



---

SUTARTIES NR. 10/04, 2023 01 23

*Dr. Laurynas Jukna*

---

VANDENS TELKINIŲ PAKRANČIŲ EROZIJOS  
IR 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, sudarantys beveik pusę visų vandens telkinių ploto dalies.

1 lentelė. Lietuvos vidaus vandenų įvairovė

Vandens telkinio tipas	Skaičius	Plotas (km <sup>2</sup> )	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 km<sup>2</sup>. Dauguma telkšo ledyninės arba upinės kilmės dubenyse, didžiausi buvo suformuoti ledynų veiklos.

Antras pagal užimamą plotą hidrografinis elementas yra upės. Lietuvos teritorija 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 maži upeliai (tarp 3 ir 10 km ilgio), viso jų suskaičiuota 3 600, jiems tenka 50 % bendro upių ilgio. Ilgiausių, >100 km ilgio upių yra tik 17, jų ilgis sudaro tik 8,4 % nuo bendro visų upių ilgio. Daugiau negu 80 % Lietuvos upių vagos yra dirbtinai sureguliuotos ir išlygintos žmogaus (Kažys, 2013).

Trečiasis pagal gausumą hidrografinio tinklo elementas – 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).

Paskutinysis hidrografinio tinklo elementas ir didžiausias Lietuvos vidaus vandens telkinys – Kuršių marios. Tai didžiausia Baltijos jūros lagūna, jos plotas 1584 km<sup>2</sup>, šiaurinė dalis (381,6 km<sup>2</sup>) priklauso Lietuvai, pietinė – Rusijos federacijos Kaliningrado sričiai (valstybė – agresorius) (Žaromskis, 2018).

Be vidaus vandens telkinių, Lietuvai priklauso ir dalis Baltijos jūros akvatorijos 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 – prisideda 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 reikšminė apsiriboja vandens ardomąja veikla. Vandens erozija yra vienas svarbiausių šiandienos Žemės reljefą formuojančių ir keičiančių egzogeninių (išorinių) veiksnių. Skiriamos pagrindinės ją nusakančių veiksnių ir susijusių procesų grupės (2 lentelė).

2 lentelė. Vandens erozijos tipai, poveikis ir kuriamos formos (pagal: Česnulevičių, 1998)

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, sūkurinis ardyimas	Riedėjimas, šuoliavimas, išplėšimas	Slėniai
Požeminio vandens veikla	Išplovimas, tirpimas	Skutimas, stūmimas, sūkurinis ardyimas	Tirpimas	Koridoriai, galerijos, šuliniai, šachtos, urvai, tuneliai
Bangavimas	Grandymas	Grandymas, sūkurinius ardyimas	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. 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, vandenynuose. 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, atabrado juosta (povandeninė terasa, susidariusi dėl kranto abraziijos, 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 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 ardyimo 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 reikštis 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 forma) ir jos raiškos mastas yra įtakojami plataus gamtinių faktorių spektro: tėkmės ir uolienu, kuriomis teka vanduo savybių, vagos geometrijos, vietos klimatinų sąlygų, podirvio drėgmės, augalinės dangos, o taip pat nuo antropogeninės veiklos. Šie veiksniai savo ruožtu gali būti skaidomi į dar smulkesnių aibę (4 lentelė).

4 lentelė. Upių erozijos veiksniai ir rodikliai

Upių eroziją 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. Pakrančių erozijos rizikų modeliavimas

Kiekybinis pakrančių erozijos veiksnių ir proceso dinamikos vertinimas yra sudėtingas uždavinys, reikalaujantis detalių empirinių hidrologinių, geomorfologinių, klimatinų, 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 kompleksiskumą nulemia didelio tikslumo erdvinių (ne taškinių) duomenų ir įrankių erdviniam modeliavimui atlikti trūkumas, 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 ir 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. 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 ministro įsakymu (5 lentelė) (Dėl Paviršinių vandens telkinių apsaugos zonų..., 2023).

