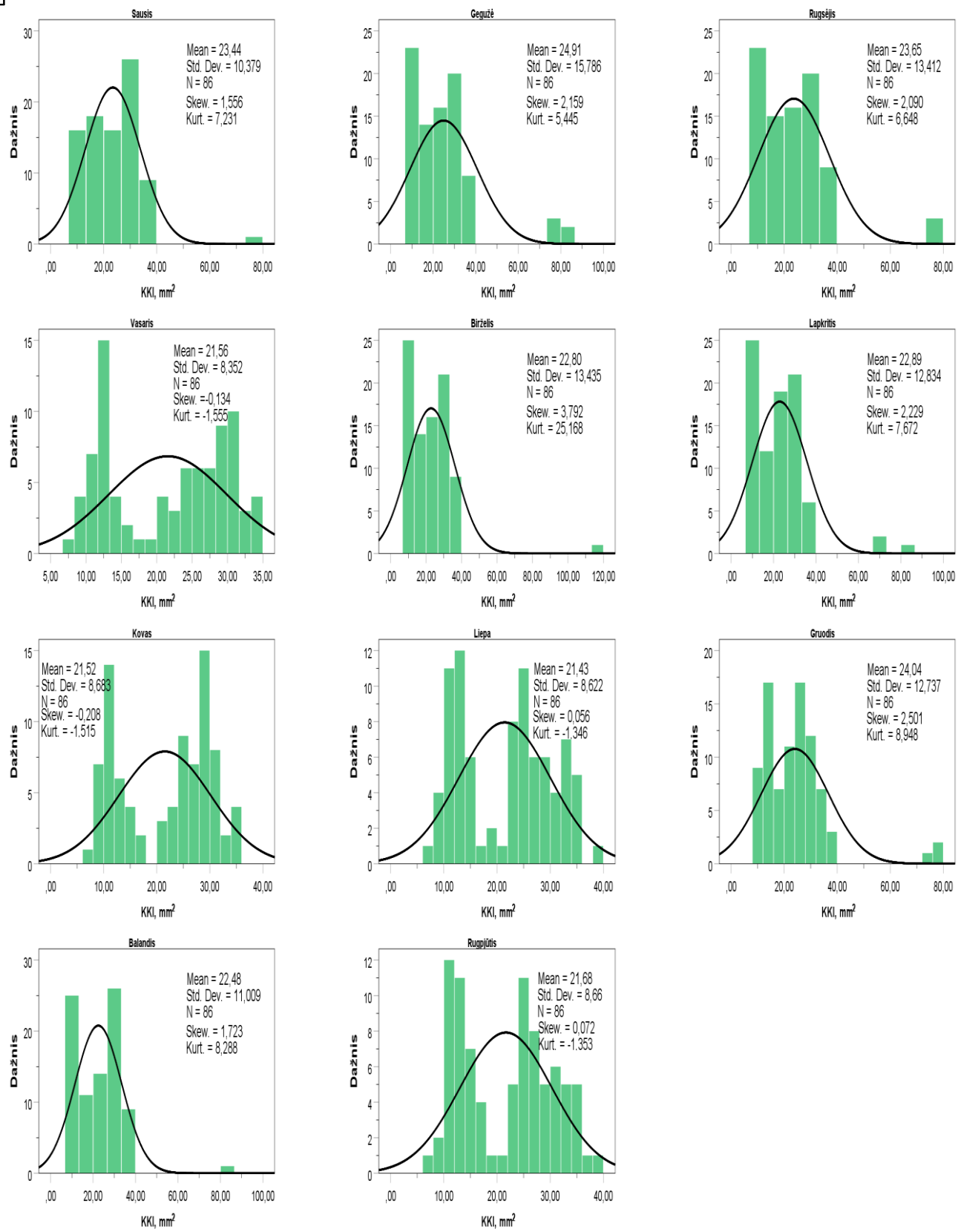
25.Radviliškis-Rokiškis geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



26.Kazlų rūda-Šeštokai geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



27.Radviliškis-Pagėgiai geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys



28.Klaipėda-Pagėgiai geležinkelio ruožo 2017 m. KKI matavimų histograma, normalusis skirstinys