

SUTARTIES NR. 10/04, 2023 01 23

LIETUVOSVANDENS TELKINIŲ PAKRANČIŲ
Dr. Laurynas Jukna
EROZIJOS IR LIETUVOS PAVIRŠIAUS
SOLIFLIUKCIJOS RIZIKŲ VERTINIMAS
REMIANTIS RCP KLIMATO KAITOS
SCENARIJ AIS (2.6, 4.5, 8.5)

1. Vandens telkinių pakrančių erozijos rizikos vertinimas atsižvelgiant į RCP klimato kaitos scenarijus

1.1. Lietuvos hidrografinio tinklo ypatybės

Lietuvos teritorijai priklausantys vandenys skirstomi į vidaus ir išorinius. Vidaus vandenims priklauso upės, ežerai, dirbtinės vandens talpyklos, kuršių marios. Pagal užimamą plotą vyrauja ežerai, užimantys beveik pusę visų vandens telkinių ploto dalies.

1 lentelė. Lietuvos vidaus vandenų įvairovė

Vandens telkinio tipas	Skaičius	Plotas (km ²)	Dalis nuo bendro Lietuvos ploto (%)
Ežerai (> negu 0,5 ha)	6000	913,6	1,4
Upės	22 200	332	0,51
Kuršių marios	1	413	0,63
Dirbtiniai vandens telkiniai (užtvankos, tvenkiniai, karjerai, kūdros)	4132	244	0,37
Iš viso	42 465	1902,6	2,91

Lietuvos teritorijoje priskaičiuojama apie 6000 natūralios kilmės ežerų, didesnių negu 0,1 ha. 2850 iš jų yra didesni negu 0,5 ha. Bendras ežerų plotas siekia beveik 914 km². Dauguma telkšo ledyninės arba upinės kilmės dubenyse, didžiausi buvo suformuoti ledynų veiklos. Antras pagal plotą hidrografinis elementas yra upės. Lietuvos teritorija taip pat išsiskiria upių ir upelių gausa. Išmatuota, kad Lietuvoje teka > 22 000 upių, ilgesnių negu 250 m, iš jų 4418 yra ilgesnės negu 3 km. Bendras pastarųjų ilgis – 37 600 km. Skaičiumi ir ilgiu vyrauja mažieji upeliai (tarp 3 ir 10 km ilgio), viso jų priskaičiuojama 3 600, o jiems tenka net 50 % bendro upių ilgio. Ilgiausių >100 km ilgio upių yra tik 17, jų ilgis sudaro tik 8,4 % nuo bendro ilgio. Daugiau negu 80 % Lietuvos upių vagos yra dirbtinai sureguliuotos ir išlygintos žmogaus (Kažys, 2013).

Trečiasis pagal gausumą hidrografinio tinklo elementas yra – dirbtinės vandens talpyklos. Didesnių negu 0,5 ha tvenkinių Lietuvoje yra 1159, mažesnių priskaičiuojama per 3 000, jų skaičius ir plotas nuolat auga (Kažys, 2013). Paskutinis hidrografinio tinklo elementas ir didžiausias Lietuvos vidaus vandens telkinys – Kuršių marios. Tai didžiausia Baltijos jūros lagūna, tipiška estuarija. Plotas 1584 km², šiaurinė dalis (381,6 km²) priklauso Lietuvai, pietinė – rusijos federacijos Kaliningrado sričiai (valstybė – agresorius). Marių ilgis (nuo Klaipėdos sąsiaurio žiočių uosto vartuose iki marių pietinio kranto) yra 93,5 km, didžiausias plotis 46,5 kilometro. Kranto linijos ilgis 324 km, iš kurių Lietuvai priklausančio vakarinio (Kuršių nerijos) kranto 60,35 km, rytinio kranto – 98,94 kilometro (Žaromskis, 2018).

Be vidaus vandens telkinių, Lietuvai priklauso ir dalis Baltijos jūros ekvatorijos bei jos pakrantės.

Lietuvos jūros kranto linijos ilgis 90,66 km (trumpiausias iš visų Baltijos šalių). Kuršių nerijos kranto linijos ilgis 51,03 km, tarp Klaipėdos uosto šiaurinio molo ir sienos su Latvija – 38,49 km, tiesia linija sujungus Klaipėdos sąsiaurio krantus jo pietinėje ir šiaurinėje pusėse – dar 1,14 kilometro (Žaromskis, 2018).

1.2. Erozijos veiksnių tipai

Bendrajai prasme erozija suprantama kaip Žemės paviršių ardančių gamtinių veiksnių – vandens, vėjo ir ledo – veikla. Siauresnė erozijos reiškinio reikšmė apsiriboja vandens ardomąja veikla. Vandens erozija yra vienas svarbiausių šiandienos Žemės reljefą

formuojančių ir keičiančių egzogeninių (išorinių) veiksnių. Skiriamos pagrindinės jų nusakančių veiksnių ir susijusių procesų grupės (Česnulevičius, 1998):

2 lentelė. Vandens erozijos tipai, poveikis ir kuriamos formos

Veiksnių tipas	Ardymo proceso (denudacijos) tipas			
	Uolienas veikiantis procesas	Poveikis paviršiumi	Transportavimo būdas	Sukurtos formos
Paviršiumi tekančio vandens erozija	Plovimas, plokštuminė erozija, linijinė erozija	Perklostymas, nunešimas	Riedėjimas	Šlaitai, pedimentai, slėniai, griovos
Vaginių tėkmių erozija	Linijinė erozija	Nunešimas, stūmimas, sukūrinis ardymas	Riedėjimas, šuoliavimas, išplėšimas	slėniai
Požeminio vandens veikla	Išplovimas, tirpimas	Skutimas, stūmimas, sukūrinis ardymas	Tirpimas	Koridoriai, galerijos, šuliniai, šachtos, urvai, tuneliai
Bangavimas	Grandymas	Grandymas, sukūrinis ardymas	Riedėjimas, tirpimas, šuoliavimas	Klifai (skardžiai), platformos, nišos

Dabartinių geografinių ir paleogeografinių sąlygų kompleksas vandens erozijos veiksnių tipų aibėje Lietuvos kraštovaizdyje leidžia išskirti vaginių tėkmių arba – tekančio vandens eroziją. Su ja susijusi linijinė erozija formuoja vienus ryškiausių, kaičiausių ir stambiausių dabarties kraštovaizdžio elementų – upių slėnius. Be jokios abejonės svarbūs veiksniai yra ir bangavimas, požeminio vandens veikla, paviršinio nuotėkio erozija. Tačiau jų paliekami pėdsakai šiandieniniame kraštovaizdyje dėl eilės priežasčių, nėra tokie ryškūs arba dažnai sutinkami. Plačiau minimų veiksnių poveikis aprašomas 3 lentelėje.

3 lentelė. Vandens erozijos raiška kraštovaizdyje

Erozijos veiksnių tipai	Poveikis kraštovaizdžiui
Požeminio vandens veikla	Požeminio vandens veiklos pėdsakų retais atvejais sutinkame karstiniame Šiaurės Lietuvos regione, kur formuojasi karstinės įgriuvos ir nedideli karstiniai ežerėliai.
Bangavimas	Sietinas su bangavimo procesu stovinčio vandens telkiniuose (ežeruose) jūrose. Kadangi didžioji Lietuvos ežerų dalis (išskyrus senvaginius, lagūninius, karstinius ir žmogaus sukurtus – tvenkinius) atsirado, susidarė pasibaigus paskutiniam apledėjimui (ledynas Lietuvos teritoriją paliko prieš maždaug 13 000 m.), bangavimą ir jo sukeltus padarinius juose stabdo per tūkstančius metų susiformavusi, dažnai ganėtinai plati, atbrado juosta (povandeninė terasa, susidariusi dėl kranto abrazijos, bangavimo ir vandens srovių). Dėl to stovinčių vandens telkinių pakrantėse erozijos mastai yra palyginti nedideli ir sunkiai išmatuojami, o pakrantės mažai kaičios.
Paviršiumi tekančio vandens laikinų tėkmių erozija	Laikinių paviršinių vandens tėkmių erozija reiškiasi nuolaidžiuose žoline augalija nepadengtuose paviršiuose, dažniausiai, ten, kur vykdoma aktyvi žmogaus ūkinė veikla (Lietuvos sąlygomis). Kai kuriais atvejais tokiu būdu atsirandančios griovos sutinkamos ir stačiašlaitčiuose upių slėniuose, jų krantuose. Šių formų atsiradimo rizika minimu atveju taip pat įtraukta į tolimesnį pakrančių erozijos modeliavimą.
Vaginių tėkmių erozija	Pastoviose upių vagose vyksta gilinamoji ir šoninė erozija. Srovė gremžia, plauna, tirpdo ir kitaip mechaniškai ardo upės guolio uolienas, o ardymo produktus plukdo, stambesnius ridena srove žemyn. Tokiu būdu gilėja ir upės vaga ir jos slėnis. Dėl gilinamosios erozijos susidaro stačiašlaitiniai slėniai, sietuvos, rėvos, kriokliai. Šoninę eroziją gali sukelti įvairios tėkmės kliūtys ir patvankos. Įtakos šoninei erozijai rekštis turi Koriolio jėga. Įprastai ji prasideda išsitiesinus išilginiam upės vagos profiliui. Vykstant šoninei erozijai upės ima vingiuotis, formuojasi meandros, senvagės, platūs slėniai.

--	--

Vaginių tėkmių (upių) erozijos procesas. Tekančio vandens erozija skirstoma į linijinę ir plokštuminę. Linijinė erozija reiškiasi laikinose ir pastoviose vandens tėkmėse. Laikinos vandens tėkmės formuoja išgraužas, griovas, raguvas. Nekoncentruoto vandens srauto erozija, ardanti visą paviršių, kuriuo teka (šlaitus), vadinama plokštumine, arba paviršine; ši erozija yra viena dirvožemio erozijos formų. Ji priklauso nuo lietaus intensyvumo, jo trukmės, šlaitų statumo ir ilgumo, augalijos dangos.

Tiek šoninė, tiek gilinamoji upių erozija (linijinės erozijos formos) ir jos raiškos mastas yra įtakojami plataus gamtinių faktorių spektro: tėkmės ir uolienu, kuriomis teka vanduo savybių, vagos geometrijos, vietos klimatinių sąlygų, podirvio drėgmės, augalinės dangos, antropogeninės veiklos. Šie veiksniai savo ruožtu gali būti skaidomi į dar smulkesnių aibę (4 lentelė).

4 lentelė. Upių erozijos veiksniai ir rodikliai

Upių erozija įtakojantys veiksniai	Upių erozijos rodikliai
Tėkmės savybės	Srovės greitis, debitas
Uolienu, kuriomis teka vanduo savybės	Litologija, granulometrija
Vagos geometrija	Plotis, ilgis, gylis, vagos nuolydžio kampas, pakrančių šlaitų statumas ir ilgis, vagos vingiuotumas
Vietos klimatinės savybės	Kritulių kiekis, intensyvumas, dažnumas ir trukmė, neigiamos temperatūros, užšalimo laikotarpio trukmė ir dažnumas
Podirvio drėgmės savybės	Infiltracija, dirvožemio drėgmės kiekis, gruntinio vandens lygis ir kapiliariniai reiškiniai
Augalinė danga	Augalinės dangos tipas, šaknų sistemų tankis ir gylis
Gyvūnija	Gyvūnijos formuojamos patvankos ir kliūtys, šlaitų ir krantų ardymas
Žmogaus (antropogeninė) veikla	Urbanizacija, žemės ūkis, laivyba, krantotvarkos ir antierozinės priemonės

1.3. Erdvinis pakrančių erozijos rizikų modeliavimas

Kiekybinis pakrančių erozijos veiksnių ir proceso dinamikos vertinimas yra sudėtingas uždavinys, reikalaujantis detalių empirinių hidrologinių, geomorfologinių, klimatinių, net biogeografinių tyrimų bei tankaus matavimo stočių tinklo. Dar sudėtingiau pakrančių eroziją vertinti erdvinėje plotmėje, stambaus mastelio tyrimus atliekant didelėse, gamtinių sąlygų įvairumu, pasižyminčiose teritorijose. Uždavinio kompleksiskumas susideda iš didelio tikslumo erdvinį (ne taškinių) duomenų ir įrankių erdviniam modeliavimui atlikti trūkumo, erozijos reiškinio rodiklių/ kintamųjų gausos.

Problemos sprendimui šiuo atveju pasitelkti šiuolaikinių technologijų pagalba gaunami paviršiaus reljefo duomenys, įvairios GIS (geografinių informacinių sistemų) duomenų bazės ir GIS modeliavimo įrankiai. Taip pat atrinkti esminiai reiškinio atsiradimo ir pasireiškimo riziką potencialiai geriausiai perteikiantys rodikliai, sudarytas pakrančių erozijos rizikų vietos lygmeniu vertinimo algoritmas. Algoritmo grafinė schema, jame naudojami įvesties duomenys, gaunami tarpiniai ir galutiniai rezultatai, taip pat duomenų manipuliavimo veiksmai ir sekos pateikiami žemiau.

1.3.1. Pakrančių erozijos rodikliai

Vandens telkinių krantų ir pakrančių erozijos procesų dinamika yra nulemta faktorių (2, 3, 4 lentelės) veikiančių kranto sistemą komplekso ir jų raiškos erdvėje bei laike intensyvumo. Objektų visų faktorių vertinimas dėl duomenų stygiaus deja nėra įmanomas. Šiuo atveju vandens telkinių – upių, ežerų, tvenkinių ir užtvankų, Kuršių marių ir Baltijos jūros pakrantės erozijos rizikai įvertinti ir statistinei ryšių analizei atlikti naudoti hidrografiniai (vandens telkinių geometriniai) ir paviršiaus reljefo morfometriniai rodikliai:

1. vandentėkmių vagų vingiuotumas;
2. vagos gradientas (vandens paviršiaus polinkio kampas);
3. pakrančių šlaitų polinkio kampas.

Vandens telkinių pakrančių erozijos rizikų vertinimas atliktas pakrančių apsaugos juostos ribose. Pakrančių apsaugos juostos plotis individualiems vandens telkiniams priskirtas remiantis LR Aplinkos ministerijos įsakymu (Dėl Paviršinių vandens telkinių apsaugos zonų..., 2023).

5 lentelė. Paviršinių vandens telkinių pakrančių apsaugos juostų plotis naudotas pakrančių erozijos rizikos vertinimui

Vandens telkinio kategorija	Paviršinio vandens telkinio pakrantės apsaugos juostos dydis			
Kuršių marių rytinėje pakrantėje (nuo Klaipėdos valstybinio jūrų uosto pietinės ribos iki Lietuvos Respublikos ir Rusijos Federacijos valstybės sienos);	100 m			
Prie 100 km ir ilgesnių upių, prie ežerų, tvenkinių, kurių plotas – 200 ha ir didesnis;	30 m	30 m	10 m	30 m
	upių ruožuose, kuriuose upės plotis – 5 m ir mažesnis, paviršinio vandens telkinio pakrantės apsaugos juosta mažinama iki 10 m	upių ruožuose, kuriuose upės plotis – 5 m ir mažesnis, paviršinio vandens telkinio pakrantės apsaugos juosta mažinama iki 10 m		upių ruožuose, kuriuose upės plotis 5 m ir mažesnis, paviršinio vandens telkinio pakrantės apsaugos juosta mažinama iki 10 m
Prie ilgesnių kaip 10 km, bet trumpesnių kaip 100 km upių, prie ežerų ir tvenkinių, kurių plotas yra 10–200 ha, dirbtinių nepratekamų paviršinių vandens telkinių, kurių plotas – 2 ha ir daugiau, ir prie visų kanalų;	10 m			
Prie 10 km ir trumpesnių upių, ežerų ir tvenkinių, kurių plotas – iki 10 ha, dirbtinių nepratekamų paviršinių vandens telkinių, kurių plotas – iki 2 ha.	5 m			

Tyrimo metu vadovautasi sekančiomis hipotezėmis:

1. Kaičiausias hidrografinio tinklo elementas yra upės, todėl jų pakrantės yra padidintos erozijos rizikos zonoje. Upių aplinkoje vyksta gilinamoji ir šoninė erozija. Šoninė erozija reiškiasi stipriai vingiuotose upių atkarpose, todėl jai įvertinti reikia atlikti upių vingiuotumo analizę. Gilinamoji erozija gali reikštis dėl kelių priežasčių: keičiantis

paviršiaus reljefo bei stambių mezoformų orografinėms savybėms, upių aukštupiuose. Tokio pobūdžio erozijos zonose sutinkamos rėvos, formuojasi statūs eroduojami krantai, atodangos, skardžiai, o vagos polinkio kampas ryškiai padidėja. Jei upė vingiuoja, krantai dažniausiai ardomi išgaubtuose išoriniuose vingių pusėse. Upių atkarpose, kur vagos polinkio kampas (gradientas) yra mažas/ neryškus, o vingiuotumas žemo laipsnio pakrančių erozijos pasireiškimo rizika bus maža.

2. Jūros pakrantės kaitą ir ardą lemia priekrantės srovės, kranto linijos konfiguracija, priekrantės morfometrija ir morfologija (pavyzdžiui sėklių ir paplūdimio zonų plotis, nuogulų tipas), bangų energija, audros ir kt. faktoriai. Didžiausios erozijos rizikos zonos bus sutinkamos skardinguose jūros kranto atkarpose (pavyzdžiui Olandų kepurė ir Būtingės atkarpa).
3. Ežerų pakrančių erozija gali intensyvėti dėl ryškaus vandens lygio svyravimo ir to pasekoje atsinaujinusio atabrado zonos persitvarkymo. Pastarasis lemia ir krantų ardą. Lietuvos ežerai formavosi paskutiniojo apledėjimo metu (išskyrus karstinio ir senvaginio tipo ežerėlius, tačiau jų skaičius ir plotas yra sąlyginai nedideli) slenkant ir vėliau atsitraukiant ledynams, vykstant termokarstiniam procesams. Paskutiniojo apledėjimo maksimumo laikotarpis fiksuojamas prieš 20-22 tūkst. m., tuo tarpu iš Lietuvos teritorijos Ledynai pasitraukė prieš maždaug 12-14 tūkst. m. Per tokį sąlyginai ilgą (gamtos evoliucijos mastais, tai trumpas laiko tarpas) laikotarpį vandens lygis ežeruose stabilizavosi susidarė stabili atabrado juosta. Dėl šių priežasčių ežerų vandens pakrančių erozija yra mažai tikėtina.

Remiantis klimato kaitos projekcijomis Lietuvoje nenumatomas didelis metinių kritulių kiekio mažėjimas (atvirkščiai, remiantis kai kuriais šaltiniais, jų daugės, tačiau metų eigoje pasiskirstymas keisis). Dėl šios priežasties itin reikšmingų ežerų vandens lygio svyravimų vykti netūrėtų.