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

Vandens telkinio kategorija	Pakrantės apsaugos juostos plotis
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 ir tvenkinių, kurių plotas – 200 ha ir didesnis;	30 m (upių ruožuose, kuriuose upės plotis – 5 m ir mažesnis, 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 prielaidomis:

1. Kaičiausias hidrografinio tinklo elementas Lietuvos teritorijoje yra upės, todėl jų pakrantės yra padidintos erozijos rizikos zonoje. Upių aplinkoje vyksta gilnamoji ir šoninė erozija. Šoninė erozija reiškiasi stipriai vingiuotose – meandruojančiose upių atkarpose, todėl jai įvertinti reikia atlikti upių vingiuotumo analizę. Gilnamoji 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. Jei statistinės analizės būdu pavyktų parodyti, kad upių pakrančių polinkio kampas susijęs su upės vagos gradientu ir/ar vingiuotumu, galima būtų erozijos rizikos skaičiavimams naudoti tik pakrančių polinkio rodiklį.

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 šį laikotarpį vandens lygis ežeruose stabilizavosi ir susidarė stabili atabrado juosta. Dėl šių priežasčių ežerų pakrančių erozija yra mažai tikėtina. Remiantis klimato kaitos projekcijomis Lietuvoje nenumatomas didelis metinių kritulių kiekio mažėjimas. Dėl šios priežasties itin reikšmingų ežerų vandens lygio svyravimų vykti neturėtų.

### 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	

<p>Ežerų vandens lygio kilimas/kritimas</p>	<p>Visais scenarijais, pakrančių erozijos rizikų vertinimui naudojami dabartinės situacijos duomenys</p>	<p>Kiekybinių duomenų apie Europos ir Lietuvos ežerų vandens lygio pokyčių dinamiką ateityje nėra.</p> <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><a href="https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-annual-and-6">https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/projected-changes-in-annual-and-6</a> /Kritulių modelių duomenys pagrįsti EURO-CORDEX iniciatyvos RCM modeliavimo kelių modelių ansamblio vidurkiu.</p>
<p>Upių nuotėkio didėjimas (su tuo siejasi ir kritulių kiekio pasiskirstymas metuose, sniego dangos pastovumas, pavasario potvynių dažnumas, todėl atskirai kritulių rodiklis neskiriamas)</p>	<p>Visais scenarijais, pakrančių erozijos rizikų vertinimui naudojami dabartinės situacijos duomenys</p>	<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><a href="https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169421004698">https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169421004698</a>  <a href="https://www.mdpi.com/2073-4441/11/4/676">https://www.mdpi.com/2073-4441/11/4/676</a></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 reiškia, kad galimas mažesnis kritulių kiekis, 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 plėtros ir emisijų tendencijos atitiks stabilizavimo scenarijų (RCP4.5), o 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 mastai 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.

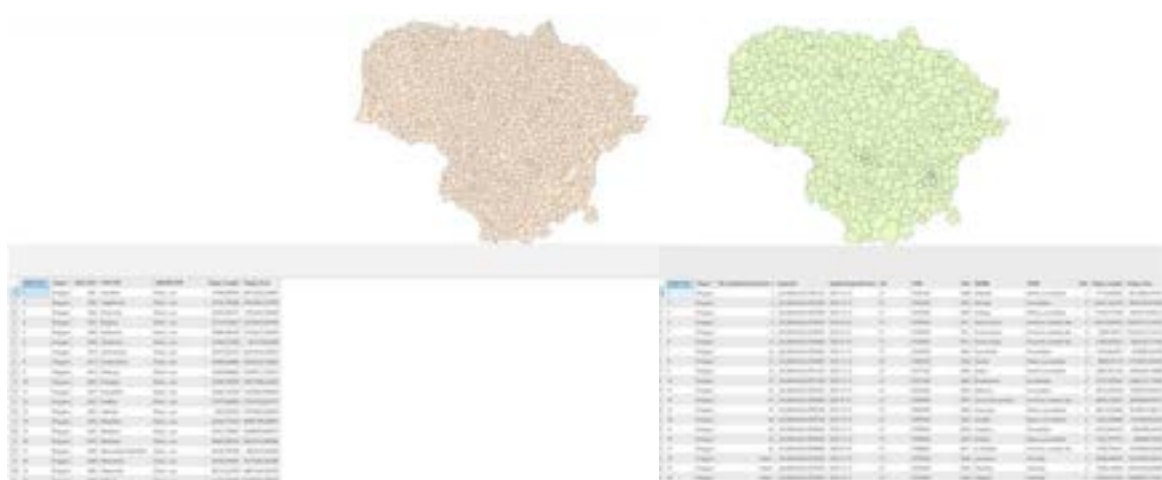
Duomenų savybės detaliau pateikiamos 7 lentelėje.