1.3.2. Pakrančių erozijos veiksnių pokyčių projekcija pagal RCP scenarijus

6 lentelė. Tyrime naudotos pakrančių erozijos rizikos rodiklių projekcijos pagal RCP 2.6, 4.5 ir 8.5 klimato kaitos scenarijus

Pakrančių erozijos rizikos veiksniai potencialiai kaitūs dėl klimato kaitos procesų	RC P 2.6	RC P 4.5	RC P 8.5	Šaltiniai
	Baltijos Jūros vandens lygio kilimas	0.1 m	0.2 m	
Ežerų vandens lygio	Visais scenarijais, pakrančių erozijos rizikų vertinimui			Kiekybinių duomenų apie Europos ir Lietuvos ežerų vandens lygio pokyčių dinamiką ateityje nėra.

kilimas/ kritimas	naudojami dabartinės situacijos duomenys	<p>Prognozuojami metinių ir vasaros kritulių kiekio pokyčiai (%) 2071–2100 m. laikotarpiu, palyginti su baziniu 1971–2000 m. laikotarpiu pagal scenarijų RCP 8.5 rodo, kad ateityje Lietuvos teritorijoje bus stebima nežymi, tačiau teigiama kritulių pokyčio tendencija (kritulių daugės). Dėl šios priežasties daroma prielaida, kad ežerų ir tvenkinių vandens lygis nekis arba kės nežymiai. Tas nesukurs prielaidų krantų erozijai ir atabrado zonai atsinaujinti. Taigi visų trijų ateities scenarijų pakrančių erozijos rizikų vertinimui naudoti/ palikti faktiniai dabartinio ežerų ir tvenkinių vandens lygio duomenys.</p> <p>https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-annual-and-6 /Kritulių modelių duomenys pagrįsti EURO-CORDEX iniciatyvos RCM modeliavimo kelių modelių ansamblio vidurkiu.</p>
Upių nuotėkio didėjimas (su tuo siejasi ir kritulių kiekio pasiskirstymas metuose, sniego dangos pastovumas, pavasario potvynių dažnumas, todėl atskirai kritulių rodiklis neskiriamas)	Visais scenarijais, pakrančių erozijos rizikų vertinimui naudojami dabartinės situacijos duomenys	<p>Upių pakrančių erozijos atsinaujinimas ir suintensyvėjimas teoriškai galimas keliais atvejais: esant upių nuotėkio ryškaus didėjimo tendencijai, dažnėjant ir didėjant pavasario potvyniams, žemėjant erozijos bazei (slūgstant Baltijos jūros vandens lygiui). Visi įvardinti atvejai RCP 2.6, 4.5 ir 8.5 scenarijais yra mažai tikėtini. Tą įrodo ir pastarųjų metų Nemuno baseino parametrų (nuotėkio, sedimentų kiekio, vandenyje ištirpusio azoto ir fosforo) modeliavimo tyrimai.</p> <p>https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169421004698 https://www.mdpi.com/2073-4441/11/4/676</p> <p>Čerkasovos, Umgiesser ir Ertuk (2021) tyrime, atliktame Nemuno baseino upėms, teigiama, kad ateityje labiausiai tikėtinas rezultatas bus šiltesnis klimatas visais metų laikais. Kritulių modeliai skirtinguose GCM (bendras cirkuliacijos modelis) skiriasi, tačiau nei vienas, nei kitas nerodo reikšmingo metinio padidėjimo ar sumažėjimo, nors prognozuojama, kad vandens streso dienų skaičius padidės pagal visus scenarijus, o didžiausias iš jų padidės beveik 5 kartus, tai savo ruožtu reiškia, kad galimas mažesnis kritulių kiekis ir aukštesnės temperatūros sukels sausringesnes sąlygas.</p> <p>Vidutinės metinės Nemuno debito prognozės nerodo aiškaus pokyčių trendo, Mann-Kendall testu (Mann, 1945, Kendall, 1975) nenustatyta jokių tendencijų, o tai rodo, kad upės metinės tėkmės rodikliai yra gana stabilūs. GCM (bendros cirkuliacijos modelio) kintamumas yra didesnis RCP4.5 sąlygomis. Nors nėra aiškių prognozuojamų vidutinių metinių srautų tendencijų, kintamumas tarp GCM iki amžiaus pabaigos tampa mažesnis, o tai reiškia, kad GCM išvesties rodikliai pagal RCP4.5 ir RCP8.5 sutampa ilguoju laikotarpiu.</p> <p>Tikėtina, kad ateityje bus stebimas Nemuno nuotėkio hidrologinis poslinkis link didesnio žiemos debito ir mažesnio vėlyvos vasaros – ankstyvo rudens debito reikšmių, jei pasaulinės plėtos ir emisijų tendencijos atitiks stabilizavimo scenarijų (RCP4.5) nuotėkio mažėjimo tendencija tęsis imant ilgalaikį prognozių laikotarpį (kalbama apie nuotėkio mažėjimą birželio – spalio mėnesiais).</p> <p>Remiantis pateikta informacija, matyti, jog upių nuotėkio modeliavimo rezultatai nerodo nuotėkio didėjimo tendencijos.</p> <p>Atliktų tyrimų rezultatų validumu abejoti netenka, todėl atliekamo darbo rėmuose toliau laikomasi prielaidos, kad upių erozijos proceso mąstai ateityje nedidės kadangi: bendro nuotėkio didėjimo tendencija yra mažai tikėtina; mažės dienų su sniego danga, taigi ir pavasario potvynių dažnumas bei jų dydis; kylant vidutinei metinei temperatūrai, tikėtina, kad ilgės vegetacijos sezonas, taigi upių pakrantės ilgesnį laiką bus sutvirtintos žoline augmenija kas papildomai prisidės prie galimos erozijos stabdymo.</p>

1.3.3. Įvesties duomenys

Pakrančių erozijos rizikų vertinimo metodika apima matematinių ir GIS manipuliacijų bei veiksmų seką, kuriai reikalingi sekantys pradiniai įvesties duomenys:

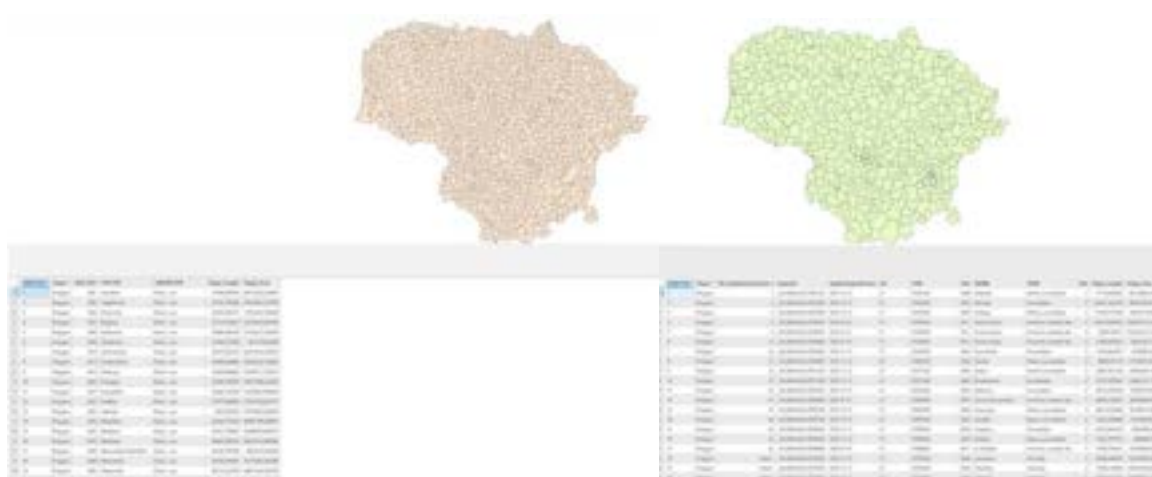
1. Kadastrinių vietovių ir seniūnijų vektoriniai duomenų sluoksniai;
2. GDB_10 georeferencinio pagrindo kadastro erdvinių duomenų rinkinio atfiltruoti vandens telkinių linijiniai ir poligonų vektoriniai duomenų sluoksniai.
3. Skaitmeninio paviršiaus reljefo (DTM) duomenų modelio sluoksnis.

Duomenų savybės detaliau pateikiamos 7 lentelėje.

7 lentelė. Pakrančių erozijos modeliavimui naudotų duomenų savybės

Duomenų šaltinis	Sluoksniu pavadinimas	Duomenų tipas	Savybės ir naudotų atributų informacija
GRPK Georeferencinio pagrindo kadastro erdvinių duomenų rinkinys (GDB_10)	HIDRO_L	Vektoriniai linijiniai duomenys	Šiame sluoksnyje saugoma informacija apie upių, upelių, kanalų ir melioracijos griovių ašines linijas. GRAKTAS: Vandentakio kodas pagal Lietuvos Respublikos upių klasifikatorių. Stulpelis TIPAS: Vandentakio tipas (įvedama skaitinė reikšmė): <ul style="list-style-type: none"> - 0 – nežinoma, - 1 – upė (natūrali vandens tėkmė, srovė, tekanti sausumos paviršiumi savo pačios išgraužta vaga), - 2 – kanalas (dirbtinis paviršinis vandens telkinys su nuolatine vandens tėkme, įrengiamas grunte iškasant / įrengiant atvirą vagą, kurios pradžia ir pabaiga jungiasi su kitu paviršiniu vandens telkiniu (upe, ežeru, Kuršių mariomis arba tvenkiniu), skirtas vandeniui tiekti drėkinimo, hidroenergetikos, vandentiekos ir kitoms reikmėms, naudoti laivybai ir pan. Sureguliuotos upės nelaikomos kanalais, - 3 – griovys (hidrotechnikos statinys, įrengiamas iškasant atvirą vagą grunte ir skirtas perteklinio vandens nuvedimui / nuleidimui. Sureguliuotos upės nelaikomos grioviais), - 4 – nurašytas melioracijos griovys, kanalas (nurašytas melioracijos statinys, išbraukus melioruotą žemę iš žemės ūkio paskirties melioruotos žemės apskaitos), - -9999 – kai netinka nė viena iš reikšmių. Stulpelis PLOTIS: Hidrografijos objekto plotis, m.
GRPK Georeferencinio pagrindo kadastro erdvinių duomenų rinkinys (GDB_10)	PLOTAI	Vektoriniai poligonų duomenys	Sluoksnyje saugoma informacija apie žemės naudmenų ir vandens telkinių dengiamas teritorijas. Stulpelis: GKODAS Be kitų žemės naudmenų kodų, vandens telkiniams atrinkti naudoti: Hd1: Upės – upių, platesnių nei 12 metrų, dengiama teritorija, kuri gali būti apaugusi vandens augmenija (pavyzdžiui, meldais, nendrėmis ir pan.); Hd2: Upeliai, kanalai, drenažo grioviai – upelių, kanalų, drenažo griovių, platesnių nei 12 m, dengiama teritorija, kuri gali būti apaugusi vandens augmenija (pavyzdžiui, meldais, nendrėmis ir pan.);

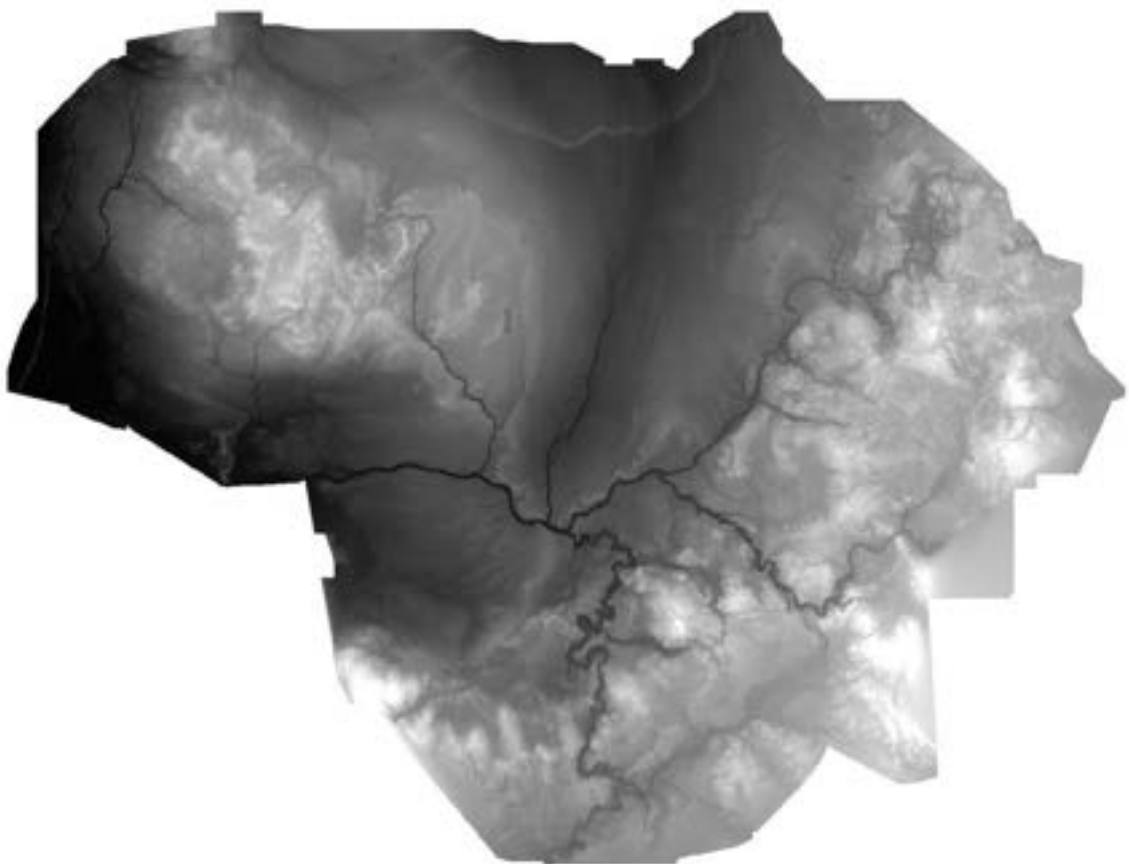
			<p>Hd3: Ežerai – natūralaus vandens telkinio lėtai kintančiame duburyje, neturinčio tiesioginio ryšio su jūra, matomo vandens paviršiaus teritorija, kuri gali būti apaugusi vandens augmenija (pavyzdžiui, meldais, nendrėmis ir pan.);</p> <p>Hd4: Kūdros ir kiti nepratekančio vandens telkiniai (hidrotechniniai statiniai) – dirbtinio nepratekančio vandens telkinio, įrengto natūraliame žemės grunte, kurio vandens atsargas papildo paviršinės nuotekos, matomo vandens paviršiaus teritorija, kuri gali būti apaugusi vandens augmenija (pavyzdžiui, meldais, nendrėmis ir pan.);</p> <p>Hd5: Baltijos jūra, Kuršių marios – Baltijos jūros ir Kuršių marių dengiama teritorija, kuri gali būti apaugusi vandens augmenija (pavyzdžiui, meldais, nendrėmis ir pan.);</p> <p>Hd9: Tvenkiniai – dirbtinio pratekančio vandens telkinio, kuris įrengiamas užtvenkiant vandens tėkmę vandentakyje, matomo vandens paviršiaus teritorija, kuri gali būti apaugusi vandens augmenija (pavyzdžiui, meldais, nendrėmis ir pan.);</p>
Lietuvos administracinio suskirstymo vektoriniai duomenų sluoksniai (Kadastrinių vietovių ir seniūnijų ribų duomenys)	SENIUNIJOS, KADASTRINES_VIETOVES	Vektoriniai poligonų duomenys	<p>Sluoksnyje saugoma informacija apie Lietuvos kadastrinių vietovių ribas;</p> <p>Sluoksnyje saugoma informacija apie Lietuvos seniūnijų ribas;</p>
Lietuvos paviršiaus reljefo skaitmeninis (DTM) reljefo modelis		Rastriniai duomenų sluoksniai	Sluoksnyje saugoma Lietuvos paviršiaus reljefo duomenys, gardelės dydis (erdvinė skiriamoji geba) – 2m; Vidutinė LIDAR taškų kvadratinė vertikali paklaida – 30 cm; duomenys sudaryti LIDAR (SEŽP) duomenų pagrindu.
RCP klimato kaitos scenarijų duomenys			Baltijos jūros vandens lygio kilimo projekcijos pagal RCP 2.6, 4.5, 8.5 scenarijus.



1 pav. Lietuvos kadastrinių vietovių ir seniūnijų vektoriniai duomenys ir jų atributinė informacija



2 pav. GRPK Georeferencinio pagrindo kadastro erdvinių duomenų rinkinio (GDB_10) HIDRO_L vektorinio linijinio duomenų sluoksnio duomenys



3 pav. Lietuvos paviršiaus reljefo DTM modelio sluoksnis naudotas modeliavimo proceso metu

1.3.4. Pakrančių erozijos rizikos vertinimo etapai

1. *Pradinių duomenų paruošimo etapas.* GRPK Georeferencinio pagrindo kadastro erdvinį duomenų rinkinį (GDB_10) duomenys naudoti vandens telkinių Lietuvos teritorijoje atrinkimui. Iš poligonų vektorinio duomenų sluoksnio (PLOTAI) atrinktos ežerų, tvenkinių, užtvankų, Kuršių marių ribos. Iš linijinio (HIDRO_L) duomenų sluoksnio atrinktos upių vagos, iš tolimesnės analizės eliminuoti kanalai ir dirbtinės bei išlygintos vandens tėkmės (laikytasi prielaidos, kad erozija išlygintose ir numelioruotose bei dirbtinai žmogaus sukurtose kanalų ir melioracijos griovių vagose nevyks). Kadangi gautas upių sluoksnis GDB_10 duomenų bazėje pateikiamas upių atkarpomis, jos naudojantis GIS sujungtos į ištisinių upių vagų linijas sukuriant upių ir jų intakų (hidrografinio tinklo pagal upių rangus) sluoksnį. Sluoksniui sukurti naudoti hidroliginiai GIS erdvinės analizės įrankiai ir sekantis veiksmų algoritmas.

DTM → Fill → Flow direction → Flow Accumulation → Map Algebra → Stream order → Stream to Feature

Gauto sluoksnio pagrindu naudojantis (priskyrus jiems) jų pločio ir ilgio atributų informacija sukurtas buferinis sluoksnis, atitinkantis upių vagų plotinę išraišką. Upių vagų ir ežerų (taip pat į jų patenkančių tvenkinių, užtvankų, Kuršių marių) sujungti į vieną sluoksnį.

2. *Pakrančių zonos išskyrimo etapas.* Vandens telkinių pakrančių erozijos rizikų vertinimas atliktas pakrančių apsaugos juostų zonose. Kiekvienam vandens telkiniui (pagal galiojančių teisės aktų nustatytą tvarką: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.153823/asr>), kranto apsaugos juosta priskiriama pagal jo plotą arba ilgį (upių atžvilgiu). Detalesnis skirtų juostų plotis pateikiamas 5 lentelėje. Laikantis šios sąlygos, vandens telkiniai suklasifikuoti pagal: ežerai pagal plotą, upės pagal ilgį, o Kuršių marioms ir Baltijos jūros pakrantei kranto juosta priskirta atskirai (laikantis LR AM nustatytų pločio reikšmių). GIS pagalba sudarytoms objektų klasėms pagal jų geometrinę informaciją priskirti pakrantės apsaugos juostų pločio duomenys, jie išsaugoti atributų duomenyse. Kiekvienam objektui apie jo kranto liniją, sukurta apibrėžto pločio buferinė zona, atitinkanti minėtą pakrantės apsaugos juostos reikšmę.
3. *Pakrančių paviršiaus reljefo polinkio kampo skaičiavimas.* Pakrančių apsaugos juostų (toliau pakrančių) vektorinis duomenų sluoksnis toliau naudotas kaip trafaretas DTM skaitmeninio paviršiaus reljefo duomenims apkirpti. Duomenų analizei pasirinktas itin aukštos erdvinės skiriamosios gebos (2*2 m), paviršiaus reljefo DTM modelis, kuris leido išskirti net ir labai smulkių upių ir upelių pakrančių bei šlaitų plotus. Su duomenų skiriamosios gebos pasirinkimu beje susijusios didelės duomenų apdorojimo ir analizės procesų laiko sąnaudos. GIS manipuliacijų eigoje gautas vandens telkinių pakrančių paviršiaus reljefo sluoksnis (kuriame kiekvienai gardelei priskirtos x, y ir z koordinačių reikšmės) toliau naudotas polinkio kampams apskaičiuoti (kiekvienoje 2*2 m dydžio gardelėje visų Lietuvos vandens telkinių pakrantės zonose). Polinkio kampai skaičiuoti GIS įrankių (SLOPE), naudojančių apačioje nurodytą lygtį, pagalba. Įrankio pagalba nuolydis apskaičiuojamas kaip paviršiaus kitimo greitis (delta) horizontalia (dz/dx) ir vertikalia (dz/dy) kryptimis nuo centrinės gardelės iki kiekvienos gretimos ląstelės.

$$\Theta = \text{Arctan}(\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2}) * 57.29578$$

4. *Pakrančių šlaitų polinkio kampų klasių skyrimo etapas.* Šlaitų pažeidžiamumas erozijai apibrėžiamas eilės rodiklių (polinkio kampas, uolienu/nuogulų tipas ir savybės, šlaito ilgis, augalinė danga bei jos pobūdis ir kt.), tačiau bene vienas svarbiausių yra - šlaito polinkis/statumas. Sudarytas pakrančių polinkio rastrinis sluoksnis toliau suklasifikuotas pagal šlaitų statumo klasių intervalus taip išskiriant nuolaidžius, labai lėkštų, lėkštų, statokų ir stačių šlaitų klases.

8 lentelė. Šlaitų polinkio kampų klasės ir kategorijos bei potencialus jautrumas erozijai

Polinkio kampas (laipsniais)	Šlaito pobūdis	Erozijos rizika	Rizikos pataisos koeficientas.
0-1	Nuolaidūs paviršiai	Labai silpna	0
1-3	Labai lėkti	Silpna	0,25
3-7	Lėkšti	Vidutinė	0,5
7-15	Statoki	Didelė	0,75
>15	Statūs	L. didelė	1

5. *Vagos gradiento (vandens paviršiaus polinkio kampo) upėms skaičiavimas.* Upių vagų polinkio kampas apskaičiuotas naudojantis aukščiau aprašytu SLOPE GIS įrankiu. Skirtumas tarp pakrančių polinkio kampų skaičiavimo eigos yra upių vagų vidurio ašies nustatymas ir jų sluoksnio sudarymas. Upių vagų centrinės ašies sluoksniui (kuris naudotas kaip trafaretas DTM paviršiaus reljefo sluoksniui) panaudotas 1 etape sudarytas ištisinių/ sujungtų upių vagų linijinis vektorinis sluoksnis.
6. *Upių vagų atkarpų klasifikavimas pagal jų vingiuotumo rodiklį.* Upių vagų vingiuotumo analizei atlikti naudotas "upių gradiento ir vingiuotumo" GIS plėtinys (atviros prieigos įrankių rinkinys), kuris veikia remiantis dviem principais/duomenų apdorojimo ir analizės etapais:
- Visos linijinio sluoksnio linijos pradžioje sujungiamos, tuomet išskaidomos tokiu būdu, kad kiekviena linija turėtų savo atributų eilutę, linijoms sugeneruojami galiniai taškai, identifikuojami kabantys mazgai, kurie toliau panaudojami nereikalingų linijų taškų pašalinimui paliekant tik upių santakos taškus (tikruosius mazgus). Linijos ties tikraisiais mazgais išskaidomos į atkarpas.
 - Linijiniam sluoksniui sukuriama pradžia ir pabaiga taškai (iš linijos atkarpų), jiems priskiriamos X ir Y koordinatės, visi taškai sujungiami į pradinį linijos failą, o vingiuotumas apskaičiuojamas kaip linijos ilgio ir tiesės tarp jos pradžios ir pabaigos taško ilgio santykis $Sqr(((X1 - X2)^2) + ((Y1 - Y2)^2))$. Kiekvienai išskirtai upės atkarpai suskaičiuojamas ir atributuose įrašomas vingiuotumo koeficientas.



4 pav. Upių klasifikavimas pagal vingiuotumo rodiklį (rezultatu pavyzdys)

7. *Statistinio ryšių tarp upių pakrantės polinkio kampų ir vagos gradiento bei vingiuotumo rodiklių paieška.* Siekiant patikrinti išsikeltas hipotezes (1 hipotezė) bei pagrįsti pakrantės

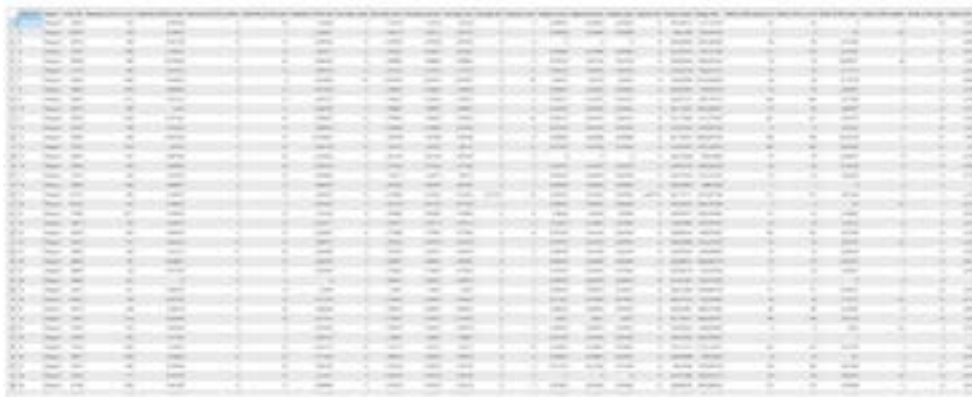
polinkio kampų klasių (išskirtų) jautrumą erozijai pasireikšti bei ryšius ir priklausomybę su kitais išskaičiuotais hidrografiniais rodikliais (vagos gradientas ir vingiuotumas), atlikta statistinė erdvinė lokalių dvimačių ryšių analizė.

Analizei atlikti Lietuvos upės sudalintos į 100 m atkarpas (iš viso gauta > 420 000 atkarpų), kiekvienai atkarpai, naudojant GIS sluoksnių perdangos ir statistinius įrankius priskirtos ir suskaičiuotos sekančios į ją patenkančių upių ir jų pakrančių rodiklių vertės (x lentelė). Gauti rezultatai plačiau aptarti toliau tekste.

9 lentelė. Statistiniai rodikliai dvimatei erdvinei statistinei analizei atlikti

Pagrindinis rodiklis	Išvestinis rodiklis (suskaičiuotas kiekvienai 200 m upių atkarpai) statistinei hidrografinių elementų tarpusavio ryšių analizei
Vingiuotumas	Minimumas, maksimumas, vidurkis, mediana
Vagos polinkio kampas	Minimumas, maksimumas, vidurkis, mediana
Pakrančių polinkio kampas	Minimumas, maksimumas, vidurkis, mediana

5 pav. išvestiniai statistiniai rodikliai sugeneruoti vektoriniam upių atkarpų sluoksniui, toliau naudotam statistinei erdvinei lokalių dvimačių ryšių analizei



8. Pakrančių erozijos rizikos balų (visiems objektams) ir pataisos koeficientų skaičiavimas, galutinių rezultatų sluoksnių sudarymas. Pakrančių erozijos rizikos vertinimas trims RCP scenarijams atliktas pakrančių apsaugos juostos ribose, įvesties duomenims naudojant 2*2 m skiriamosios gebos rastrinius ir vektorinius duomenis. Pradinių duomenų pasirinkimas lėmė tai, jog į kiekvieno vandens telkinio pakrantės juostą pateko daugybę gardelių (poligonų) pasižyminčių skirtingomis polinkio, taigi ir rizikos erozijai pasireikšti reikšmėmis. Jų klasių (8 lentelė) užimamas plotas taip pat skiriasi. Tuo pačiu administraciniai teritoriniai vienetai (kadastrinės vietovės ir seniūnijos) pasižymi skirtingu vandens telkinių plotu ir jų tankumu. Atsižvelgiant į tai, bei siekiant kuo objektyviau įvertinti (priskirti) bei pateikti potencialius erozijos riziką, taikyti sekantys skaičiavimai, sąlygos bei koeficientai.

$$(Proc_GRID1*0/100) + (Proc_GRID2*0,25/100) + (Proc_GRID3*0,5/100) + (Proc_GRID4*0,75/100) + (Proc_GRID5*1/100)$$

Čia: PROC_GRID1 – pakrančių pasižyminčių 0-1° šlaitais (nuolaidūs paviršiai) ploto procentinė dalis nuo visų pakrančių ploto (%) tenkanti administraciniam teritoriniam vienetai;

PROC_GRID2 – pakrančių pasižyminčių 1-3° šlaitais (l. lėkšti šlaitai) ploto procentinė dalis nuo visų pakrančių ploto (%) tenkanti administraciniam teritoriniam vienetai;

PROC_GRID3 – pakrančių pasižyminčių 3-7° šlaitais (lėkšti šlaitai) ploto procentinė dalis nuo visų pakrančių ploto (%) tenkanti administraciniam teritoriniam vienetai;

PROC_GRID4 – pakrančių pasižyminčių 7-15° šlaitais (statoki šlaitai) ploto procentinė dalis nuo visų pakrančių ploto (%) tenkanti administraciniam teritoriniam vienetai;

PROC_GRID5 – pakrančių pasižyminčių >15° šlaitais (statūs šlaitai) ploto procentinė dalis nuo visų pakrančių ploto (%) tenkanti administraciniam teritoriniam vienetai;

Pateikta lygtis kiekviename iš administracinių teritorinių vienetų leidžia paskaičiuoti bendrą erozijos rizikos balą. Vis dėl to, kaip jau minėta, administraciniai teritoriniai vienetai (seniūnijos ar kadastr. vietovės) skiriasi juose esančių vandens telkinių ir pakrančių tankumu bei užimamu plotu. Bendras erozijos rizikos balas neatsižvelgia į pakrančių santykinę ploto vertę, dėl to teritorijoms, kurios pasižymi mažu vandens telkinių (ir kartu pakrančių) plotu ir pavyzdžiui stacioniais pakrantėmis priskiriamos aukštos bendros rizikos balo vertės (ir atvirkščiai, teritorijos, kuriose stebimas didelis vandens telkinių tankumas, tačiau sąlyginai lėkšti krantai, bus priskiriamos neaukštos erozijos rizikos balų vertės). Taigi, sukalkuliuotam bendram erozijos rizikos balui būtina taikyti pataisą ir pagal užimamo ploto dalį.

$$\text{GRID_AREA_SUM} * 2 / \text{GRID_AREA_SUM}_{\text{max}} * \text{RIZIKA_GRID_PROC}$$

Čia: GRID_AREA_SUM – pakrančių plotas tenkantis administraciniam teritoriniam vienetai, GRID_AREA_SUM_{max} – pakrančių ploto administraciniuose teritoriniuose vienetuose maksimali reikšmė (atmetus duomenų imties išskirtis), RIZIKA_GRID_PROC – bendras erozijos rizikos balas be pataisos į pakrančių plotą administraciniuose ter. vienetuose.

1.3.5. Pakrančių erozijos rizikos galutinių balų verčių paaiškinimas

Sudarytuose galutiniuose pakrančių erozijos rizikos pagal klimato kaitos RCP 2.6, 4.5 ir 8.5 scenarijus sluoksniuose bei duomenų lentelėse, remiantis aukščiau pateikta metodika, sukalkuliuoti galutiniai erozijos rizikos balai. Jie pateikiami GIS *shape* seniūnijų ir kadastrinių vietovių ribų (poligonų) sluoksniuose „KADASTRINES_VIETOVES_PAKRANTĖS_RIZIKA“; ir „SENIUNIJS_PAKRANTĖS_RIZIKA“. Rezultatai taip pat išeksportuoti .xls lentelių formatu (failai „KADASTRINES_VIETOVES_PAKRANTĖS_RIZIKA_table“ ir „SENIUNIJS_PAKRANTĖS_RIZIKA_table“).

GIS duomenų sluoksniuose kiekvienam administraciniam teritoriniam vienetai (visoms seniūnijoms ir kadastrinėms vietovėms) priskirtos rizikos balų pagal klimato kaitos scenarijus (RCP 2.3, 4.5, 8.5) vertės, jos pateiktos „RIZIKA_26“, „RIZIKA_45“, „RIZIKA_85“ atributų lentelės stulpeliuose. Atributų duomenų lentelėje pateikiama ir kita informacija, plačiau ji paaiškinta žemiau pridedamuose duomenų sluoksnių lentelių pavyzdžiuose (10 ir 11 lentelė).

10 lentelė. GIS *shape* sluoksnių lentelės kadastrinių vietovių lygmenyje fragmentas ir informacijos stulpeliuose paaiškinimai

<i>Unikalūs kadastrinės vietovės kodo nr.</i>	<i>Vietovės kodas</i>	<i>Vietovės pavadinimas</i>	<i>Savivaldybės, kuriai priklauso vietovė pavadinimas</i>	<i>Rizikos balas pagal RCP 2.6 scenarijų</i>	<i>Rizikos balas pagal RCP 4.5 scenarijų</i>	<i>Rizikos balas pagal RCP 8.5 scenarijų</i>	<i>Kadastrinės vietovės perimetras</i>	<i>Kadastrinės vietovės plotas</i>
FID_KADAST	KOD_VIET	VIETOVE	SAVIVALDYB	RIZIKA_26	RIZIKA_85	RIZIKA_45	Shape_Leng	Shape_Area
1	3601	Anciškiei	Biržų r. sav.	0.87	0.87	0.87	37049.43	44310520.23
2	3603	Anglininkai	Biržų r. sav.	0.97	0.97	0.97	38103.75	38418902.54
3	3604	Biržai mst.	Biržų r. sav.	0.39	0.39	0.39	30293.80	17822483.75

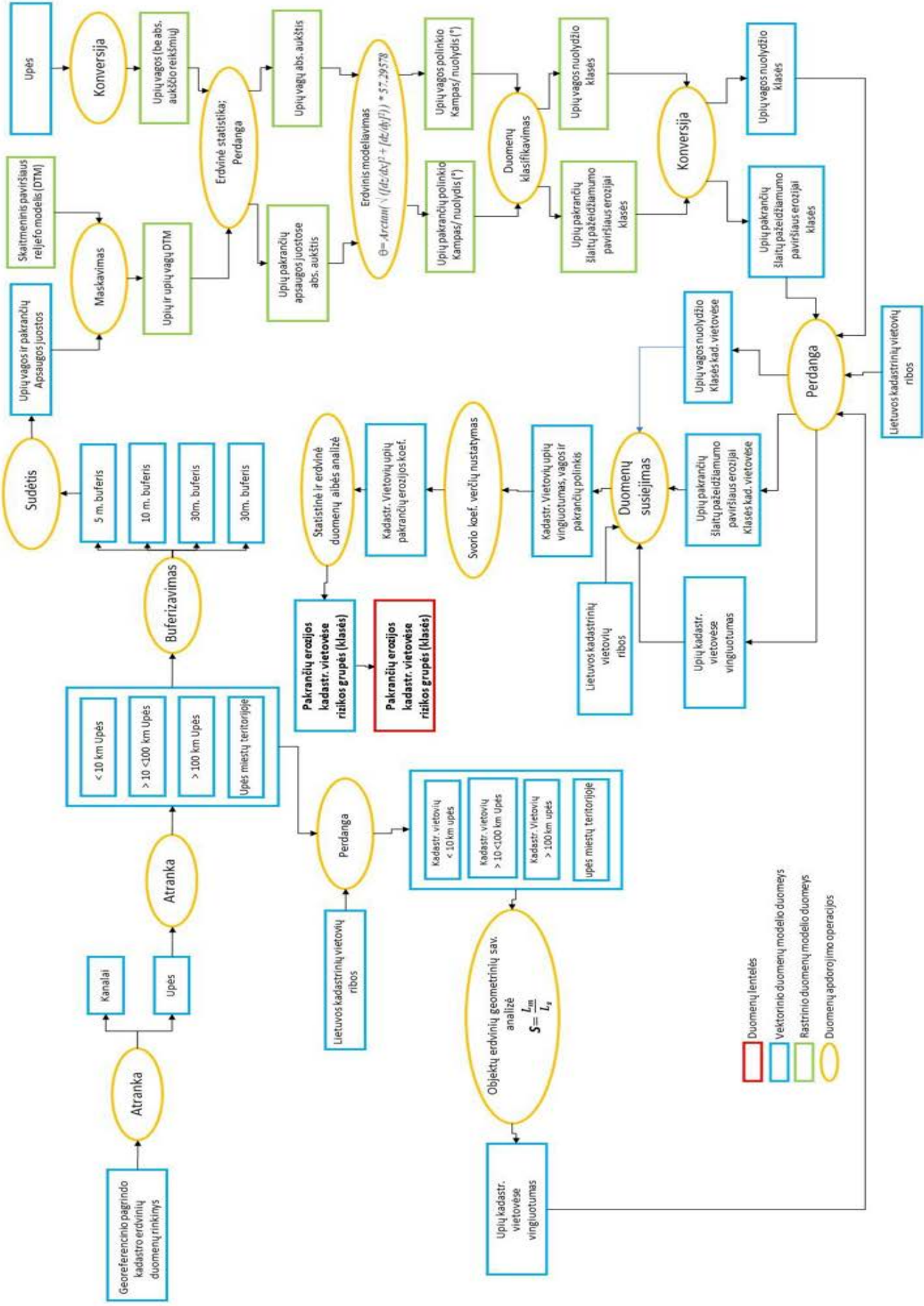
11 lentelė. GIS *shape* sluoksnių lentelės seniūnijų lygmenyje fragmentas ir informacijos stulpeliuose paaiškinimas

<i>Unikalaus seniūnijos kodo nr.</i>	<i>Seniūnijos kodas</i>	<i>Seniūnijos pavadinimas</i>	<i>Seniūnijos savivaldos tipas</i>	<i>Rizikos balas pagal RCP 2.6 scenarijų</i>	<i>Rizikos balas pagal RCP 4.5 scenarijų</i>	<i>Rizikos balas pagal RCP 8.5 scenarijų</i>	<i>Seniūnijos perimetras</i>	<i>Seniūnijos plotas</i>
FID_SENIUN	ISN	NAMN	DESN	RIZIKA_26	RIZIKA_85	RIZIKA_45	Shape_Leng	Shape_Area
1	4504	Klaipėda	Miesto savivaldybė	9.59	10.21	10.12	77110.88308320000	88316869.51
2	4505	Neringa	Savivaldybė	29.79	29.70	29.70	100541.58325800000	89452356.87
3	4504	Palanga	Miesto savivaldybė	10.46	11.65	11.50	61656.73766480000	78910015.86

Gauti galutiniai erozijos rizikos balai po atlikto normalizavimo procedūros (apskaičiavus pataisos koeficientus) pateiktuose duomenų sluoksniuose ir duomenų lentelėse apima reikšmių diapazoną tarp 0 ir 10. Šios reikšmės suskirstytos į 6 klases. Atskirai išskirtos teritorijos, kuriose pakrančių erozijos rizikų nėra (dažniausiai tai kadastrinės vietovės ar seniūnijos, į kurių ribas nepapuola vandens telkiniai arba jų plotas yra itin menkas), likusios 5 reikšmių intervalų klasės išskirstytos į labai silpnos, silpnos, vidutinės, didelės ir labai didelės erozijos rizikos grupes (12 lentelė).

12 lentelė. Galutinių pakrančių erozijos rizikos balų intervalai ir rizikos klasės

Erozijos rizika	Rizikos balas
Nėra	0
Labai silpna	> 0<2,5
Silpna	>2,5<5
Vidutinė	>5<7,5
Didelė	>7,5<10
L. didelė	>10



- Duomenų lentelės
- Vektorinio duomenų modelio duomenys
- Rastrinio duomenų modelio duomenys
- Duomenų apdorojimo operacijos

Georeferencinio pagrindinio kadastrinio erdvinio duomenų rinkinys

Atranka

Kanalai
Upės

< 10 km Upės
> 10 <100 km Upės
> 100 km Upės
Upės miestų teritorijose

Buferizavimas

5 m. buferis
10 m. buferis
30m. buferis
30m. buferis

Sudėtis

Upių vagos ir pakrančių Apsaugos juostos

Maskavimas

Skaitmeninis paviršiaus reljefo modelis (DTM)

Konversija

Upių vagos (be abs. aukščio reikšmių)

Upių pakrančių apsaugos juostose abs. aukštis

Erdvinė statistika; Perdanga

Upių pakrančių abs. aukštis

Erdvinis modeliavimas

Upių pakrančių polinkio kampas/nuolydis (°)

Upių pakrančių polinkio kampas/nuolydis (°)

Duomenų klasifikavimas

Upių pakrančių nuolydžio klasės

Konversija

Upių pakrančių nuolydžio klasės kad. vietovėse

Upių pakrančių slatų pažeidžiamumo paviršiaus erozijai klasės

Upių pakrančių slatų pažeidžiamumo paviršiaus erozijai klasės

Statistinė ir erdvinė duomenų aiškinė analizė

Pakrančių erozijos kadastr. vietovėse rizikos grupės (klasės)

Pakrančių erozijos kadastr. vietovėse rizikos grupės (klasės)

Svorio koef. vertių nustatymas

Kadastr. Vietovių upių vingiuotumas, vagos ir pakrančių polinkis

Upių kadastr. vietovėse vingiuotumas

Duomenų susiejimas

Lietuvos kadastrinių vietovių ribos

Upių kadastr. vietovėse vingiuotumas

Upių vagos nuolydžio klasės kad. vietovėse

Perdanga

Lietuvos kadastrinių vietovių ribos

$$S = \frac{L_m}{L_r}$$

Objektų erdvinio geometrinio sav. analizė

Upių kadastr. vietovėse vingiuotumas

Lietuvos kadastrinių vietovių ribos

6 pav. Pakrančių erozijos proceso GIS modeliavimo pavyzdinė loginė schema (parengta kadastrinių vietovių ir faktinės situacijos pavyzdžiu, rizikoms pagal RPC scenarijus įvertinti procesas kartojamas keičiant įvesties duomenis)

1.4. Statistinio ryšio paieškos tarp pakrančių erozijos rodiklių rezultatai

Siekiant pagrįsti siūlomą pakrančių erozijos rizikų vertinimo metodikos tinkamumą/ validumą atlikta statistinė nagrinėtų erozijos kintamųjų (vagos gradiento, upių vingiuotumo ir pakrančių polinkio kampo) ir jų tarpusavio ryšių analizė. Statistinių erdviųjų ryšių tarp nagrinėtų erozijos rodiklių įvertinimui pritaikyta **lokalių dvimačių ryšių analizė**.

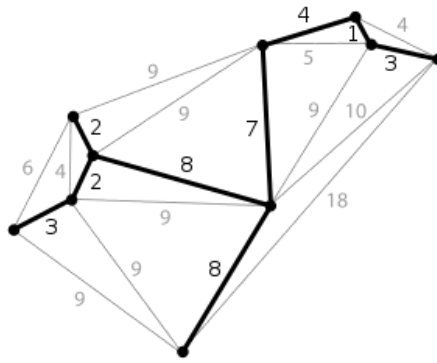
Šio tyrimų etapo metu laikytasi **hipotezės**: pakrančių polinkio kampų reikšmės priklausys nuo vagos gradiento ir/arba jos vingiuotumo. Esant lokaliai vagos gradiento pokyčiui (padidėjimui) pakrantėse bus stebimas jų šlaitų/ polinkio kampų padidėjimas, kas didins pakrantės erozijos rizikos laipsnį. Didėjant vagos vingiuotumo laipsniui pakrantėse bus sutinkami skardingų ardomų šlaitų.

Svarbus erdvinės analizės proceso atlikimo komponentas yra dviejų kintamųjų palyginimas, siekiant nustatyti, ar kintamieji yra susiję ir kaip jie yra susiję. Tokiems uždaviniams spręsti įprastai pakanka atlikti kruopštų kartografinį palyginimą arba panaudoti tiesinės regresijos metodą. Tačiau kartografinis palyginimas gali būti subjektyvus, o regresinė analizė gali perteikti tik „paprastus“ statistinius ryšius.

Lokalių dvimačių ryšių analizė leidžia kiekybiškai įvertinti erdvinis ryšius tarp dviejų kintamųjų ir identifikuoti jų pobūdį, nustatant, ar vieno kintamojo reikšmės priklauso nuo kito kintamojo reikšmės arba yra jų įtakojamos ir ar nustatyti ryšiai skiriasi (bei kaip) erdvėje. Analizės metu apskaičiuojama/ nustatoma kiekvienos vietinės kaimynystės (kaiminystė apibrėžiama pasirinktu dydžiu, tai yra - atstumu) entropijos statistiką, kuri kiekybiškai įvertina dviejų kintamųjų bendros informacijos kiekį. Skirtingai nuo kitų statistinių metodų, kurie dažnai gali užfiksuoti tik tiesinius ryšius (pvz., tiesinę regresiją), entropija leidžia įvertinti bet kokius struktūrinius ryšius tarp dviejų kintamųjų, įskaitant eksponentinį, kvadratinį, sinusoidinį ir net sudėtingą/ kompleksinį ryšį, kurio negalima perteikti įprastomis matematinėmis funkcijomis.

Entropija yra pagrindinė informacijos teorijos sąvoka ir ji naudojama atsitiktinio dydžio neapibrėžčiai kiekybiškai įvertinti. *Kuo mažiau nuspėjamas kintamasis, tuo didesnė entropija*. Ši sąvoka plačiai taikoma ir gali būti apskaičiuojama atskiriems atsitiktiniams dydžiams, o bendra entropija gali būti apskaičiuota tarp dviejų ar daugiau kintamųjų.

Bendra dviejų kintamųjų entropija yra lygi pirmojo kintamojo entropijai ir antrojo kintamojo entropijai, atėmus abiejų kintamųjų tarpusavio informaciją. Bendra informacija yra naudingas kintamųjų priklausomybės lygio kiekybinis įvertinimas, nes ji tiesiogiai matuoja, kiek informacijos galima gauti apie vieną kintamąjį, stebint kito kintamojo reikšmes. Norint įvertinti bendrą/ apibusę informaciją, reikia įvertinti kiekvieno atskiro kintamojo entropiją ir jų bendrą entropiją. Šios reikšmės priklauso nuo pagrindinių kintamųjų pasiskirstymo ir praktiškai niekada nėra žinomos. Vis dėl to, tyrimai rodo, kad bendrą kelių kintamųjų entropiją kaip kintamųjų bendro pasiskirstymo veiksnį galima įvertinti naudojant mažiausiai besitęsiančių medžių metodą (angl. power-weighted minimum spanning trees) (Guo, 2010).