7 lentelė. Pakrančių erozijos modeliavimui naudotų duomenų savybės

Duomenų šaltinis	Sluoksio pavadinimas	Duomenų tipas	Savybės ir naudotų atributų informacija
GRPK georeferencinio pagrindo kadastro erdvinių duomenų rinkinys (GDB_10)	HIDRO_L	Vektoriniai linijiniai duomenys	<p>Šiame sluoksnyje saugoma informacija apie upių, upelių, kanalų ir melioracijos griovių ašines linijas.</p> <p><b>GRAKTAS:</b> Vandentakio kodas pagal Lietuvos Respublikos upių klasifikatorių.</p> <p><b>Stulpelis TIPAS:</b></p> <p>Vandentakio tipas (įvedama skaitinė reikšmė):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 0 – nežinoma,</li> <li>- 1 – upė (natūrali vandens tėkmė, srovė, tekanti sausumos paviršiumi savo pačios išgraužta vaga),</li> <li>- 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,</li> <li>- 3 – griovys (hidrotechnikos statinys, įrengiamas iškasant atvirą vagą grunte ir skirtas perteklinio vandens nuvedimui / nuleidimui. Sureguliuotos upės nelaikomos grioviais),</li> <li>- 4 – nurašytas melioracijos griovys, kanalas (nurašytas melioracijos statinys, išbraukus melioruotą žemę iš žemės ūkio paskirties melioruotos žemės apskaitos),</li> <li>- -9999 – kai netinka nė viena iš reikšmių.</li> </ul> <p><b>Stulpelis PLOTIS:</b></p> <p>Hidrografijos objekto plotis, m.</p>
GRPK Georeferencinio pagrindo kadastro erdvinių duomenų rinkinys (GDB_10)	PLOTAI	Vektoriniai poligonų duomenys	<p>Sluoksnyje saugoma informacija apie žemės naudmenų ir vandens telkinių dengiamas teritorijas.</p> <p><b>Stulpelis: GKODAS</b></p> <p>Be kitų žemės naudmenų kodų, vandens telkiniams atrinkti naudoti:</p> <p>Hd1: Upės – upių, platesnių nei 12 metrų, dengiama teritorija, kuri gali būti apaugusi vandens augmenija (pavyzdžiui, meldais, nendrėmis ir pan.);</p> <p>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>