7 pav. Planinis grafas ir jo mažiausias apimantis/ besitęsiantis medis. Kiekviena kraštinei/ briaunai priskirta jos svorio reikšmė, kuri yra proporcingas jos ilgiui

metodas leidžia įvertinti bendrą entropiją nežinant atskirų dviejų kintamųjų pasiskirstymo. Galimybė įvertinti bendrą entropiją yra naudinga, tačiau norint nustatyti, ar šie du kintamieji yra susiję, tikrai reikia žinoti abipusę/bendrą kintamųjų informaciją. Nors tiesiogiai įvertinti bendros informacijos, nežinodami dviejų kintamųjų pasiskirstymo negalime, galima naudoti permutacijas, kad atlikti statistiškai reikšmingų ryšių nulinės hipotezės testą.

Klausimas, ar du kintamieji yra susiję, priylgsta klausimui, ar jų bendra entropija (kurią galima įvertinti) yra žymiai mažesnė už atskirų dviejų kintamųjų entropijų sumą (kuriuos negalima įvertinti). Kitaip tariant, ar apskaičiuota bendra duomenų entropija yra žymiai mažesnė, nei būtų, jei du kintamieji būtų nepriklausomi? Norint tai nustatyti, kintamiesiems atliekamos permutacijos, tai yra - atsitiktinai priskiriant kiekvieną pirmojo kintamojo reikšmę naujai antrojo kintamojo reikšmei. Atsitiktinai suskirstę poras, permutuoti duomenų rinkiniai nedalins bendros/ abipusės dviejų kintamųjų informacijos, tačiau atskiros jų entropijos vertės nepasikeis. Sugeneruodami daug permutuotų duomenų rinkinių ir įvertinę kiekvieno iš jų bendrą entropiją, galite sudaryti bendros entropijos pasiskirstymą pagal nulinę hipotezę, kad du kintamieji yra nepriklausomi ir nesusiję. Bendra entropija, apskaičiuota pagal faktinius duomenis, gali būti lyginama su šiuo skirstiniu, o pseudo p reikšmė gali būti apskaičiuota pagal permutacijų, kurių bendra entropija yra mažesnė už bendrą faktinių duomenų entropiją, proporciją.

Lokalių dvimačių ryšių analizės rezultatas

Kiekvienam duomenų aibės elementui remiantis apibrėžtu atstumu (arba kaimynų skaičiumi) ir analizei nurodytų rodiklių informacija, priskiriamas nustatyto statistinio ryšio pobūdis:

Nereikšmingas – ryšys tarp kintamųjų nėra statistiškai reikšmingas;

Teigiamas tiesinis – priklausomas kintamasis didėja tiesiškai, kai didėja aiškinamasis kintamasis;

Neigiamas tiesinis – priklausomas kintamasis tiesiškai mažėja, kai aiškinamasis kintamasis didėja;

Igaubtas – priklausomas kintamasis keičiasi įgaubta kreive, kai aiškinamasis kintamasis didėja. Paprastai įgaubtos kreivės yra išlinkusios žemyn;

Išgaubtas – priklausomas kintamasis keičiasi išgaubta kreive, kai aiškinamasis kintamasis didėja; Paprastai išgaubtos kreivės yra išlinkusios aukštyn;

Neidentifikuotas kompleksinis – kintamieji yra labai susiję, tačiau ryšio tipo negalima patikimai apibūdinti jokia kita kategorija.

Analizės metu sudarytas GIS sluoksnis, kuriame visos Lietuvos upės sudalintos į 100 m ilgio atkarpas. Šioms atkarpoms suskaičiuoti ir priskirti joms tenkančių pakrančių duomenys: minimumas, maksimumas, mediana, vidurkis; taip pat suskaičiuotos vagos (tenkančios išskirtai

atkarpai) vingiuotumo maksimumas, minimumas, mediana, vidurkis; vagos gradiento maksimumas, minimumas, mediana, vidurkis. Viso išskirta 428 281 atkarpa.



8 pav. Lietuvos upių sudalintų į 100 m atkarpas sluoksnio fragmentas

Lokalių dvimačių ryšių analizės būdu tirti ryšiai tarp vagos polinkio kampo (maksimalios vagos vandens lygio polinkio kampo reikšmės išskirtose 100 m. atkarpose) ir pakrantės polinkio kampo (maksimalios polinkio kampo vertės 100 m atkarpoje), kaiminystės rodikliui nustatytas 30 kaimynų skaičius.

Pirmuoju atveju gauti rezultatai rodo, kad didelė dalis nagrinėtų elementų demonstruoja aiškų tiesioginį linijinį (79,15%) statistinį ryšį (9 pav.). Tik palyginti nedidelė dalis išskirtų upių atkarpų (iš 428 821 apie 41 750 arba 9.75) nepasižymėjo pakrantės polinkio kampo (max.) ir vagos gradiento (max.) tarpusavio ryšiu (11 pav.). Kitokio pobūdžio ryšių atliktos analizės atveju identifikuota nedideliais kiekiais atvejų (9 pav.).

Apibendrinant, galima teigti, kad iškelta hipotezė (jos dalis: Esant lokaliai vagos gradiento pokyčiui (padidėjimui) pakrantėse bus stebimas jų šlaitų/ polinkio kampo padidėjimas, kas didins pakrantės erozijos rizikos laipsnį) patvirtinta. Didžioji dalis Lietuvos upių atitinka minimą modelį bei jose stebimas aiškus tiesioginis linijinis statistinis ryšys tarp pakrantės polinkio kampo ir vagos gradiento/ polinkio kampo. Gauti rezultatai yra statistiškai reikšmingi ($p < 0,05$).

Categorical Summary

Description	# of features	% of features
Positive Linear	338876	79,15
Negative Linear	68	0,02
Concave	16453	3,84
Convex	8125	1,90
Undefined Complex	22909	5,35
Not Significant	41758	9,75
Total	426281	100,00

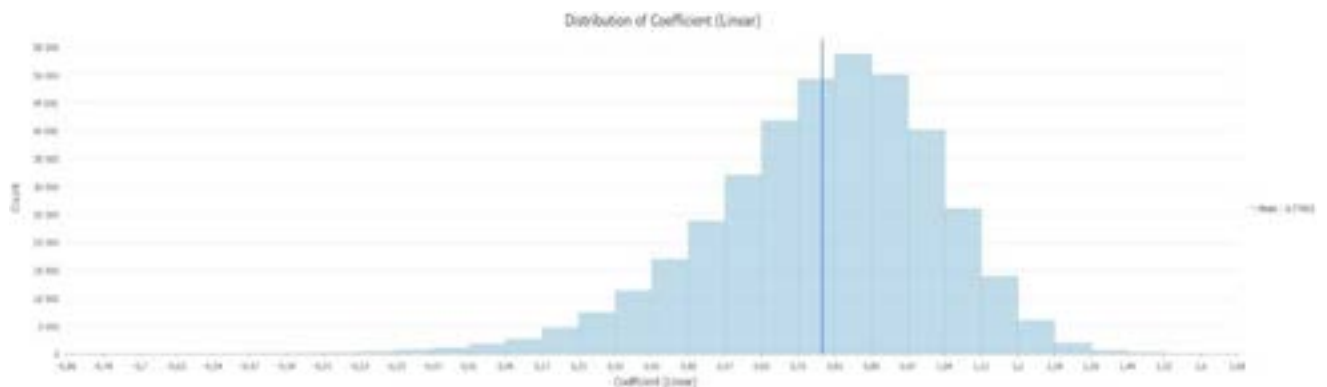
Entropy Results Summary

Description	Min	Max	Mean	Median
Entropy	0,6579	1,4148	1,0251	1,0243
p-value	0,0018	0,9990	0,0339	0,0018

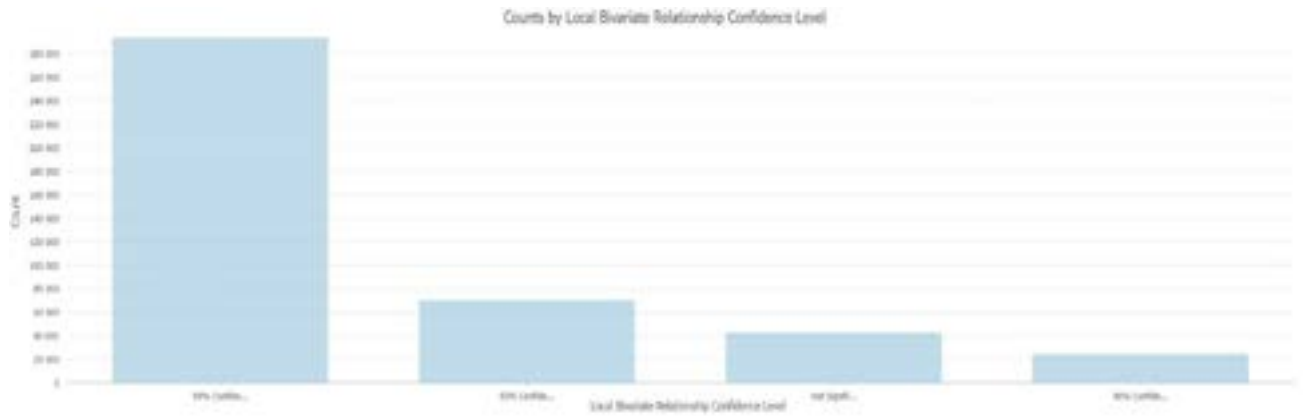
FDR Comparison

Description	# significant	% significant
without FDR	389492	90,94
FDR	386531	90,25

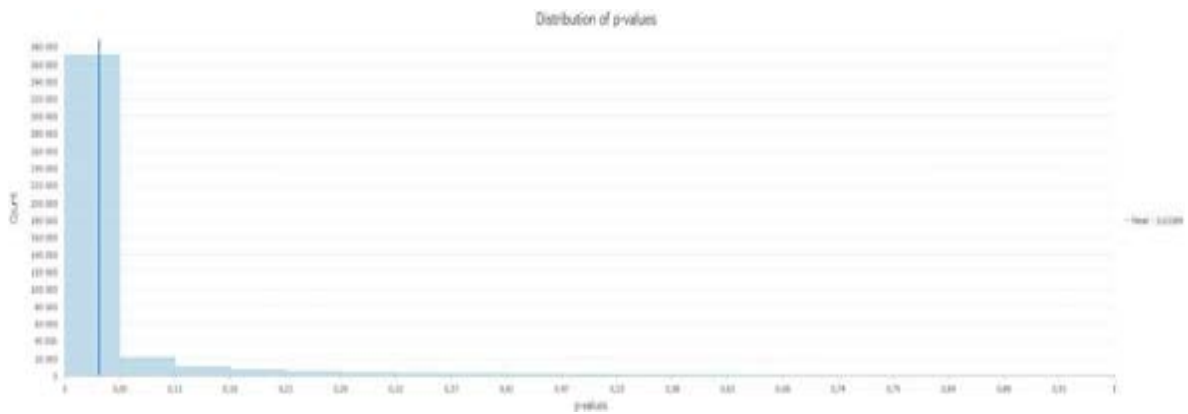
9 pav. Lokalių dvimačių ryšių analizės rezultatų suvestinė. Analizės rodikliai: vagos polinkio kampas (maksimali vagos polinkio kampo reikšmė išskirtose 100 m. atkarpose) ir pakrantės polinkio kampas (maksimali polinkio kampo vertė 100 m atkarpoje)



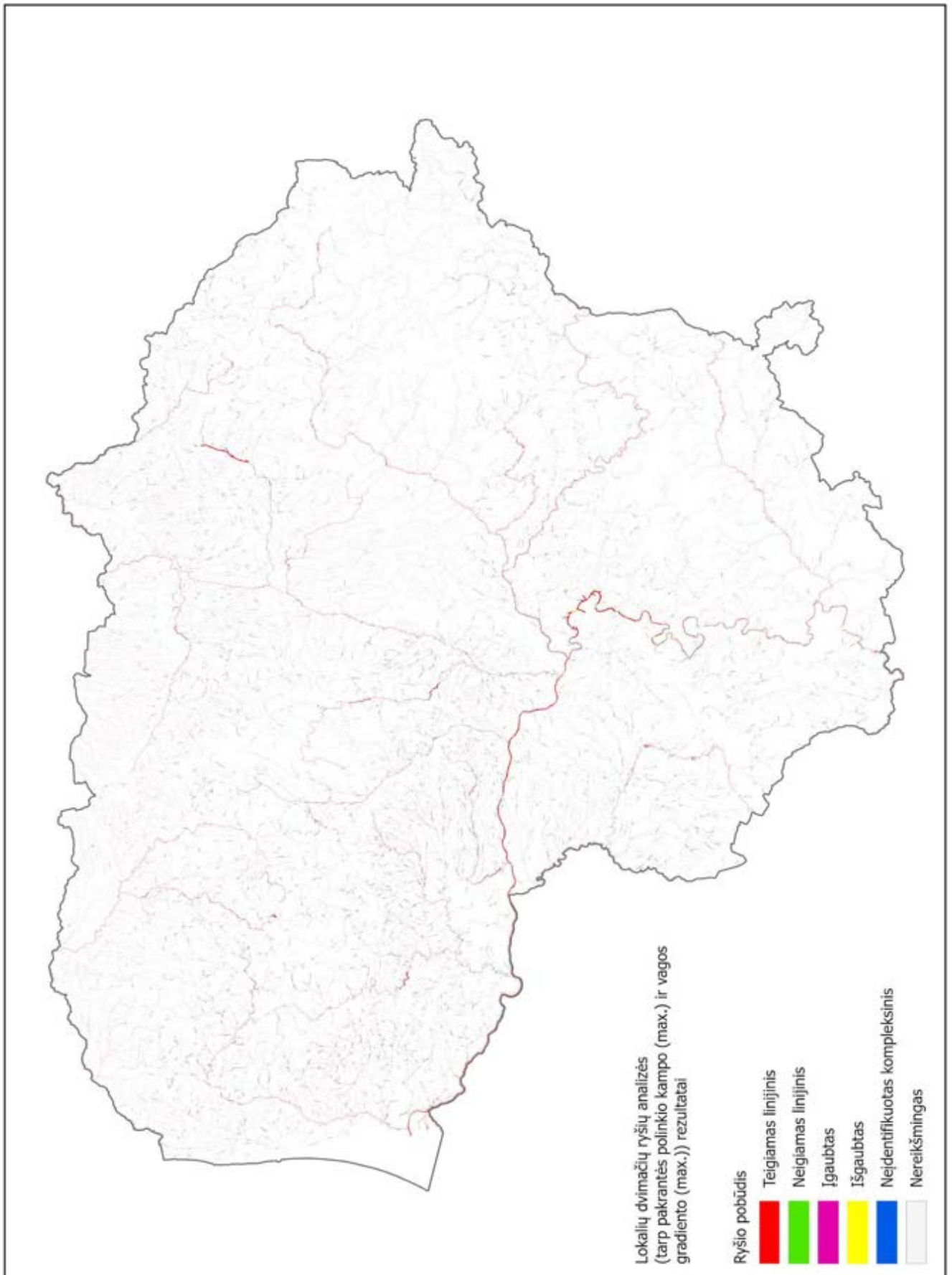
10 pav. Tiesinės linijinės regresijos modelio (įvertinto analizės metu) determinacijos koeficiento R^2 (tarp vagos polinkio kampo (max) ir pakrantės polinkio kampo (max)) vertės (vidurkis – 0,78)



11 pav. Nustatytos patikimumo klasės



12 pav. Nustatytos (p-reikšmės) statistinio reikšmingumo koeficiento reikšmės. Nustatytas statistinis ryšys ir gauti jo rodikliai (R2) bus statistiškai reikšmingi kai $p < 0,05$



13 pav. Lokalių dvimačių ryšių analizės (tarp pakrantės polinkio kampo (max.) ir vagos gradiento (max.)) rezultatai

Antruoju atveju, tirtas vagos polinkio kampo (max.) ir upės vingiuotumo rodiklio ryšys. Priešingai negu pirmuoju atveju, atliktos analizės eigoje nustatyta, kad tarp šių rodiklių jokių statistinių ryšių nėra (100 % atvejų reikšmingų statistinių ryšių nerasta) (14 pav.). Bandymai atlikti taikant skirtingo dydžio kaiminystės rezultatų taip pat nedavė.

Rezultatai paneigia antrąją iškeltos hipotezės dalį (didėjant vagos vingiuotumo laipsniui pakrantėse bus sutinkami skardingų ardomų šlaitų) ir leidžia suponuoti, kad upių vagų vingiuotumas neturi įtakos pakrančių apsaugos zonų polinkio kampams, o tuo pačiu ir stambesnių erozijos židinių susidarymui šiose vietose.

Categorical Summary

Description	# of features	% of features
Positive Linear	0	0,00
Negative Linear	0	0,00
Concave	0	0,00
Convex	0	0,00
Undefined Complex	0	0,00
Not Significant	402281	100,00
Total	402281	100,00

Entropy Results Summary

Description	Min	Max	Mean	Median
Entropy	0,1369	1,1234	0,6295	0,6300
p-value	0,9602	1,0000	0,7751	0,5100

FDR Comparison

Description	# significant	% significant
Without FDR	96,179	23,92
FDR	0	0,00

14 pav. Lokalių dvimačių ryšių analizės rezultatų suvestinė. Analizės rodikliai: vagos vingiuotumas (maksimali vingiuotumo reikšmė išskirtose 100 m. atkarpose) ir pakrantės polinkio kampas (maksimali polinkio kampo vertė 100 m atkarpoje)

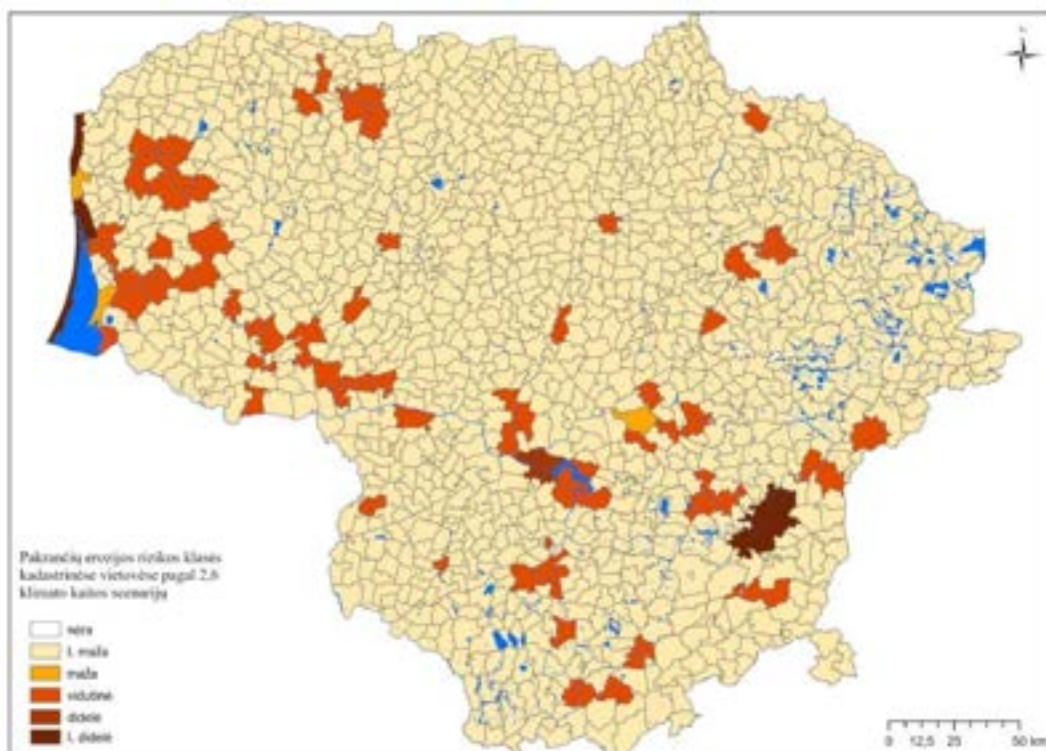
1.5. Pakrančių erozijos rizikos prognozių pagal RCP (2.6, 5.4, 8.5) scenarijus modeliavimo rezultatai

Gauti pakrančių erozijos rizikų modeliavimo rezultatai rodo, kad didžiausiomis rizikomis pasižymi vakarų Lietuvos – pajūrio regiono kadastrinės vietovės ir Vilniaus (l. didelė), o tai pat Kauno (didelė) teritorijos. Pajūrio regiono atveju labai didelės rizikos vertės lemia pakrančių nestabilumas ir jų kaita dėl vyraujančių gamtinių sąlygų, o taip pat dėl kylančio Baltijos jūros vandens lygio. Prognozuojama, kad ateityje pagal RCP 4.5 ir 8.5 scenarijus toliau kylant Baltijos vandens lygiui, didesnės pakrančių erozijos rizikos susidarys ir Nemuno deltos bei Kuršių marių pakrantės kadastrinėse vietovėse, kurios pasižymi itin nedideliu absoliutiniu aukščiu (nesiimant inžinerinių sprendimų ateityje šioje vietovėje bus stebimas palaipsnis teritorijų užliejimas) (16 ir 17 pav.).

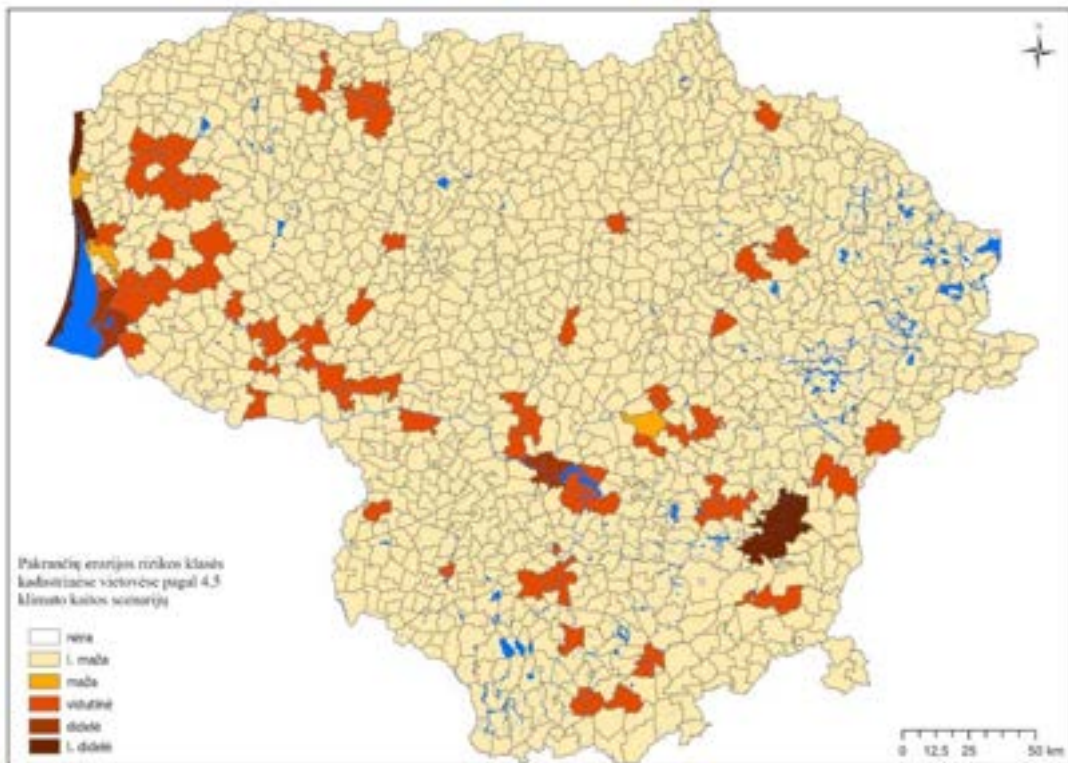
Vilniaus atveju, visais modeliuojamais scenarijais, gauta labai didelė pakrančių erozijos rizika. Rezultatai paaiškinami santykinai dideliu vandens telkinių kiekiu ir gilių terasinių bei stipriai erozijos paveiktų Nerės, Vokės, Vilnios ir kai kurių smulkesnių upelių slėnių būvimu (15, 16, 17 pav.).

Kauno didelės rizikos balų vertės yra įtakotos Nemuno, Nerės ir Kauno marių pakrantės (tenkančios miesto teritorijai) rodikliais (15, 16, 17 pav.).

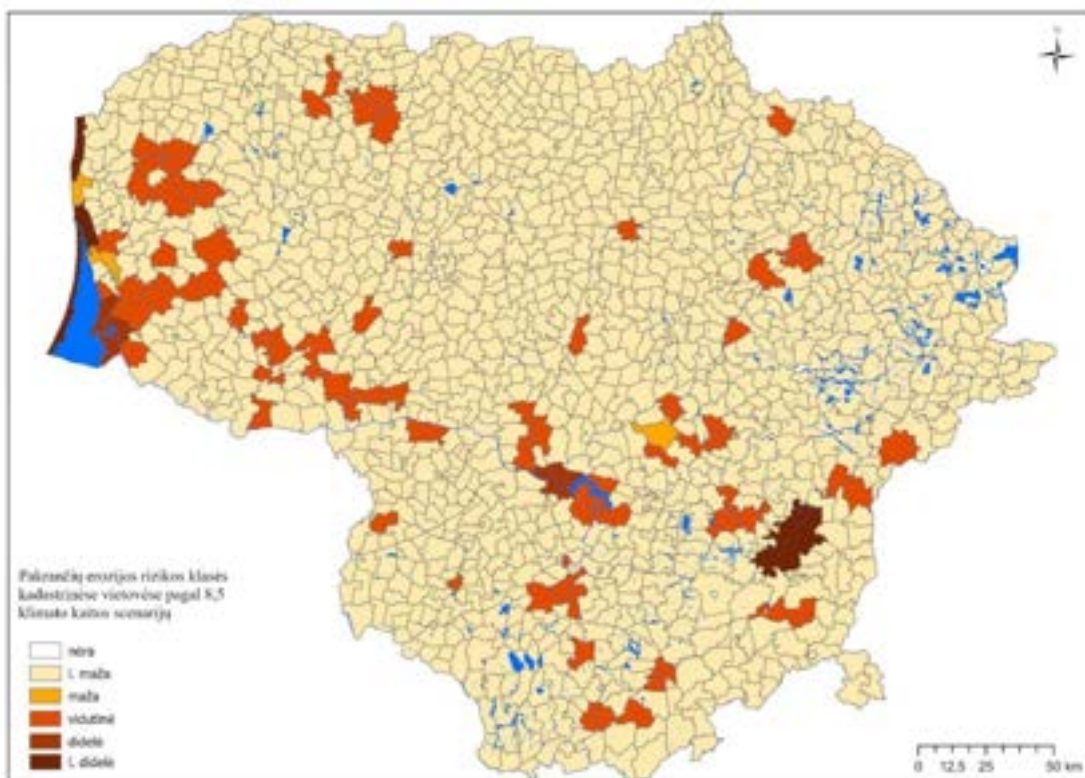
Likusioje Lietuvos teritorijos dalyje, atskirose kadastrinėse vietovėse išskirta vidutinė pakrančių erozijos rizika. Šis balas žemyninėje šalies dalyje pagrįstai nulemtas vietovių tenkančių upių slėnių charakteristikomis (15, 16, 17 pav.).



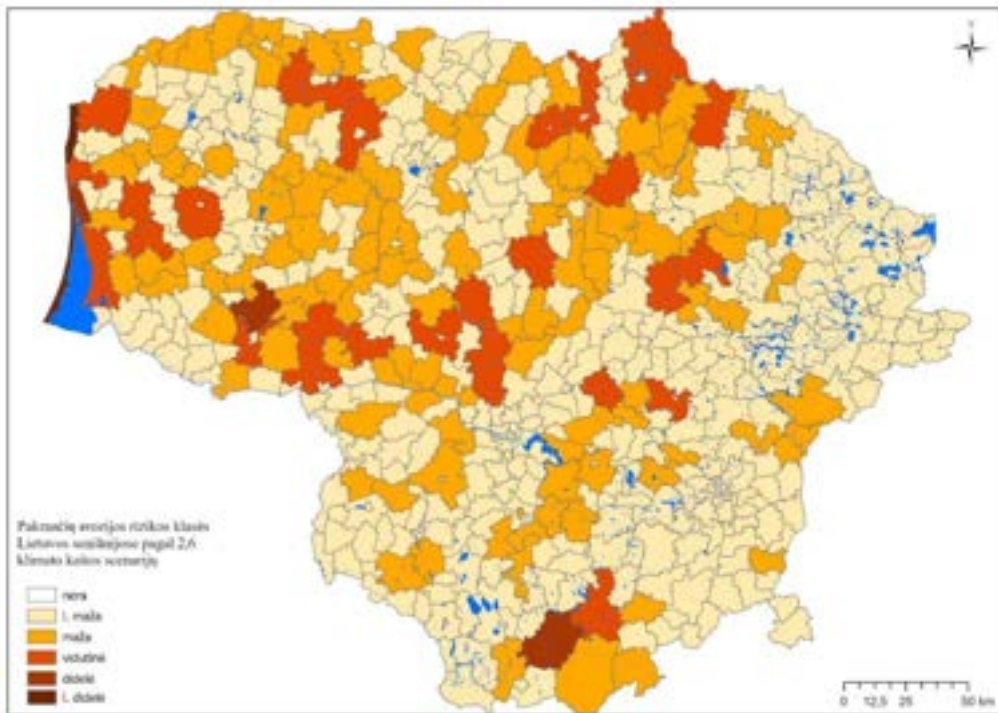
15 pav. Pakrančių erozijos rizikos klasės kadastrinėse vietovėse pagal RCP 2,6 klimato kaitos scenarijų



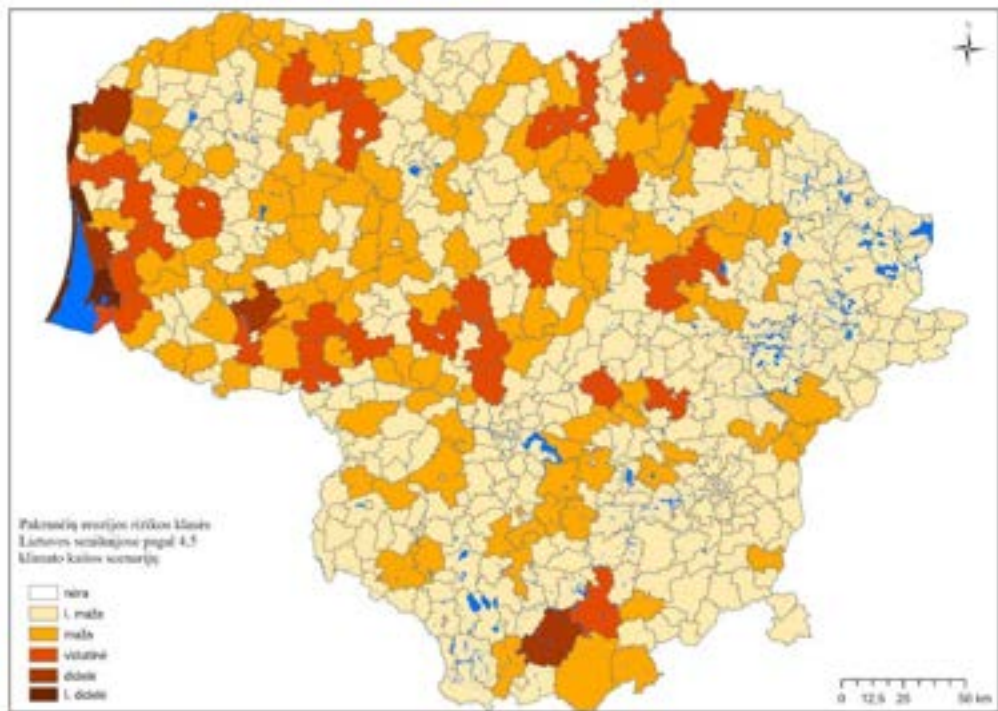
16 pav. Pakrančių erozijos rizikos klasės kadastrinėse vietovėse pagal RCP 4,5 klimato kaitos scenarijų



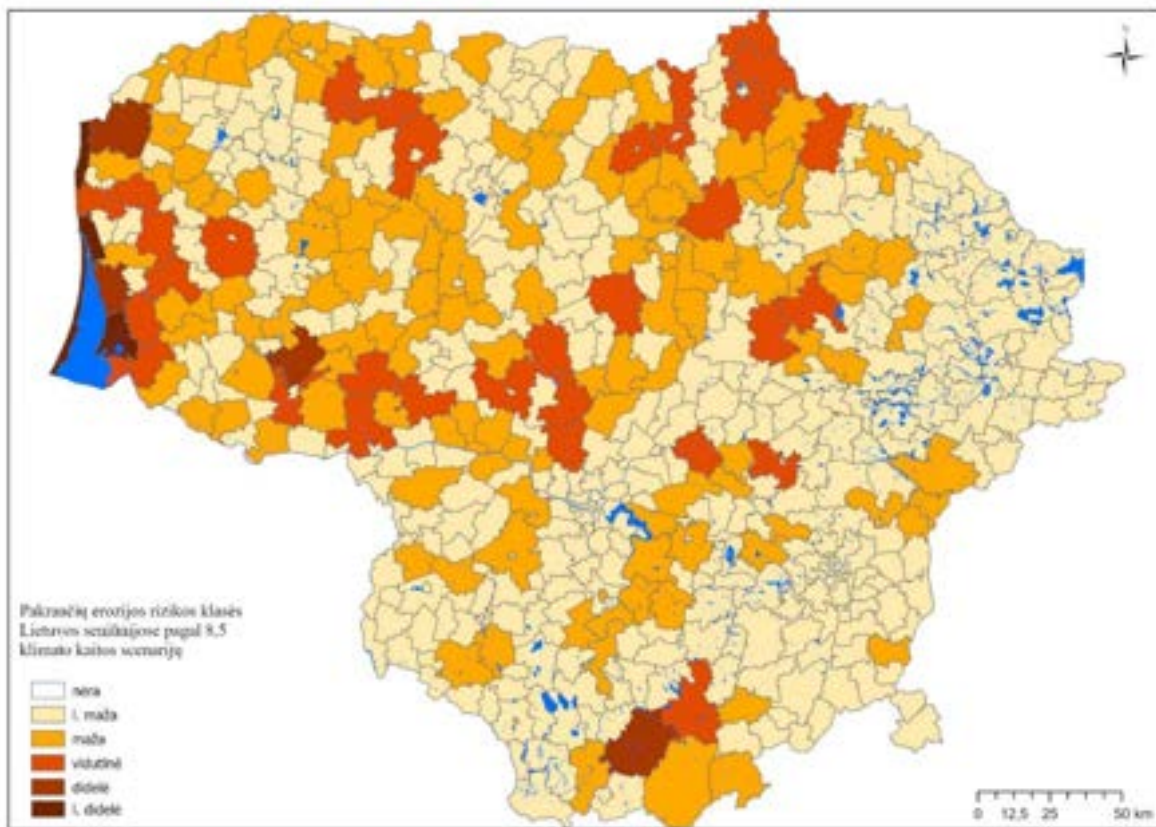
17 pav. Pakrančių erozijos rizikos klasės kadastrinėse vietovėse pagal RCP 8,5 klimato kaitos scenarijų



18 pav. Pakrančių erozijos rizikos klasės seniūnijos pagal RCP 2,6 klimato kaitos scenarijų



19 pav. Pakrančių erozijos rizikos klasės seniūnijos pagal RCP 4,5 klimato kaitos scenarijų



20 pav. Pakrančių erozijos rizikos klasės seniūnijos pagal RCP 8,5 klimato kaitos scenarijų

Seniūnijų atveju didieji miestai išdalinus jų teritoriją į smulkesnius teritorinius vienetų, praranda erozijos rizikos balų vertę, tačiau bendrame Lietuvos kontekste išryškėja seniūnijos, kurios pasižymi didesniu upių tinklo tankumu (vidurio ir vakarų Lietuva, Pietų Lietuva su Nemuno ir Merkio upių baseino upėmis (Merkinės seniūnija)) (18, 19, 20 pav.). Rytų Lietuvoje – Baltijos aukštumose dėl retesnio upių tinklo erozijos rizikos reikšmės yra labai mažos, tokios pat jos išlieka ir Dzūkų, Sūduvos aukštumose.

Kaip rodo gauti rezultatai, didžiausiomis rizikomis pasižymi pajūrio seniūnijos. Ateityje, kylant Baltijos jūros vandens lygiui, šioje šalies dalyje pakrančių erozijos išliks labai didelė, o Kuršių marių pakrantės seniūnijose (Rusnė, Šilutė, Kintai, Priekulė) ji dar labiau augs (18, 19 ir 20 pav.). beje, įdomu tai, kad ryškių skirtumų tarp RCP 4,5 ir 8,5 scenarijų rezultatų tyrimų eigoje nenustatyta.

2. Solifliukcijos rizikos vertinimas atsižvelgiant į RCP klimato kaitos scenarijus

2.1. Solifliukcijos procesą lemiantys veiksniai

Solifliukcija – lėtas, plastiškas sudulėjusios atitirpusios ir įmirkusios medžiagos slinkimas (bliukimas) įšalusiu šlaito paviršiumi žemyn. Procesas nulemtas šalčio, vandens ir dirvožemio įšalo gylio. Solifliukcija vyksta kuomet laisvas vanduo dėl dirvožemio įšalo negalėdamas skverbtis gilyn yra priverstas judėti šlaitu žemyn, mažindamas grunto dalelių sankabumą. Dėl to įmirkęs gruntas virš įšalusio horizonto pradeda slinkti žemyn. Solifliukcija vyksta daugiau kaip 2°, o labiausiai ji paplitusi – 8–15° polinkio šlaituose. Slinkimo greitis priklauso nuo: šlaito polinkio, dispersinių dalelių kiekio, sluoksnio storio ir tūrio, granulometrinės sudėties, augalijos dangos, dirvožemio įšalo sluoksnio storio, įšalo stabilumo, dirvožemio drėgmės. Įprastai solifliukcija apibūdinama kaip periglacialinis (kriogeninis) procesas. Tai reiškia, jog jis yra įprastas daugiamečio įšalo ir ledynų įtakos (nuledėjusiose) zonos teritorijose. Vis dėl to susiklosčius palankioms sąlygoms nedideliais plotais solifliukcija gali vykti ir Lietuvoje.

Dažniausiai tai lėtas procesas, kurio greitis įprastai siekia keletą cm per metus (kartais būna katastrofiškų, nuošliaužas sukeliančių slinkimų – iki kelių šimtų metrų per valandą, tačiau tai išimtiniai atvejai, nepasitaikantys mūsų klimato sąlygomis). Vykstant solifliukcijai, susidaro solifliukcinės terasos, pakopos, pylimai, liežuviai ir kitos šlaitų deformacijos. Lietuvoje ryškiausi solifliukcijos pėdsakai matomi upių slėniuose, tačiau lokaliai šis reiškinys gali būti sutinkamas ir kitose teritorijose su tinkamų sąlygų kompleksu.

2.2. Erdvinis Solifliukcijos rizikų modeliavimas

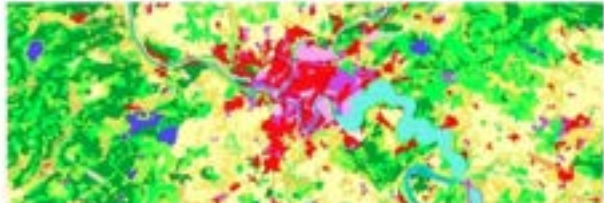
2.2.1. Solifliukcijos rizikos rodikliai

Solifliukcijos modeliavimas sietinas su eilės faktorių ir rodiklių, įtakojančių reiškinio galimą pasireiškimą ir atsiradimą vietovėje, vertinimu. Dalies faktorių vertinimui gali būti naudojami tiesioginiai jų duomenys, kitų – išvestiniai. Kadangi vidutinių platumų klimato juostoje šis reiškinys nėra plačiai paplitęs, tyrimų susijusių su šiuolaikine jo dinamika, beveik nėra, tačiau remiantis klasikine reiškinio samprata tarp aktualių rodiklių galima įvardinti: paviršiaus reljefo polinkio kampa, dirvožemio įšalo gylį, dirvožemio įšalimo periodiškumą, kas siejasi su kitu rodikliu - neigiamom šaltojo laikotarpio temperatūrom (jų trukme), dirvodarinių uolienuų ir dirvožemio savybėmis (infiltracijos savybėmis), kritulių šaltuoju laikotarpiu kiekiu ir lokaliame lygmenyje - šlaitų ekspozicija, žemės dangos tipu. Visi įvardinti rodikliai įtraukti į tolimesnį solifliukcijos rizikų vertinimą. Pagal jų reikšmių intervalus išskirtos rodiklių verčių klasės, joms priskirti balai, kuriuos susumuojant vėliau gaunamas suminis solifliukcijos rizikos balas.

Suminis solifliukcijos rizikos balas atskleidžia solifliukcijos riziką 100 m² (imant pagal reljefo polinkio pradinius įvesties duomenis) gardelėje, todėl įvertinti bendrą rizikos balą seniūnijų ir kadastrinių vietovių teritorijose pagal joms tenkančių skirtingos rizikos gardelių santykinį plotą (ir jų svorio koeficientą), taikyti papildomi skaičiavimai. Kadangi administraciniai teritoriniai vienetai tarpusavyje skiriasi solifliukcijai jautrių teritorijų plotu, bendram solifliukcijos balui pritaikytas pataisos koeficientas pagal užimamą santykinį potencialiai paveiktų teritorijų plotą (imant nuo bendro adm. teritorinio vieneto ploto), taip gaunamas galutinis solifliukcijos rizikos balas.

Visų rodiklių reikšmių vertės ir jiems priskirti balai paaiškinti 13-19 lentelėse, tuo tarpu rodikliams skaičiuoti naudoti duomenys bei jų šaltiniai aptariame sekančiame poskyryje (2.2.3.).

13 lentelė. Solifliukcijos reiškinių modeliavimo rodikliai

Rodiklis	Balai				
Žemės dangos pobūdis	Solifliukcijos rizikos vertintos tik teritorijose padengtose nesumedėjusia augalija. Laikytasi prielaidos, kad sumedėjusios augalijos šaknų sistema (medžių šaknys) sutvirtina ir sulaiko šlaito slinkimą. Dėl šios priežasties į analizės procesą atrinktos sekančios žemės paviršiaus dangos pagal CORI NE klasifikaciją klasės: 141 Green urban areas; 122 Road and rail networks and associated land; 142 Sport and leisure facilities; 231 Pastures; 321 Natural grasslands.				
					