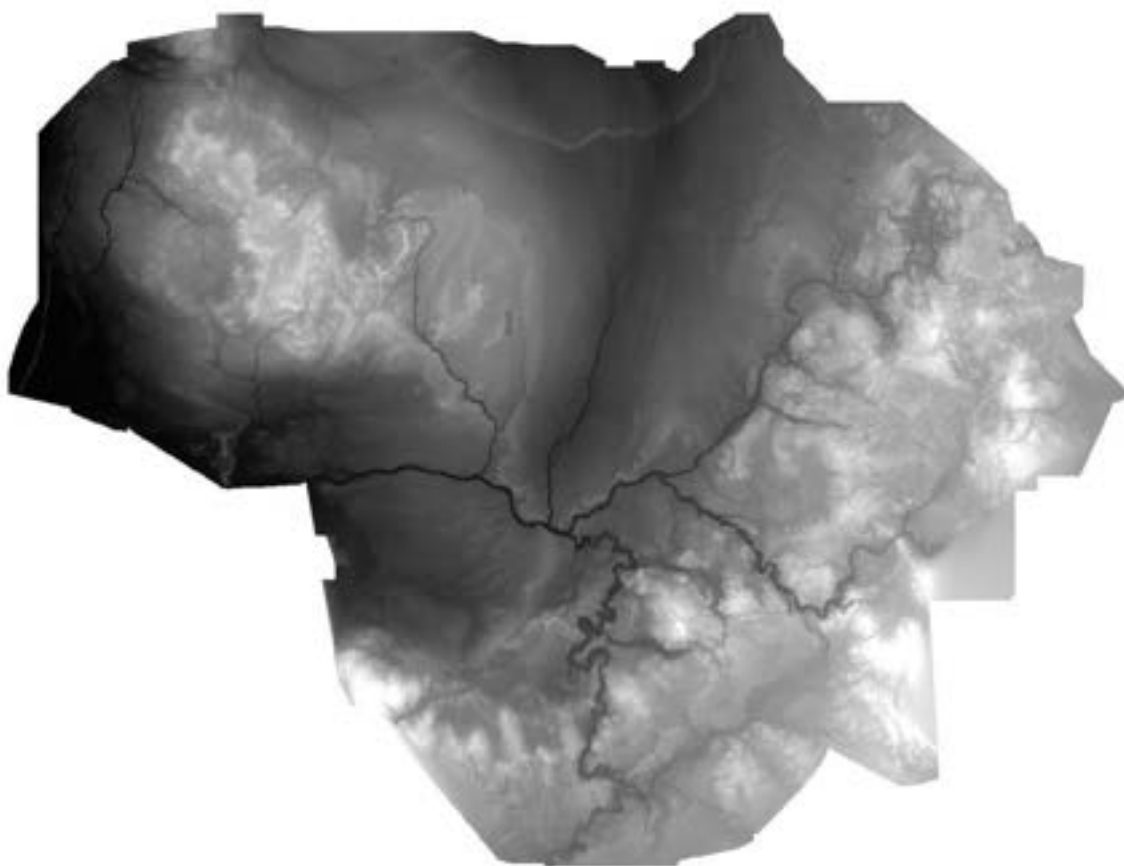
			<p>Hd3: Ežerai – natūralaus vandens telkinio lėtai kintančiame duburyje, neturinčio tiesioginio ryšio su jūra, matomo vandens paviršiaus teritorija, kuri gali būti apaugusi vandens augmenija (pavyzdžiui, meldais, nendrėmis ir pan.);</p> <p>Hd4: Kūdros ir kiti nepratekančio vandens telkiniai (hidrotechniniai 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 užtvėnkiant 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 seniūnijų ribas;</p> <p>Sluoksnyje saugoma informacija apie Lietuvos kadastrinių vietovių ribas;</p>
Lietuvos paviršiaus reljefo skaitmeninis (DTM) reljefo modelis		Rastriniai duomenų sluoksniai	Sluoksnyje saugoma Lietuvos paviršiaus aukščio 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 erdvinių duomenų rinkinio (GDB\_10) duomenys naudoti vandens telkinių Lietuvos teritorijoje atrinkimui. Iš poligonų vektorinio duomenų sluoksnio (PLOTAI) atrinktos ežerų, tvenkinių, užtvankų ir 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 arba bus kontroliuojama). 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 hidrologiniai 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 jį patenkančių tvenkinių, užtvankų, Kuršių marių) sluoksniai 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. 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 kranto apsaugos juostos 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 aukštos erdvinės skiriamosios gebos (2\*2 m), paviršiaus reljefo DTM modelis, kuris leidžia išskirti net ir labai smulkių upių ir upelių pakrantes bei jų šlaitus. GIS manipuliacijų eigoje gautas vandens telkinių pakrančių paviršiaus reljefo sluoksnis (kuriame kiekvienai 2\*2 m gardelei priskirtos x, y ir z koordinatų reikšmės), toliau naudotas polinkio kampams apskaičiuoti. Polinkio kampai skaičiuoti GIS įrankių, naudojančių apačioje nurodytą lygtį, pagalba. Nuolydis apskaičiuojamas kaip paviršiaus kitimo greitis (delta) horizontalia (dz/dx) ir vertikalia (dz/dy) kryptimis nuo rastro centrinės iki kiekvienos gretimos gardelės.

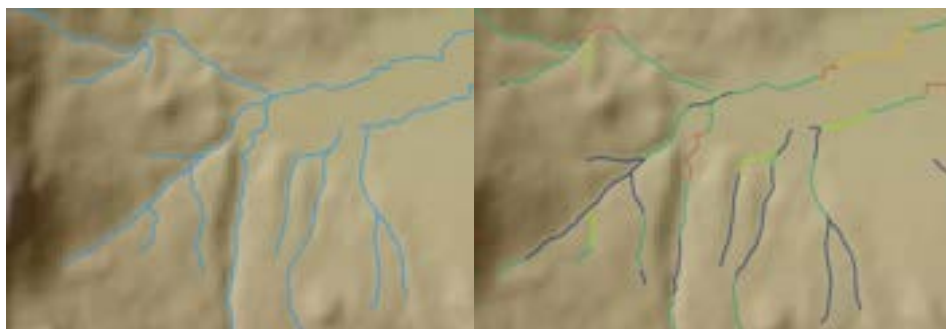
$$\Theta = \text{Arctan}(\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2}) * 57.29578$$