	žolinė Žemės dangos sluoksnio fragmento pavyzdys				
Polinkio kampas	1	1	2	3	4
Krituliai šaltuoju laikotarpiu	1	2	3	4	5
Infiltracijos (pralaidumo) koeficientas	1	2	3	4	5-6
Dirvožemio įšalo gylis (max.)	1	2	3	4	5
Šlaito ekspozicija	1	2	3	4	5
Neigiamos temperatūros (dienų suma per 10 d.)	1	2	3	4	5
Solifliukcijos rizikos klasės pagal dalinių rodiklių balų sumą	L. maža	Maža	Vidutinė	Didelė	L. didelė

14 lentelė. Paviršiaus reljefo polinkio kampo/ šlaitų klasės

Paviršiaus reljefo polinkio kampas (°)		
Rodiklio vertės	Polinkio kampo klasės	Šlaitų statumo klasės
1	2-3	L. Lėkšti
2	3-7	Lėkšti
3	7-15	Statoki
4	>15	Statūs

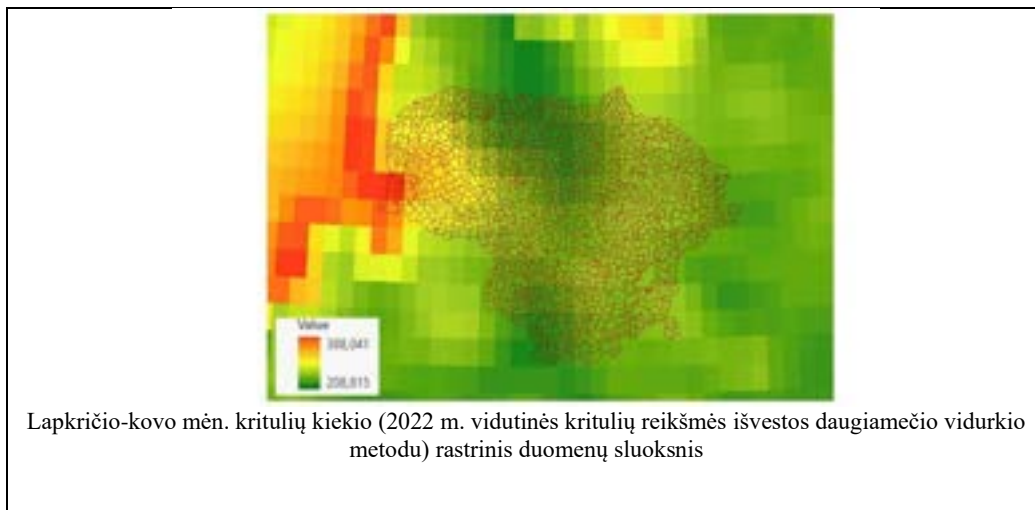
Polinkio kampų klasės išskirtos pagal šlaitų statumo kategorijas (pagal Kavoliutę, 2004) kiekvienai priskiriant rodiklio balo vertę nuo 1 labai lėkštiems, iki 4 statiesiems šlaitams. Kadangi medžiagos slinkimas šlaitu prasideda prie > 2° statumo šlaito, visos mažesnius polinkio kampus turinčios gardelės iš tolimesnės analizės proceso buvo eliminuotos.

15 lentelė. Lapkričio-kovo mėn. kritulių kiekio rodiklio klasės (mm)

Rodiklio vertės	Krituliai šaltuoju laikotarpiu (lapkričio-kovo mėn., mm)
1	200-250
2	250-300
3	300-350
4	350-400
5	>400

Viena iš būtinų solifliukcijai vyktį sąlygų – stipriai įmirkęs gruntas. Su šia sąlyga tiesiogiai siejasi kritulių kiekis. Šaltuoju laikotarpiu, ant įšalusio dirvožemio sluoksnio esantis kitas - stipriai įmirkęs sluoksnis pradeda judėti. Taigi šaltuoju laikotarpiu iškritę krituliai stipriai prisideda prie dirvožemio drėgmės sąlygų įtakančių solifliukcijos reiškinių atsiradimo.

Nepaisant to, kad naudoti duomenys apima visą Europos žemyno teritoriją, kritulių šaltuoju metų laikotarpiu pasiskirstymas vertintas Lietuvos teritorijos ribose. Kritulių intervalų klasės nustatytos remiantis daugiamečio kritulių (šaltuoju laikotarpiu) pasiskirstymo duomenimis. Apačioje pridedamas 2020 m. situacijos (paskaičiuota pagal daugiamečių vidurkį) kritulių šaltuoju laikotarpiu rastrinio sluoksnio, naudoto duomenų analizei, pavyzdys. Klimatinių ateities porjeksių duomenų specifikacija pateikiama 14 lentelėje.



16 lentelė. Dirvodarinių uolienuų pralaidumo koeficiento rodiklio klasės

Rodiklio vertės	pralaidumo koef.
1	s – smėlis; s1 – rišlus smėlis; durpė – d;
2	ps – priesmėlis; sp – smėlingas lengvas priemolis; dps – dulkiškas priesmėlis;
3	da – dulkės (aleuritai); dp – dulkiškas lengvas priemolis; p1 – vidutinio sunkumo priemolis;
4	sp2 - smėlingas sunkus priemolis; dp1 – dulkiškas vidutinio sunkumo priemolis; p2 – sunkus priemolis; dp2 – dulkiškas sunkus priemolis;
5	sm – smėlingas molis;
6	dm – dulkiškas molis; m – molis;

Mechaninė grunto (kvartero nuogulų) sudėtis lemia jo savybes sugerti, praleisti arba išlaikyti vandenį. Drėkinimo metu pripildžius visas dirvožemio poras bei vandeniu išstumiant orą yra pasiekiamas dirvožemio prisotinimas.

Lengvesnės granulimetrinės sudėties gruntuose/ dirvožemyje vandens filtracija yra greitesnė, o sulaikymas yra mažesnis nei sunkesniuose dirvožemiuose. Dėl to prasciausiai vandenį išlaiko smėlis ir durpės, geriausiai – dulkiškas molis ir molis.

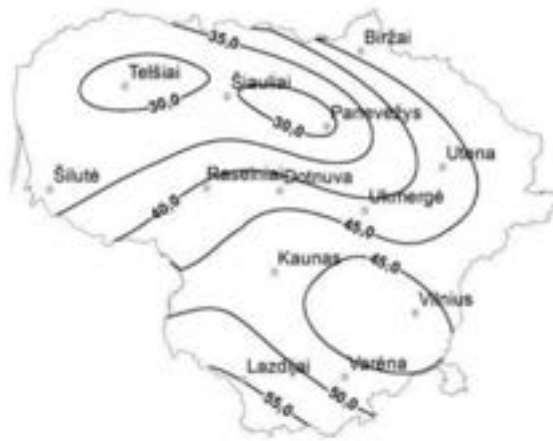
Šio tyrimo rėmuose dirvodarinių uolienuų pralaidumo vandeniui koeficientas skaičiuotas atsižvelgiant į granulimetrinę sudėtį ir JAV žemės ūkio tarnybos parengtą RUSLE (angl. Revised soil los equation) modelio dirvožemio erodotumo faktoriaus (K faktorius) bei jo dalinio rodiklio – dirvožemio pralaidumo vertinimo metodiką.

17 lentelė. Dirvožemio įšalo gylio rodiklio klasės

Rodiklio vertės	Dirvožemio įšalo gylis
1	30-35
2	35-40
3	40-45
4	45-50
5	>50

Dirvožemio įšalo gylis – svarbus solifliukcijos reiškinio rodiklis. Solifliukcija vyksta tuomet, kai vyrauja palankios sąlygos dirvožemio įšalui atsirasti ir viršutinei jo daliai periodiškai (tuo pačiu vykstant dirvožemio įmirkimui ar dirvožemiui esant užmirkusiam) atitirpstant. Viršutinis atitirpęs dirvožemio sluoksnis, sukaukęs ribinį drėgmės kiekį ir negalėdamas daugiau praleisti ar sugerti drėgmės, pradeda judėti šlaitu žemyn.

Dirvožemio įšalo gylis priklauso nuo kelių pagrindinių faktorių – klimatinų (neigiamų temperatūrų paros ir sezono bėgyje trukmės, grunto mechaninės sudėties). Lietuvos teritorijos ribose įšalo gylis skiriasi. Remiantis V. Mačiulytės ir E. Rimkaus atliktu tyrimu (2016), vakarų Lietuvoje maksimalus įšalo gylis yra mažiausias, pietų Lietuvoje – didžiausias.

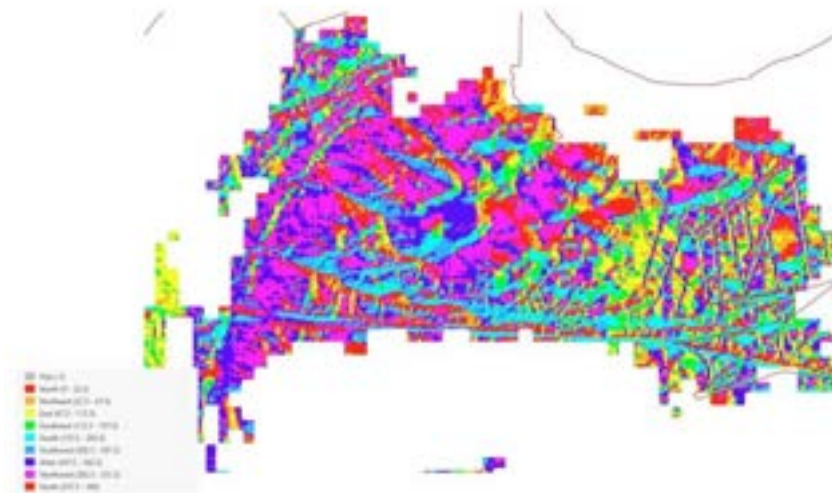


Maksimalus dirvožemio išalo gylis (cm) 1981–2010 m. Lietuvos teritorijoje (Mačiulytė, Rimkus, 2016)

18 lentelė. Šlaitų ekspozicijos rodiklio klasės

Rodiklio vertės	Ekspozicija
1	Pietūs
2	Pietryčiai, pietvakariai
3	Rytai, vakarai
4	Šiaurės rytai, šiaurės vakarai
5	Šiaurė

Šlaito ekspozicija yra rodiklis prisidedantis prie dirvožemio drėgmės režimo. Dėl didesnės žemės paviršiaus gaunamos saulės radiacijos kiekio (paros bėgyje) pietinės ekspozicijos šlaituose vyraus mažesnės drėgmės režimo sąlygos (didės garavimas) ir atvirkščiai – ilgiau ir daugiau šešėlyje esantys šiaurinės ekspozicijos šlaitai metų eigoje pasižymės didesniu drėgmės kiekiu. Šiauriniuose šlaituose ilgiau išsilaiko ir sniego danga. Tyrimo metu laikytasi prielaidos, kad padidėjęs dirvožemio drėkinimo režimas šiaurės ekspozicijos šlaituose (esant palankiam ir kt. sąlygų kompleksui), gali prisidėti prie solifliukcijos suintensyvėjimo.



Tyrimo metu naudoto šlaitų ekspozicijos sluoksnio fragmentas

19 lentelė. Dienų su neigiama temperatūra (suma per 10 d.) rodiklio klasės

Rodiklio vertės	Neigiamos temperatūros (10 d. suma)
1	02 - 04
2	04 - 06
3	06 - 08
4	08 - 1
5	>1

Dienų su neigiama temperatūra rodiklis – svarbus solifliukcijos procesą lemiantis veiksnys, kadangi nuo jo priklauso dirvožemio išalo formavimasis, sniego ir skystų kritulių pasiskirstymas (dirvožemio įmirkimo režimo dinamika).

Analizei atlikti naudoti erdviniai Europos duomenys, kurie perteikia neigiamų temperatūrų reikšmes turinčių dienų sumą per 10 dienų laikotarpį. Šie duomenys yra projektuojami ir pagal ateities klimato kaitos scenarijus.

2.2.2. Įvesties duomenys

Solifliukcijos rizikų vertinimo metodika apima matematinių ir GIS manipuliacijų bei veiksmų seką, kuriai realizuoti reikalingi sekantys pradiniai įvesties duomenys:

1. Kadastrinių vietovių ir seniūnijų vektoriniai duomenų sluoksniai;
2. CORINE žemės dangos klasių duomenų sluoksnis;
3. DIRV_10 dirvožemio duomenų bazė;
4. Skaitmeninio paviršiaus reljefo (DTM) duomenų modelio sluoksnis;
5. Klimatiniai kritulių kiekio (šaltuoju laikotarpiu) ir dienų su neigiama temperatūra erdviniai duomenys.

Detaliai duomenų savybės ir jų šaltiniai aprašyti žemiau esančioje 14 lentelėje.

20 lentelė. Solifliukcijos reiškinio modeliavimo rodiklių duomenys

Rodiklis	Duomenų pobūdis ir duomenų šaltinis
Žemės dangos pobūdis	<p>Žemės dangos tipai ir riekiamų klasių atrinkimui naudota CORINE duomenų bazė. CORINE žemės dangos (CLC) duomenų bazė - tai visos Europos vektorinis žemės dangos duomenų rinkinys, sudalintas į 44 klases (Lietuvos teritoriją dengia 30 klasių) pagal žemės dangos tipą ir naudojimo paskirtį. Duomenys pateikiami rastriniame GIS failų formate. Mastelis: 1:200 000;</p> <p>Į analizės procesą atrinktos sekančios žemės paviršiaus dangos pagal CORINE klasifikaciją klasės:</p> <p>141 Green urban areas; 122 Road and rail networks and associated land; 142 Sport and leisure facilities; 231 Pastures; 321 Natural grasslands.</p>
Paviršiaus reljefo polinkio kampas	<p>Polinkio kampų duomenys sugeneruoti naudojant LIDAR duomenų pagrindu sudarytą Lietuvos paviršiaus reljefo DTM modelio sluoksnį. Skiriamoji geba – 10*10 m. Gardelėse užkoduotos reikšmės: x, y ir z koordinatijų vertės (z pateikiama metrais virš jūros lygio).</p>
Krituliai šaltuoju laikotarpiu	<p>Kritulių šaltuoju laikotarpiu faktiniai ir ateities (pagal nagrinėjamus RPC scenarijus) duomenys gauti iš COPERNICUS Žemės stebėjimo duomenų centro. Copernicus yra Europos Sąjungos kosmoso programos Žemės stebėjimo komponentas, valdomas Europos Komisijos ir įgyvendinamas bendradarbiaujant su ES valstybėmis narėmis, Europos kosmoso agentūra, Europos meteorologinių palydovų eksploatavimo organizacija, Europos vidutinio nuotolio centru.</p> <p>Duomenys pateikiami NetCDF-4 formatu, todėl reikalauja papildomo apdorojimo ir paruošimo. Skiriamoji geba – 15*30 km. Erdvinė aprėptis – Europa.</p> <p>Laikinė skiriamoji geba (apimamas laikotarpis): faktinės situacijos daugiamečiam vidurkiui apskaičiuoti naudoti 1991-2022 m mėnesiniai kritulių duomenys. https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/ecv-for-climate-change?tab=form</p> <p>Projektuojamam laikotarpiui (pagal RCP 2.6, 4.5 ir 8.5 scenarijus) išskaičiuotas daugiamečis vidurkis (2040-2070 m) naudojant 1970–2100 m. temperatūros ir kritulių klimato poveikio rodiklių, gautų iš Europos klimato prognozių duomenis. Duomenys pateikiami NetCDF-4 formatu, todėl reikalauja papildomo apdorojimo ir paruošimo.</p> <p>Skiriamoji geba – 60*110 km. Erdvinė aprėptis – Europa.</p> <p>Laikinė skiriamoji geba (apimamas laikotarpis): 1971-2100 m mėnesiniai kritulių duomenys.</p> <p>Duomenų rinkiniai sudaromi naudojant klimatinius modelius: regioninį RACMO22E (KNMI, Netherlands) ir globalų HadGEM2-ES (UK Met Office, UK); https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-hydrology-meteorology-derived-projections?tab=form</p>

Infiltracijos (pralaidumo) koeficientas	<p>Infiltracijos/ grunto pagal granulimetrinę sudėtį pralaidumo klasės apskaičiuotos remiantis dirvožemio erozijos modelio/ lygties RUSLE (angl. Revised Soil Loss Exuation) K-faktoriaus (K - Dirvožemio erozijos rodiklis)dirvoželio pralaidumo klasių vertės.</p> <p>Kvartero nuogulų (dirvodarinių uolienų) mechaninės sudėties grupės ir jų paplitimo arealų ribos (išskyrus miškingas teritorijas) gautos ir DIRV_10 dirvožemio GIS duomenų bazės.</p> <p>https://www.geoportal.lt/metadata-catalog/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7B449450A9-AD8C-6E9E-6FCB-06A0584BF88C%7D</p> <p>Grunto pralaidumo klasių vertės išskaičiuotos iš RUSLE vadovo: https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/RUSLE2%20Handbook_0.pdf</p>
Dirvožemio įšalo gylis (max.)	Dirvožemio įšalo maksimalaus gylio duomenų šaltinis: V. Mačiulytės ir E. Rimkaus mokslinė publikacija „Dirvožemio terminis režimas Lietuvoje“, GEOLOGIJA ir GEOGRAFIJA. 2016. T. 2. Nr. 1. P. 1–13.
Šlaito ekspozicija	Šlaitų ekspozicijos duomenys sugeneruoti naudojant LIDAR duomenų pagrindu sudarytą Lietuvos paviršiaus reljefo DTM modelio sluoksnį. Skiriamoji geba – 10*10 m. Gardelėse užkoduotos reikšmės: x, y ir z koordinatčių vertės (z pateikiama metrais virš jūros lygio).
Neigiamos temperatūros (dienų suma per 10 d.)	<p>Neigiamų temperatūrų faktiniai ir ateities (pagal nagrinėjamus RPC scenarijus) duomenys gauti iš COPERNICUS Žemės stebėjimo duomenų centro. Copernicus yra Europos Sąjungos kosmoso programos Žemės stebėjimo komponentas, valdomas Europos Komisijos ir įgyvendinamas bendradarbiaujant su ES valstybėmis narėmis, Europos kosmoso agentūra, Europos meteorologinių palydovų eksploatavimo organizacija, Europos vidutinio nuotolio centru.</p> <p>Duomenys pateikiami NetCDF-4 formatu, todėl reikalauja papildomo apdorojimo ir paruošimo. Skiriamoji geba – 32*56 km. Erdvinė aprėptis – Europa. Laikinė skiriamoji geba (apimamas laikotarpis) – 1951-2099. Projektuojamam laikotarpriui išskaičiuotas 2070-2099 m vidurkis. Pateikiamos reikšmės: Dienų skaičius per 10 dienų, kai TX < 0°C, kur TX yra didžiausia dienos temperatūra.</p> <p>Klimatiniai modeliai naudojami DUOMENŲ RINKINIO GENERAVIMUI: HadGEM2-ES Model (UK Met Office, UK)</p> <p>https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-agroclimatic-indicators?tab=form</p>

2.2.3. Solifliukcijos rizikos vertinimo etapai

1. *Pažeidžiamų solifliukcijai žemės dangos (žemėnaudos formų) teritorijų išskyrimas.* Solifliukcijos rizikos vertinimas atliktas teritorijoms, kurios apaugusios žoline neusmedėjusia augmenija. Miškingos teritorijos (su tankia aumenijos šaknų sistema) ir atviri augalija nepadengti plotai į modeliavimo procesą neįtraukti. Laikytasi prielaidos, kad esant atviro dirvožemio/ žemės paviršiaus sąlygoms ir padidėjus kritulių bei paviršiaus nuotėkiui susidarys palankios aplinkybės atsirasti plokštuminės erozijos židiniams. Tuo tarpu tanki miško augmenija ir išvystyta jos šaknų sistema veikia priešingai – sutvirtina šlaitus ir stabdo erozijos bei solifliukcijos atsiradimą. Dėl šių priežasčių, solifliukcijos modeliavimui atrinktos tik tos žemės dangos klasės, kuriose paplitusi žolinė ir nesumedėjusi augmenija, tai yra: miestų želdynai ir žalios zonos (išskyrus miško parkus), kelių ir geležinkelių tinklo žemė (pakelės, pylimai ir pan.), sporto ir poilsio teritorijos (stadionai, aikštynai, golfo laukai ir t.t.), natūralios pievos ir ganyklos.

Išvardintos teritorijoms ir jų riboms išskirti naudotasi CORINE žemės dangos duomenų rinkiniu. Esamos situacijos žemės dangos klasių ribos taikytos ir ateities projekcijų sudarymui (duomenų apie žemės dangos pokyčius pagal RCP scenarijus nėra, o prognozuoti kaip keisis žemės dangos struktūra ateinančiais 50-100 nėra įmanoma, kadangi tai priklauso ne tik nuo gamtinių, tačiau ir socialinių bei politinių veiksnių ir aplinkybių).

Atrinkti žoline augmenija padengti Lietuvos žemėnaudos klasių plotai toliau naudoti kaip trafaretas, kitų rodiklių skaičiavimui (likusieji solifliukcijos rodikliai skaičiuoti tik arealams patenkantiems į išskirtus žolinės augalijos plotus).

2. *Paviršiaus reljefo pagal polinkio kampus (šlaito statumą) klasifikavimas ir išvestinių morfometrinių žemės paviršiaus rodiklių skaičiavimas.* Paviršiaus reljefo polinkio kampų klasifikavimui naudoti LIDAR duomenų pagrindu sudaryto paviršiaus reljefo DTM modelio duomenys. GIS manipuliacijų eigoje, reljefo duomenys apkirpti pagal 1-ojo etapo metu išskirtus augalinės dangos plotus. Gautas išvesties duomenų sluoksnis toliau naudotas polinkio kampų skaičiavimui. Pastarieji skaičiuoti GIS įrankio (SLOPE), naudojančio apačioje nurodytą lygtį, pagalba.

$$\Theta = \text{Arctan}(\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2}) * 57.29578$$

Reljefo nuolydis skaičiavimuose suprantamas kaip paviršiaus kitimo greitis (delta) horizontalia (dz/dx) ir vertikalia (dz/dy) kryptimis nuo centrinės gardelės iki kiekvienos gretimos ląstelės. Gaunamas rezultatas – kiekvienos gardelės polinkio kampas išreikštas laipsniais. Gauti išvesties duomenys toliau klasifikuoti pagal šlaitų statumo klasių reikšmes, sukurtas sluoksnis, kuriame išskirtos 14 lentelėje aprašytos šlaitų statumo grupės (labai lėkšti, lėkšti, statoki, statūs). Paviršiai/ gardelės, kurių polinkio kampas $< 2^\circ$ iš tolimesnės analizės eliminuoti (lygiuose paviršiuose ir nuolaidumose solifliukcija nevksta).