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, tai yra jo statumas. Sudarytas pakrančių polinkio rastrinis sluoksnis toliau suklasifikuotas pagal šlaitų statumo klasių intervalus taip išskiriant plokščius paviršius, 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	Plokšti paviršiai	Labai silpna	0
1-3	Labai lėkšti	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 įrankiu. Skirtumas nuo 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 pradinę 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 (rezultatų pavyzdys)

7. *Statistinių ryšių tarp upių pakrantės polinkio kampų ir vagos gradiento bei vingiuotumo rodiklių patikrinimas.* Pakrantės polinkio kampų ryšius ir priklausomybę su kitais išskaičiuotais

hidrografiniais rodikliais (vagos gradientas ir vingiuotumas) pagrindė atlikta statistinė erdvinė lokalių dvimačių ryšių analizė. Jos rezultatai parodė aiškų ir stiprų statistinį ryšį tarp upės vagos gradiento ir upės krantų polinkio kampo 100 m atkarpoje (iš >420 000 atkarpų, 90,25% nustatytas patikimas ryšys). Todėl tolimesniuose pakrančių erozijos rizikos skaičiavimuose bus naudojamosi pakrančių apsaugos juostoje nustatytomis paviršiaus gardelių polinkio kampų reikšmėmis.

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 įvardintus vektorinius duomenis. Pradinių duomenų pasirinkimas lemia tai, jog į kiekvieno vandens telkinio pakrantės juostą pateko daugybė 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 potencialios erozijos riziką, taikyti sekantys skaičiavimai, sąlygos bei koeficientai.

$$RIZIKA\_GRID\_PROC = (Proc\_GRID1*0/100) + (Proc\_GRID2*0,25/100) + (Proc\_GRID3*0,5/100) + (Proc\_GRID4*0,75/100) + (Proc\_GRID5*1/100)$$

Čia: *RIZIKA\_GRID\_PROC* – bendras erozijos rizikos balas

*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 kadastrinės vietovės) skiriasi juose esančių vandens telkinių ir pakrančių tankumu bei užimamu plotu. Bendras erozijos rizikos balas neatsižvelgia į pakrančių ploto santykinę vertę, dėl to teritorijoms (seniūnijoms/kadastrinėms vietovėms), kurios pasižymi mažu vandens telkinių (ir kartu pakrančių) plotu ir, pavyzdžiui, stačiomis 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.

$$RIZIKA (RIZIKA\_26, RIZIKA\_45, RIZIKA\_85) = GRID\_AREA\_SUM * 2/GRID\_AREA\_SUM_{max} * RIZIKA\_GRID\_PROC$$

Čia: *RIZIKA (RIZIKA\_26, RIZIKA\_45, RIZIKA\_85)* – individualiai kiekvienam RCP scenarijui perskaičiuojama koreguota erozijos rizikos balo reikšmė,

*GRID\_AREA\_SUM* – pakrančių plotas, tenkantis administraciniam teritoriniam vienetai,

*GRID\_AREA\_SUM<sub>max</sub>* – pakrančių ploto administraciniuose teritoriniuose vienetuose maksimali reikšmė (atmetus duomenų imties išskirtis), *RIZIKA\_GRID\_PROC* – bendras

erozijos rizikos balas be pataisos į pakrančių plotą administraciniuose teritoriniuose vienetuose.

### 1.3.5. Pakrančių erozijos rizikos galutinių balų verčių paaškinimas

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\_PAKRANTES\_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 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 paaškinama žemiau pridedamuose duomenų sluoksnių lentelių pavyzdžiuose (9 ir 10 lentelė).

9 lentelė. GIS *shape* sluoksnių lentelės kadastrinių vietovių lygmenyje fragmentas ir informacijos stulpeliuose paaškinimai

Unikalus kadastrinės vietovės kodo nr.	Vietovės kodas	Vietovės pavadinimas	Savivaldybės, kuriai priklauso vietovė, pavadinimas	Rizikos balas pagal RCP 2.6 scenarijų	Rizikos balas pagal RCP 4.5 scenarijų	Rizikos balas pagal RCP 8.5 scenarijų	Kadastrinės vietovės perimetras	Kadastrinės vietovės plotas
FID_KADAST	KOD_VIET	VIETOVE	SAVIVALDYB	RIZIKA_26	RIZIKA_45	RIZIKA_85	Shape_Leng	Shape_Area
1	3601	Anciškliai	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

10 lentelė. GIS *shape* sluoksnių lentelės seniūnijų lygmenyje fragmentas ir informacijos stulpeliuose paaškinimas

Unikalus seniūnijos kodo nr.	Seniūnijos kodas	Seniūnijos pavadinimas	Seniūnijos savivaldos tipas	Rizikos balas pagal RCP 2.6 scenarijų	Rizikos balas pagal RCP 4.5 scenarijų	Rizikos balas pagal RCP 8.5 scenarijų	Seniūnijos perimetras	Seniūnijos plotas
FID_SENIUN	ISN	NAMN	DESN	RIZIKA_26	RIZIKA_45	RIZIKA_85	Shape_Leng	Shape_Area
1	4504	Klaipėda	Miesto savivaldybė	9.59	10.21	10.12	77110.88 30832000 0	88316869.51
2	4505	Neringa	Savivaldybė	29.79	29.70	29.70	100541.5 83258000 00	89452356.87
3	4504	Palanga	Miesto savivaldybė	10.46	11.65	11.50	61656.73 76648000 0	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 mažos, mažos, vidutinės, didelės ir labai didelės erozijos rizikos grupes (11 lentelė).

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

<b>Erozijos rizika</b>	<b>Rizikos balas</b>
Nėra	0
Labai maža	$> 0 < 2,5$
Maža	$> 2,5 < 5$
Vidutinė	$> 5 < 7,5$
Didelė	$> 7,5 < 10$
Labai didelė	$> 10$





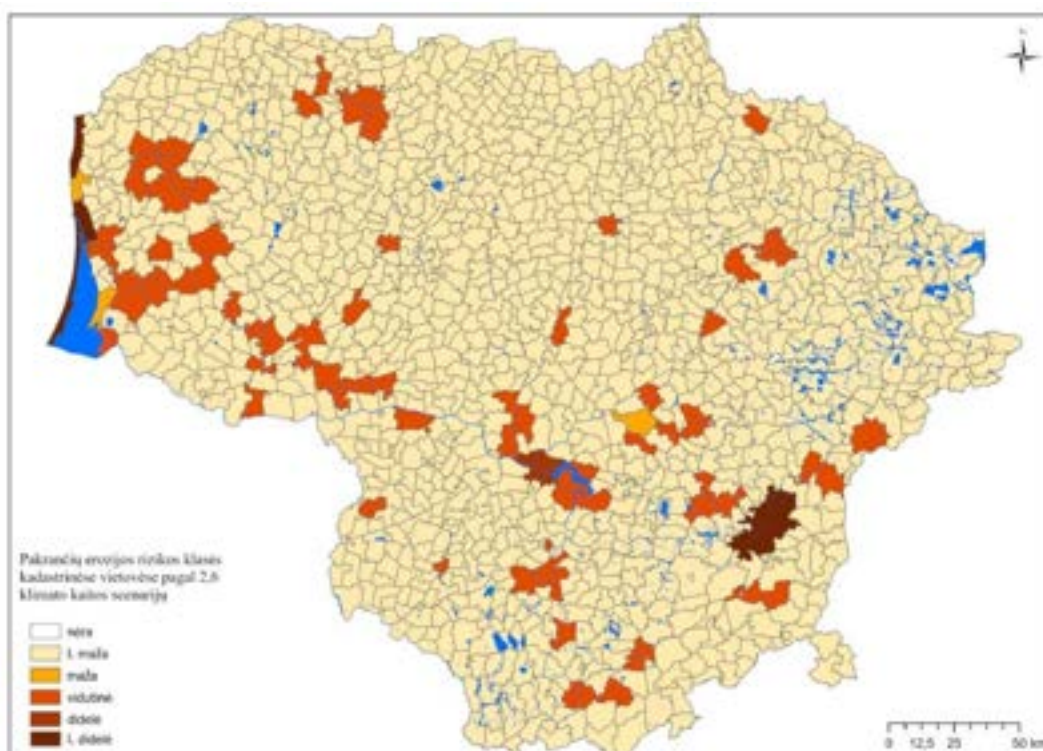
#### 1.4. Pakrančių erozijos rizikos prognozių pagal RCP (2.6, 5.4, 8.5) scenarijus modeliavimo rezultatai

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 (šiuo metu Baltijos vandens lygis Lietuvos jūros pakrantėje kyla apytiksliai 2 mm/m). 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) (7 ir 8 pav.).