Paviršiaus reljefo skaitmeninio DTM modelio duomenys, apkirpti pagal žolinės augalijos plotus ir eliminavus paviršius kurių polinkio kampas $< 2^\circ$, taip pat pritaikyti šlaitų ekspozicijos skaičiavimui. Naudojant GIS paviršiaus analizės įrankius (šiuo atveju ASPECT), sugeneruotas rastras, kurio kiekvienoje gardelėje įrašytas ekspozicijos reikšmę atitinkantis kodas.

Visi duomenys tolimesnei analizei konvertuoti į vektorinį GIS failų formatą.

3. *Klimatinių rodiklių duomenų paruošimas ir apdorojimas* yra sekantis darbo etapas. Solifliukcijai įvertinti naudoti skirtingo pobūdžio klimatiniai duomenys: neigiamų temperatūrų (dienų suma per 10 d.); dirvožemio įšalo gylio (max.); kritulių šaltuoju laikotarpiu.

Dirvožemio įšalo vektorinis duomenų GIS sluoksnis sudarytas remiantis jau atliktų mokslinių tyrimų duomenimis (duomenys plačiau aprašyti 20 lentelėje).

Tuo tarpu kritulių ir temperatūros šaltuoju laikotarpiu duomenys gauti iš COPERNICUS duomenų centro. Duomenys pateikiami NetCDF-4 formate, o jų gardelės dėl naudojamos kartografinės projekcijos yra stačiakampio (orientuoto dienovidinių susikirtimo taško kryptimi) formos. Tuo pačiu duomenys apima ilgą laikotarpį (gali būti pateikiami savaitiniai, mėnesiniai, sezoniniai ar metiniai duomenys), laikinė informacija juose saugoma rastro „juostose“ (duomenys pateikiami kaip daugiajuosčiai vaizdai, *angl. multiband raster data*). Dėl šių priežasčių būtinas duomenų paruošimas ir pirminis jų apdorojimas. Šis darbo etapas realizuotas programavimo R kalbos pagalba.

Jos pagalba suskaičiuoti daugiamečiai kritulių ir temperatūros rodiklių duomenys, apskaičiuoti ir sudaryti ateities RCP scenarijų daugiamečių kritulių ir temperatūros rodiklių sluoksniai (pagal daugiamečio vidurkio skaičiavimo metodiką). Jie išeksportuoti LKS-94 projekcinėje koordinatinių sistemoje (kaip ir kiti sluoksniai kuriais operuota).

Visi gauti duomenų sluoksniai toliau apkirpti pagal aukščiau jau aprašytų trafaretų ribas, suklasifikuoti pagal jų reikšmių klases (15, 17, 19 lentelė). Visi duomenys tolimesnei analizei konvertuoti į vektorinį GIS failų formatą.

4. *Dirvožemio pralaidumo rodiklio skaičiavimas.* Dirvožemio pralaidumo rodikliui įvertinti naudotas Lietuvos Respublikos teritorijos M 1:10 000 dirvožemio erdvinių duomenų rinkinys (DIRV_10). Duomenyse pateikiama informacija apie dirvožemio ir dirvodarinių uolienuų dangą, jos tipus bei savybes. GIS atrankos įrankių pagalba šiam etapui atrinkti tik tie dirvožemio dangos plotai, kurie atitinką 1 ir 2 etapuose įvardijamus kriterijus (patenka į žolinės augalijos dangos klasių arealus, polinkio kampas $> 2^\circ$). Dirvožemio duomenų atributuose, be eilės kitos informacijos, saugomi duomenys apie dirvodarinių uolienuų tipą (pagal Fere

mechaninės gruntų sudėties klasifikacija). Šiems duomenims pagal dirvožemio erozijos modelio/ lygties RUSLE (angl. Revised Soil Loss Equation) vadovą, priskirtos K-faktoriaus (dirvožemio erodotumo rodiklis) vertinimui naudojamų grunto laidumo drėgmei reikšmių vertės (16 lentelė).

Atlikus visų dalinių solifliukcijos rizikos rodiklių skaičiavimus, iš atskirų GIS vektorinių duomenų sluoksnių sugeneruotas vienas bendras duomenų sluoksnis. Jame, atributų duomenyse, kiekvienam išskirtam arealui priskirtos visų rodiklių reikšmės, jos toliau naudotos galutinių rezultatų ir solifliukcijos rizikos balų skaičiavimui.

5. *Solifliukcijos rizikos balų ir pataisos koeficientų skaičiavimas, galutinių rezultatų sluoksnių sudarymas.* Solifliukcijos rizikos balų vertinimas atliktas remiantis 13 lentelėje nurodytais rodikliais. Pats modeliavimas vykdytas naudojant erdvinis duomenis, kurių pagrindu pasitarnavo 10*10 m skiriamosios gebos paviršiaus reljefo skaitmeninio duomenų modelio sluoksnis (pastarojo pagrindu toliau skaičiuoti kai kurie morfometrini paviršiaus reljefo rodikliai, kurie toliau naudoti vertinant rizikas). Iš esmės suminis solifliukcijos balas skaičiuotas kiekvienai išskirtai ir vertinimo kriterijus atitinkančiai gardelei (10*10 m). Vertinimo kriterijai yra:

- Analizuojami tik plotai padengti žoline nesumedėjusia augalija;
- Analizuojami tik plotai, kurių polinkio kampas yra $> \text{ne} 2^\circ$;

Plotai atitinkantys priminius solifliukcijai reikšties tinkamus kriterijus, toliau modeliuoti pagal išskirtus solifliukcijos rizikos modeliavimo rodiklius (13 lentelė).

Modeliavimo eigoje, atlikus rodiklių skyrimo bei vertinimo ir duomenų perdangos procedūras iš viso gauta $> 17\,600\,000$ gardelių. Kiekvienoje gardelėje suskaičiuotas suminis solifliukcijos balas (jis gautas susumavus jai tenkančio kiekvieno rodiklio (13 lentelė) balo dedamąją). Tokiu būdu gautas suminis solifliukcijos rizikos balas (21 lentelė).

21 lentelė. Suminio solifliukcijos balo reikšmių intervalai

Suminis solifliukcijos rizikos balas (modeliuotų rodiklių balų suma kiekvienai 100 ² gardelei)	Solifliukcijos rizikos reikšmė
6	L. Maža
$>6 < 12$	Maža
$>12 < 18$	Vidutine
$>18 < 24$	Didelė
$>24 < 29$	L. Didelė

Suminis solifliukcijos rizikos balas atskleidžia solifliukcijos riziką 100 m² gardelėje, todėl įvertinti bendrą rizikos balą seniūnijų ir kadastrinių vietovių teritorijose pagal joms tenkančių skirtingos rizikos gardelių santykinį plotą (ir jų svorio koeficientą), taikyti papildomi skaičiavimai. Taip gautas bendras solifliukcijos rizikos balas.

$$(Proc_6 * 0 / 100) + (Proc_6_12 * 0,25 / 100) + (Proc_12_18 * 0,5 / 100) + (Proc_18_23 * 0,75 / 100) + (Proc_23_30 * 1 / 100)$$

Čia: Proc_6 – plotų (gardelių sumos) pasižyminčių l. maža solifliukcijos suminio balo verte procentinė dalis nuo visų solifliukcijos rizikos plotų (%) tenkančių administraciniam teritoriniam vienetui;

Proc_6_12 – plotų (gardelių sumos) pasižyminčių maža solifliukcijos suminio balo verte procentinė dalis nuo visų solifliukcijos rizikos plotų (%) tenkančių administraciniam teritoriniam vienetui;

Proc_12_18– plotų (gardelių sumos) pasižyminčių vidutine solifliukcijos suminio balo verte procentinė dalis nuo visų solifliukcijos rizikos plotų (%) tenkančių administraciniam teritoriniam vienetai;

Proc_18_23– plotų (gardelių sumos) pasižyminčių didele solifliukcijos suminio balo verte procentinė dalis nuo visų solifliukcijos rizikos plotų (%) tenkančių administraciniam teritoriniam vienetai;

Proc_23_30– plotų (gardelių sumos) pasižyminčių l. didele solifliukcijos suminio balo verte procentinė dalis nuo visų solifliukcijos rizikos plotų (%) tenkančių administraciniam teritoriniam vienetai;

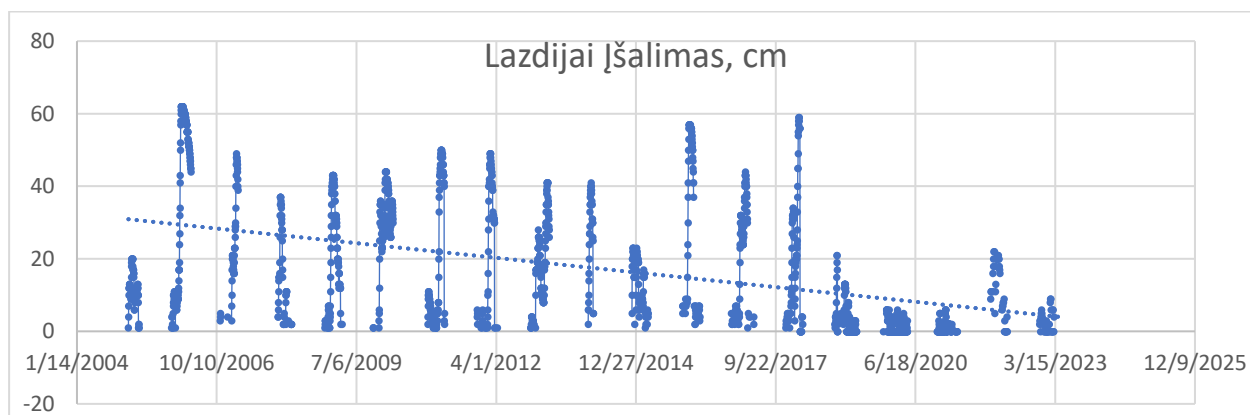
Kadangi administraciniai teritoriniai vienetai tarpusavyje skiriasi solifliukcijai jautrių teritorijų plotu, bendram solifliukcijos balui pritaikytas pataisos koeficientas pagal užimamą santykinį potencialiai paveiktų teritorijų plotą (imant nuo bendro adm. teritorinio vieneto ploto), taip gaunamas galutinis solifliukcijos rizikos balas.

$$RIZIKA_PROC * (SOLI_AREA_SUM / shape_AREA)$$

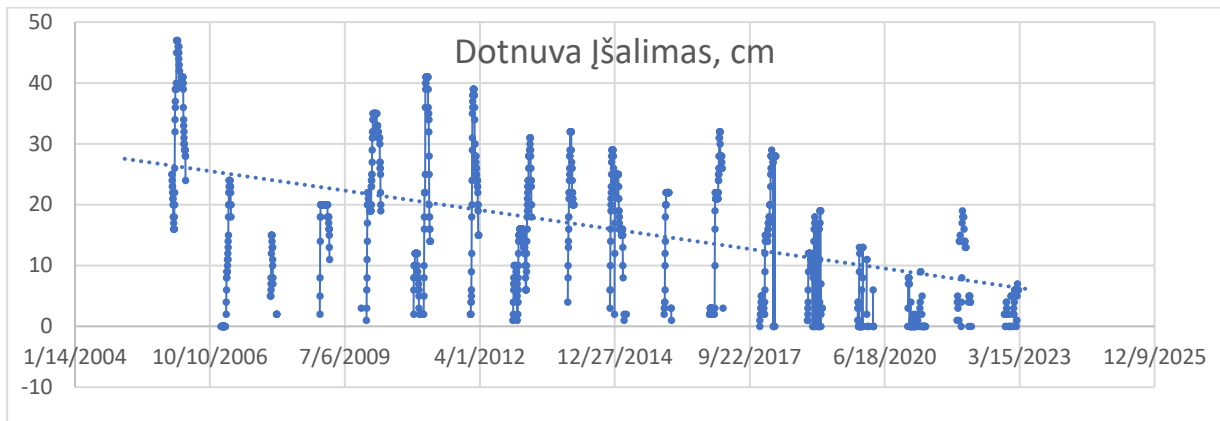
Čia: *RIZIKA_PROC* – bendrasis solifliukcijos rizikos balas (gaunamas pagal aukščiau aprašytą skaičiavimų tvarką);

SOLI_AREA_SUM – administracinio teritorinio vieneto (seniūnijos ar kadastrinės vietovės) plotas (suma m^2), kuriame išskirti solifliukcijos rizikos arealai/ gardelės;
shape_AREA – administracinio teritorinio vieneto plotas (m^2).

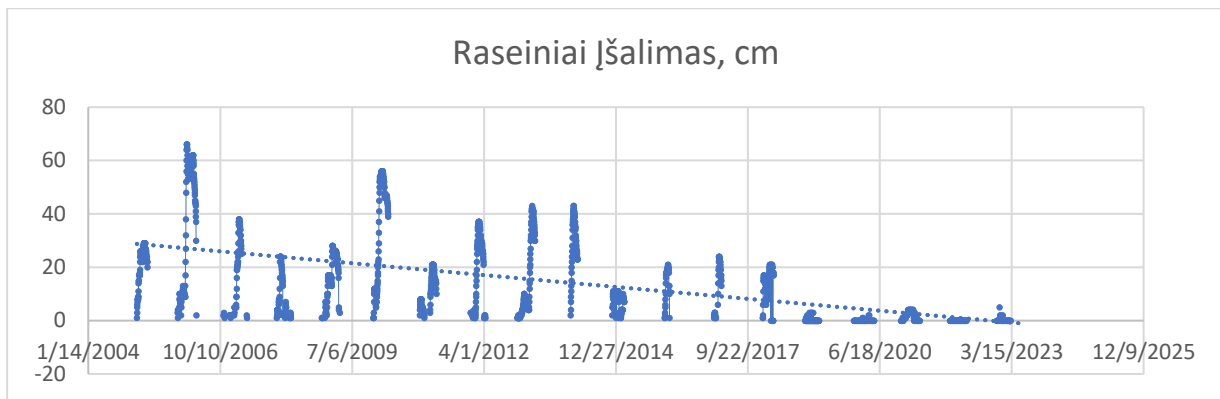
6. *Solifliukcijos rizikos vertinimas pagal ateities klimato kaitos RCP scenarijus.* Aukščiau įvardinti punktai aprašo solifliukcijos rizikų vertinimą faktinei situacijai. Tuo pačiu aprašyta metodika (atliekant visus aprašytus žingsnius bei etapus) taikoma ir užduotyje apibrėžtų RCP (2.6, 4.5 ir 8.5) klimato kaitos scenarijų modeliavimui. Šiame veiksmų algoritme skiriasi tik įvesties duomenys, naudojami minimų scenarijų projektavimui. Vertinant ateities solifliukcijos pasireiškimo rizikas svarbiausi veiksniai, kurie bus veikiami klimato kaitos yra – neigiamų temperatūrų suminis dienų skaičius (imant per 10 dienų) ir dirvožemio įšalo gylis, taip pat dalinai - kritulių šaltuoju laikotarpiu (lapkričio-kovo mėn.) kiekis (šis rodiklis daugiau svarbus pačiam solifliukcijos proceso vyksmui). Remiantis pastarųjų 30 m. duomenimis (prieinamais Lietuvos hidrometeorologijos tarnyboje), dirvožemio įšalo gylis Lietuvos sparčiai mažėja. Tą įrodo ir žemiau pateikti kelių matavimo stočių daugiamečių stebėjimų duomenys.



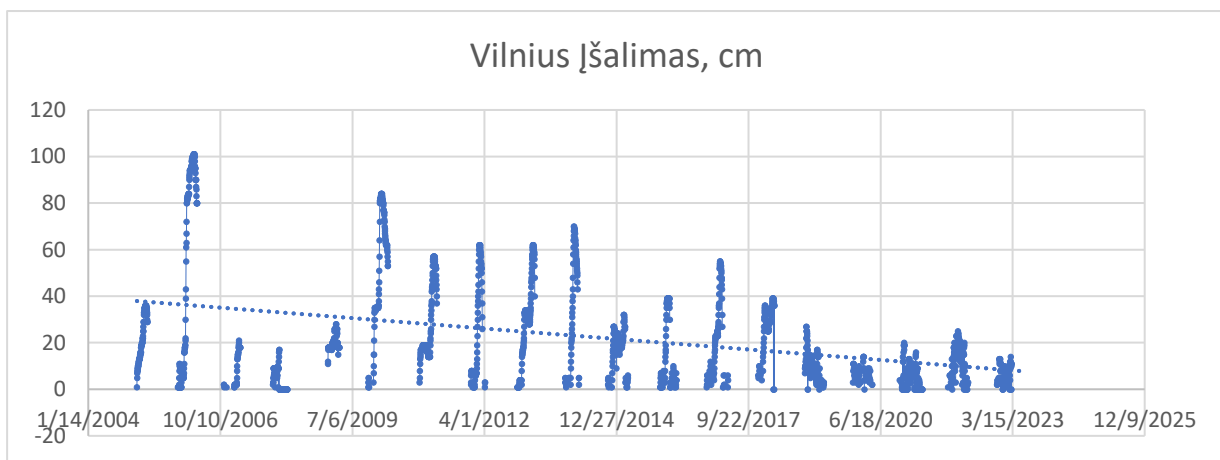
14 pav. Dirvožemio įšalo gylio dinamika išmatuota Lazdijuose 2004-2025 m laikotarpiu



15 pav. Dirvožemio įšalo gylio dinamika išmatuota Dotnuvoje 2004-2025 m laikotarpiu

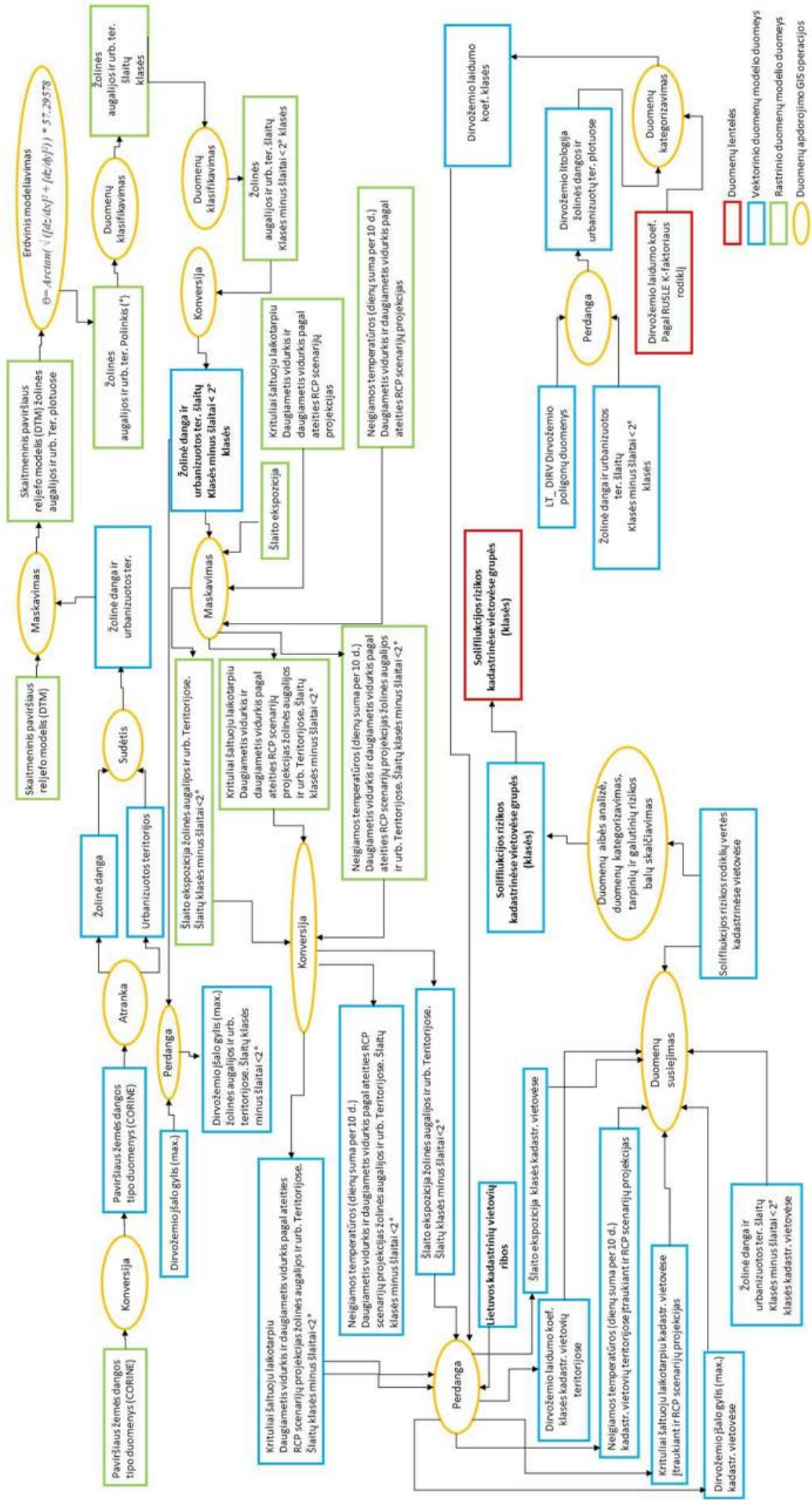


16 pav. Dirvožemio įšalo gylio dinamika išmatuota Raseiniuose 2004-2025 m laikotarpiu



17 pav. Dirvožemio įšalo gylio dinamika išmatuota Vilniuje 2004-2025 m laikotarpiu

Vis dėl to, kiekybinių ateities dirvožemio įšalo prognozių (tame tarpe ir pagal RCP scenarijus) nei Lietuvoje nei Europoje nėra atlikta. Apie dirvožemio įšalo tolimesnį mažėjimą galima spęsti pagal kitą, su šiuo reiškiniu tiesiogiai susijusį rodiklį, tai - neigiamų temperatūrų suminis dienų skaičius (imant per 10 dienų). Šiam rodikliui kaip ir kritulių šaltuoju laikotarpiu (lapkričio-kovo mėn.) kiekiui, ateities prognozėms įvertinti, naudoti COPERNICUS duomenų centro RCP scenarijų duomenys apskaičiuoti 2060-2070 m. laikotarpiui. Duomenų savybės bei jų charakteristikos pateikiamos 20 lentelėje.



21 pav. Solifliukcijos proceso GIS modeliavimo pavyzdinė loginė schema (parengta kadastrinių vietovių ir faktinės situacijos pavyzdžiu, rizikoms pagal RPC scenarijus įvertinti procesas kartojamas keičiant įvesties duomenis)

2.2.4. Solifliukcijos rizikos galutinių metaduomenų ir rizikos balų verčių paaiškinimas

Sudarytuose galutiniuose solifliukcijos rizikos pagal klimato kaitos RCP 2.6, 4.5 ir 8.5 scenarijus sluoksniuose bei duomenų lentelėse, remiantis aukščiau pateikta metodika, sukalkuliuoti galutiniai erozijos rizikos balai. Jie pateikiami GIS *shape* seniūnijų ir kadastrinių vietovių ribų (poligonų) sluoksniuose „KADASTRINES_VIETOVES_SOLIFLIUKCIJA_RIZIKA“; ir „SENIUNIJOS_SOLIFLIUKCIJA_RIZIKA“. Rezultatai taip pat išeksportuoti .xls lentelių formatu (failai „KADASTRINES_VIETOVES_SOLIFLIUKCIJA_RIZIKA_table“ ir „SENIUNIJOS_SOLIFLIUKCIJA_table“).

GIS duomenų sluoksniuose kiekvienam administraciniam teritoriniam vienetui (visoms seniūnijoms ir kadastrinėms vietovėms) priskirtos rizikos balų pagal klimato kaitos scenarijus (RCP 2.3, 4.5, 8.5) vertės, jos pateiktos „RIZIKA_26“, „RIZIKA_45“, „RIZIKA_85“ atributų lentelės stulpeliuose. Atributų duomenų lentelėje pateikiama ir kita informacija, plačiau ji paaiškinta žemiau pridedamuose duomenų sluoksnių lentelių pavyzdžiuose (22 ir 23 lentelės).

22 lentelė. Solifliukcijos rizikos GIS *shape* sluoksnių lentelės seniūnijų lygmenyje fragmentas ir informacijos stulpeliuose paaiškinimas

Unikalūs seniūnijos kodo nr.	Unikalūs administracinio teritorinio vieneto kodo nr.	SHN kodas	ISN kodas	Seniūnijos pavadinimas	Seniūnijos savivaldos tipas	Seniūnijos perimetras	Seniūnijos plotas	Rizikos balas pagal RCP 8.5 scenarijų	Rizikos balas pagal RCP 2.6 scenarijų	Rizikos balas pagal RCP 4.5 scenarijų
FID_SENIUN	FID_Admin	SHN	ISN	NA MN	DESN	Shape_Lengh	Shape_Area	RIZIKA_A_85	RIZIKA_A_26	RIZIKA_A_45
1	1	LT032100	4504	Klaipėda	Miesto savivaldybė	77110,88308	88316869,51	0,011	0,012	0,012
2	2	LT032300	4505	Neringa	Savivaldybė	100541,5833	89452356,87	0,000	0,000	0,000

23 lentelė. Solifliukcijos rizikos GIS *shape* sluoksnių lentelės kadastrinių vietovių lygmenyje fragmentas ir informacijos stulpeliuose paaiškinimai

Unikalūs kadastrinės vietovės kodo nr.	Vietovės kodas	Vietovės pavadinimas	Savivaldybės, kuriai priklauso vietovė pavadinimas	Kadastrinės vietovės perimetras	Kadastrinės vietovės plotas	Rizikos balas pagal RCP 2.6 scenarijų	Rizikos balas pagal RCP 4.5 scenarijų	Rizikos balas pagal RCP 8.5 scenarijų
FID_KADAST	KODAS_VIET	VIETOVE	SAVIVALDYB	Shape_Le_2	Shape_Ar_2	RIZIKA_26	RIZIKA_45	RIZIKA_85
1	3601	Anciškiai	Biržų r. sav.	37049,42878580000	44310520,23	0,003	0,003	0,003
2	3603	Anglininkai	Biržų r. sav.	38103,75099400000	38418902,54	0,001	0,001	0,001
3	3604	Biržai mst.	Biržų r. sav.	30293,80337050000	17822483,75	0,000	0,000	0,000

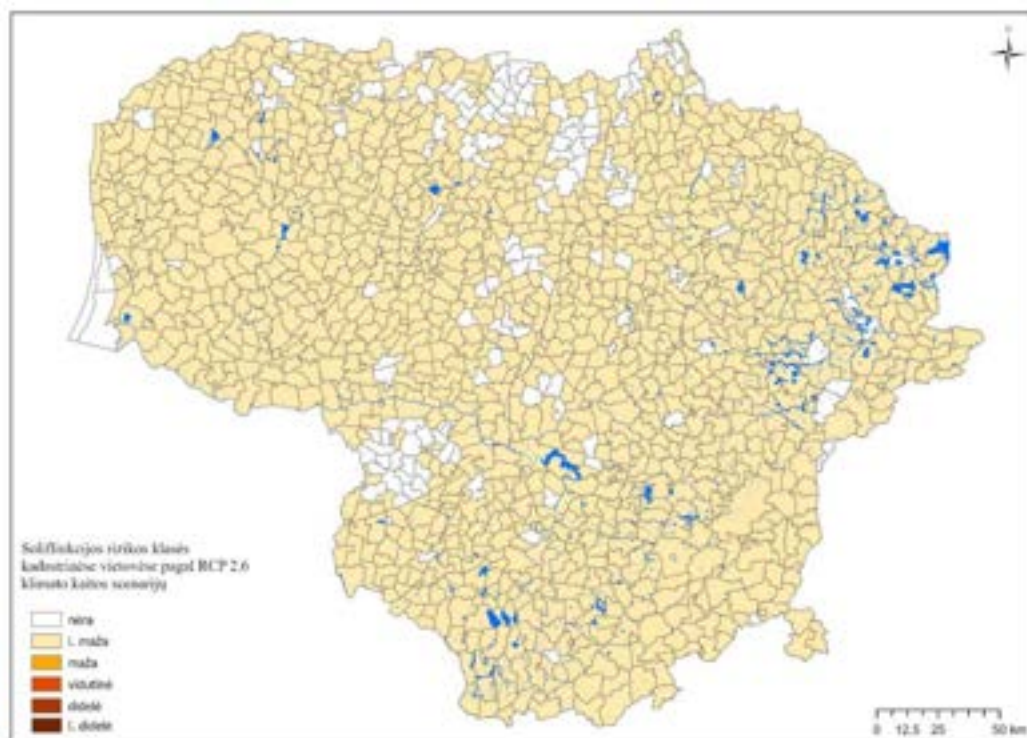
24 lentelė. Galutinių solifliukcijos rizikos balų intervalai ir rizikos klasės

Rizika	Rizikos balas
Nėra	0
Labai maža	$> 0 < 0,25$
Maža	$> 0,25 < 0,5$
Vidutinė	$> 0,5 < 0,75$
didelė	$> 0,75 < 1$
l. didelė	1

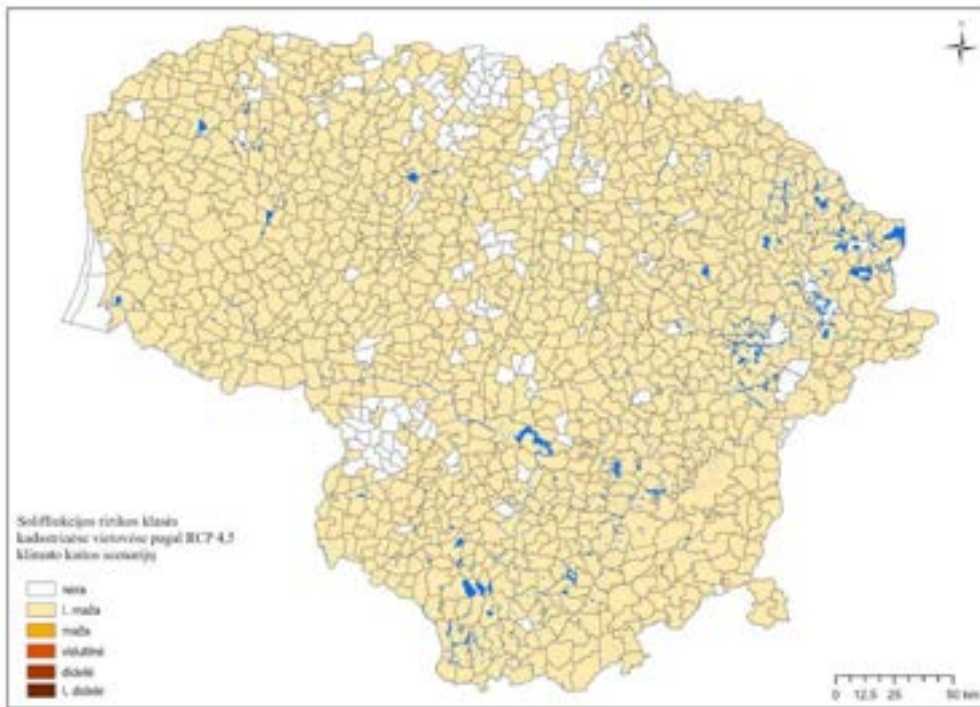
Gauti galutiniai solifliukcijos rizikos balai po atlikto normalizavimo procedūros (apskaičiavus pataisos koeficientus) pateiktuose duomenų sluoksniuose ir duomenų lentelėse apima reikšmių diapazoną tarp 0 ir 1. Šios reikšmės suskirstytos į 6 klases. Atskirai išskirtos teritorijos, kuriose solifliukcijos rizikų nėra, likusios 5 reikšmių intervalų klasės išskirstytos į labai silpnos, silpnos, vidutinės, didelės ir labai didelės solifliukcijos rizikos grupes (24 lentelė).

2.3. Solifliukcijos rizikos prognozių pagal RCP (2.6, 5.4, 8.5) scenarijus modeliavimo rezultatai

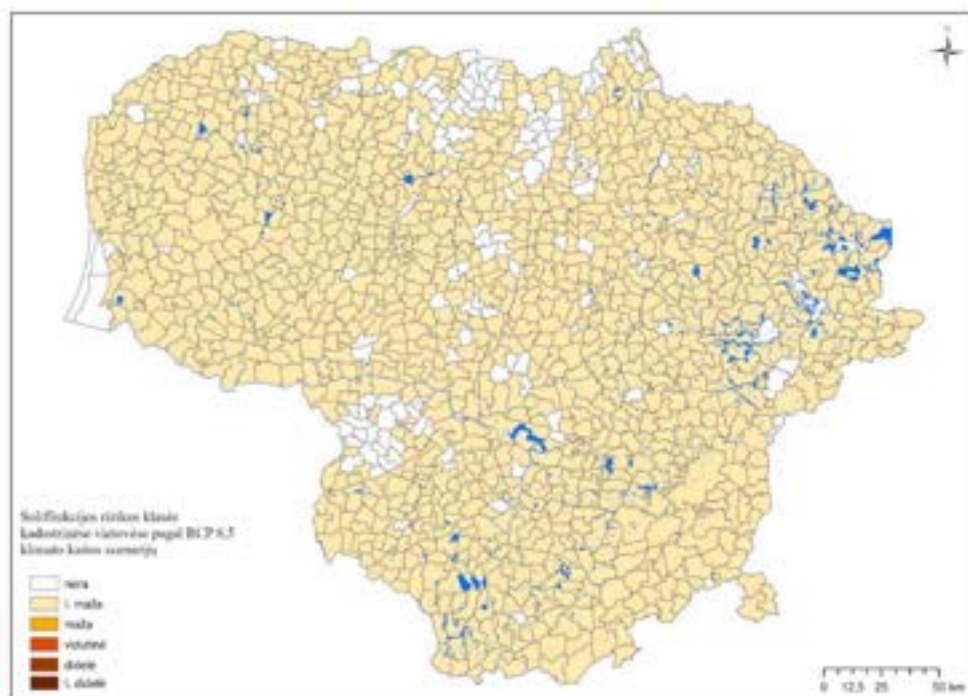
Solifliukcija nėra tipiškas masiškai Lietuvos klimatinėmis sąlygomis vykstantis procesas (plačiau jis aprašomas 2.1 skyriuje). Dažniausiai šis reiškinys gali būti stebimas lokaliuose nedidelio ploto plačiai neišplitusiuose arealuose. Todėl nenuostabu, kad vertinant solifliukcijos pasireiškimo rizikas palyginti stambiose teritorijose (administraciniuose teritoriniuose vienetuose) nustatytos tik labai mažos rizikos vertės. Solifliukcijos reiškiniui suintensyvėti reikalingos – drėgnos šalto klimato (su periodiniais šiltesnių orų periodais) sąlygos. Tokių pagal RCP klimato kaitos scenarijus ateityje neturėsime, todėl ir solifliukcijos rizikų augimo ateityje stebėti nenumatoma.



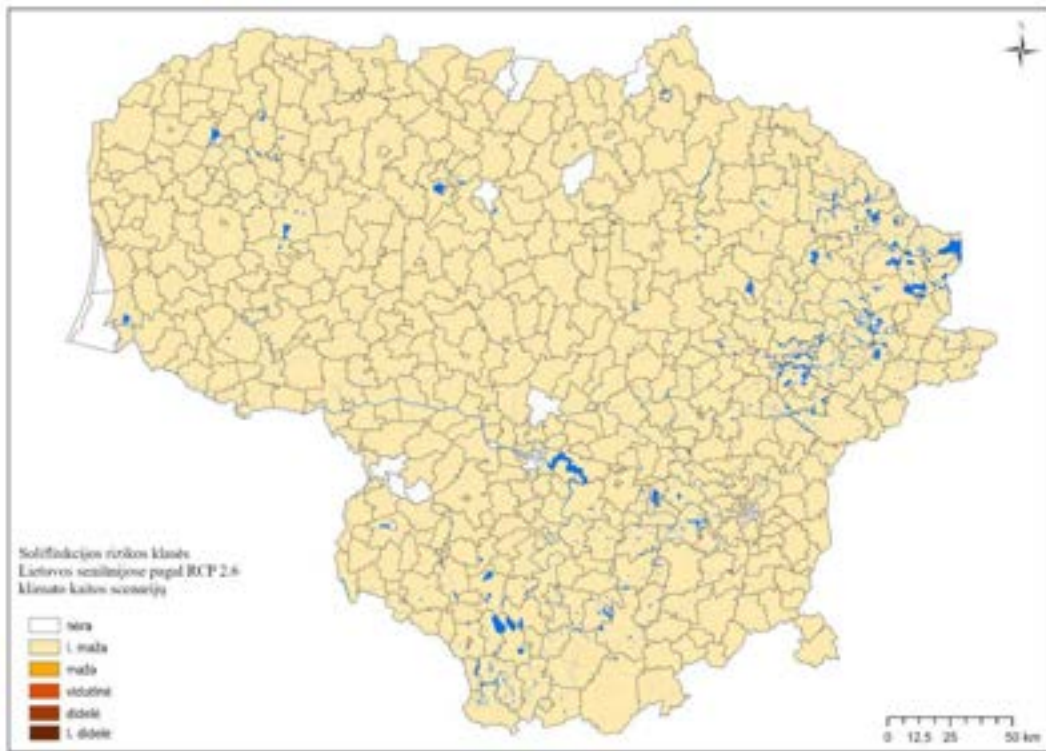
22 pav. Solifliukcijos rizikos klasės kadastrinėse vietovėse pagal RCP 2,6 klimato kaitos scenarijų



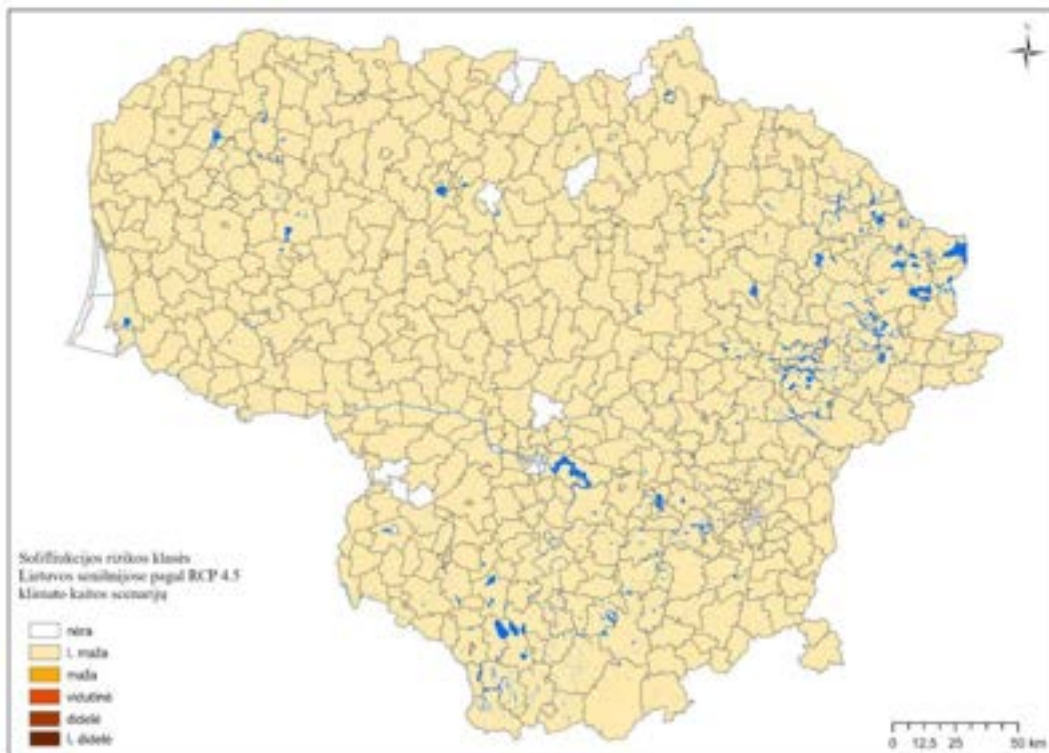
23 pav. Solifliukcijas riskas klases kadastrinās vietovēs pagal RCP 4,5 klimato kaites scenariju



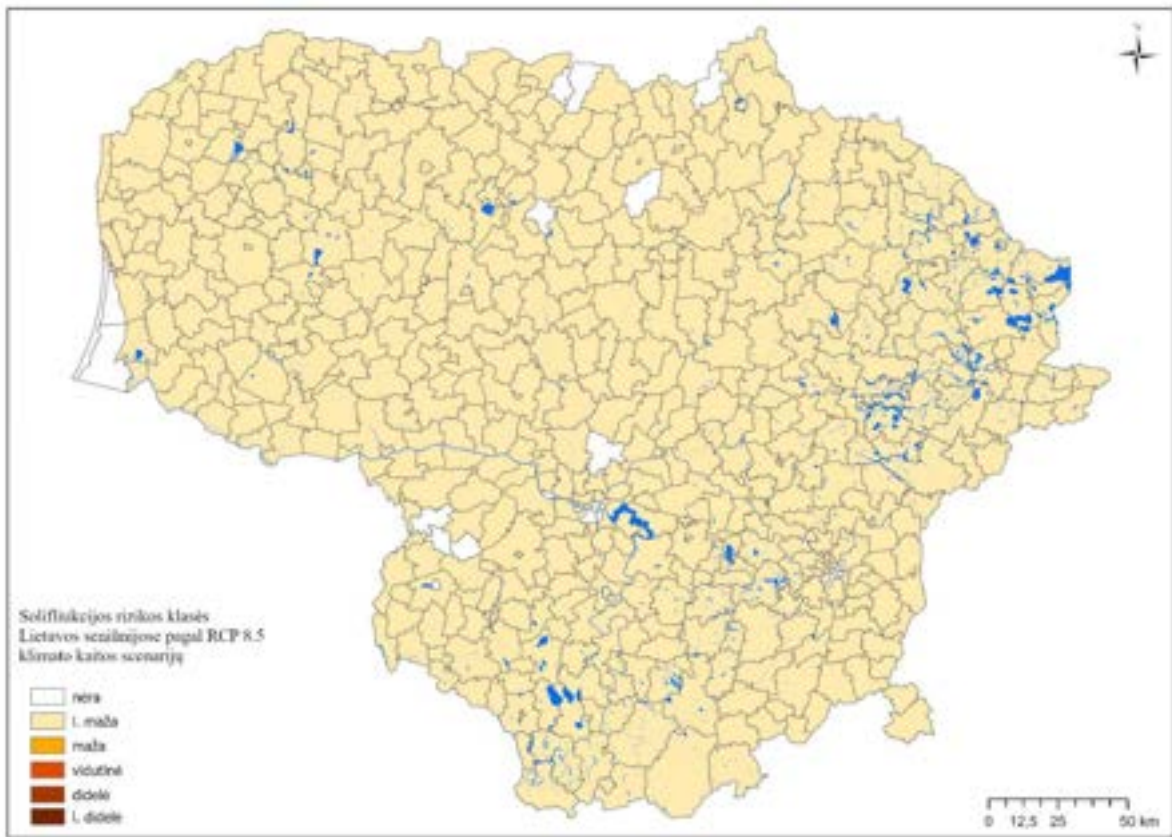
24 pav. Solifliukcijas riskas klases kadastrinās vietovēs pagal RCP 8,5 klimato kaites scenariju



25 pav. Solifliukcijos rizikos klasės seniūnijose pagal RCP 2,6 klimato kaitos scenarijų



26 pav. Solifliukcijos rizikos klasės seniūnijose pagal RCP 4,5 klimato kaitos scenarijų



27 pav. Solifliukcijos rizikos klasės seniūnijose pagal RCP 8,5 klimato kaitos scenarijų