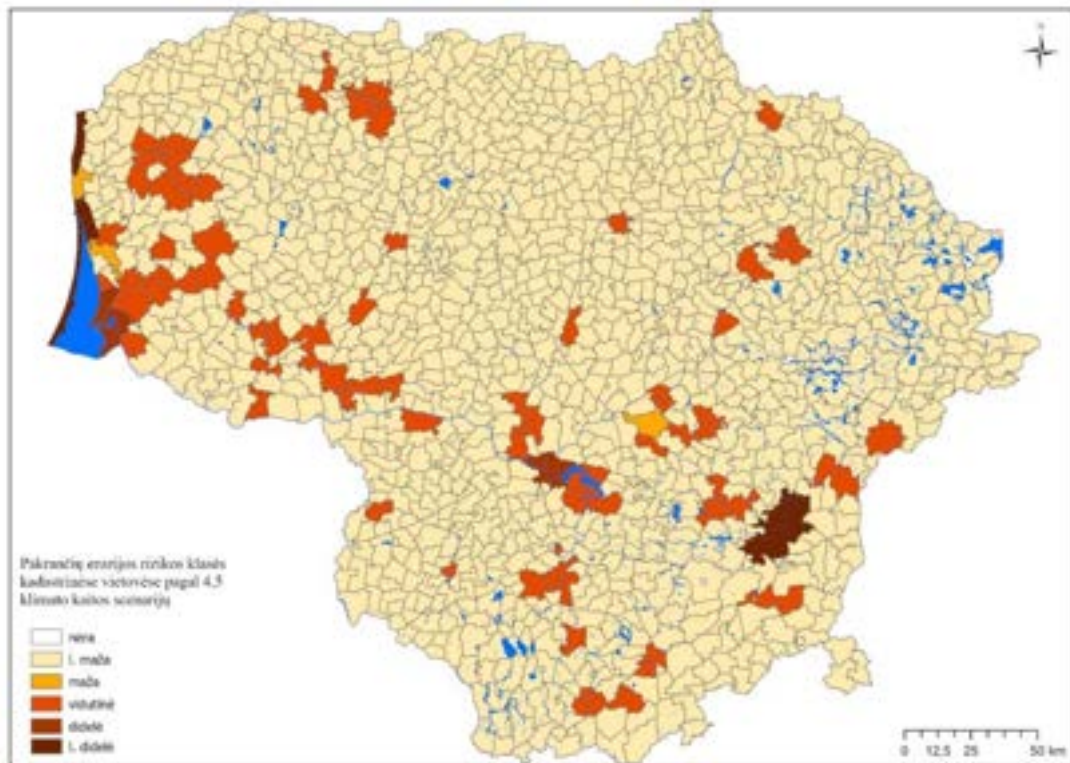
Vilniaus atveju, visais modeliuojamais scenarijais, gauta labai didelė pakrančių erozijos rizika. Rezultatai paaiškinami santykinai dideliu vandens telkinių kiekiu ir gilių terasinių bei stipriai erozijos paveiktų Nerios, Vokės, Vilnios ir kai kurių smulkesnių upelių slėnių buvimu (6, 7, 8 pav.).

Kauno didelės rizikos balų vertės yra įtakotos Nemuno, Nerios ir Kauno marių pakrantės (tenkančios miesto teritorijai) rodiklių (6, 7, 8 pav.).

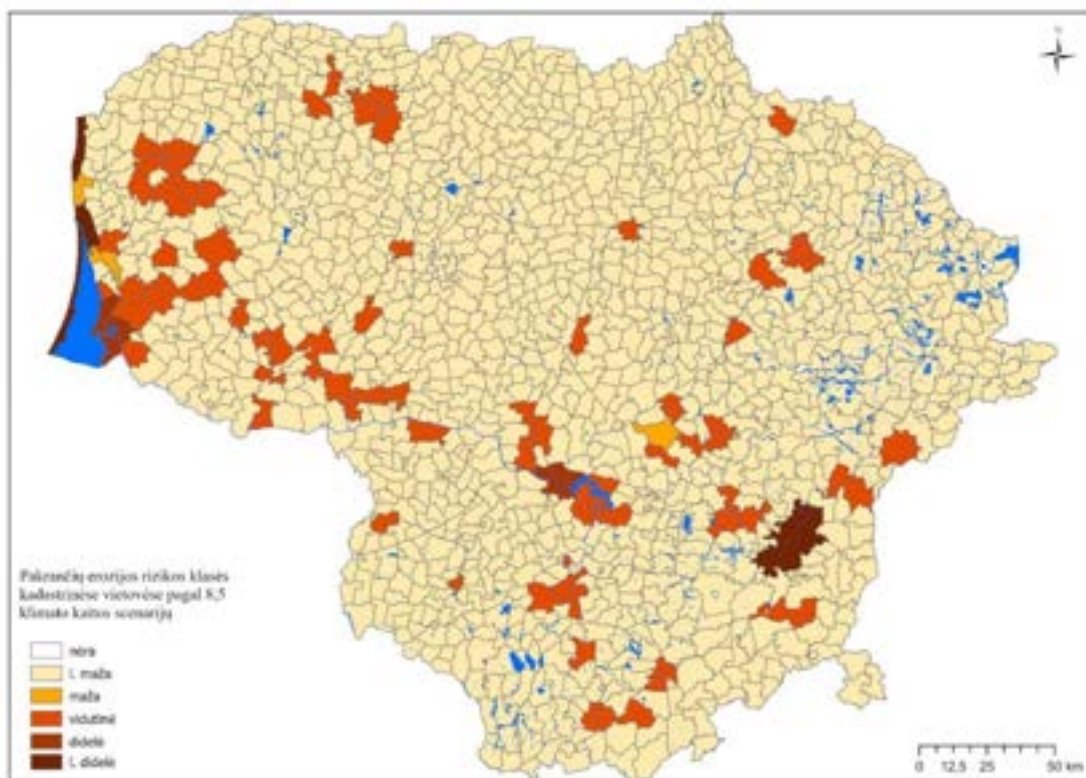
Įvairiose Lietuvos teritorijos dalyse, atskirose kadastrinėse vietovėse išskirta vidutinė pakrančių erozijos rizika. Šis balas žemyninėje šalies dalyje pagrįste nulemtas vietovėmis tenkančių eroduotų upių slėnių charakteristikomis (6, 7, 8 pav.).



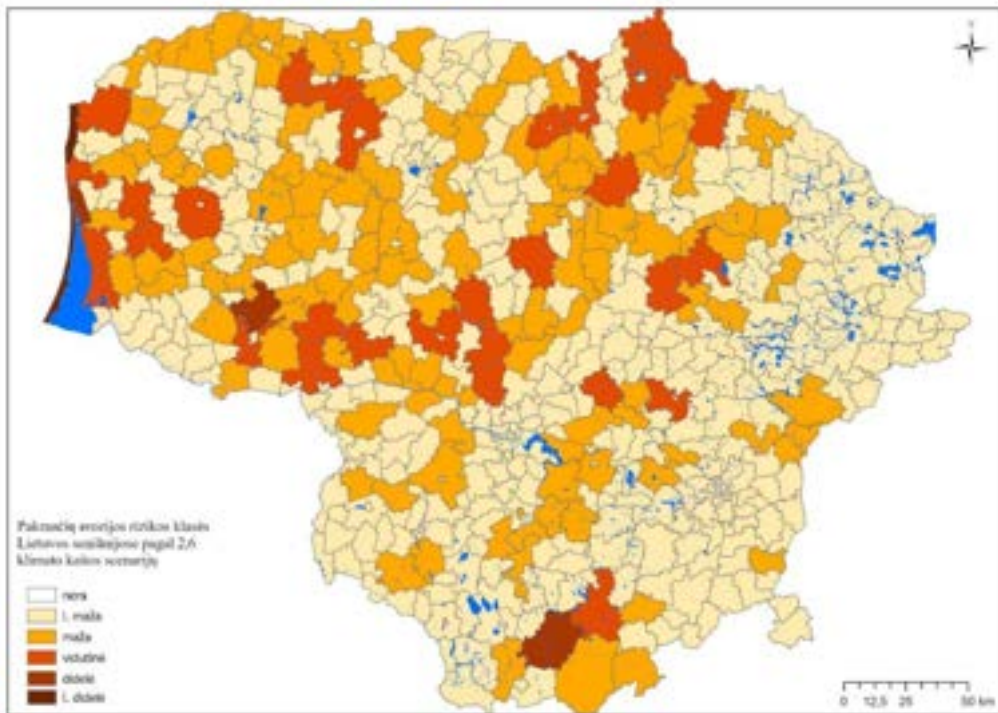
6 pav. Pakrančių erozijos rizikos klasės kadastrinėse vietovėse pagal RCP 2,6 klimato kaitos scenarijų



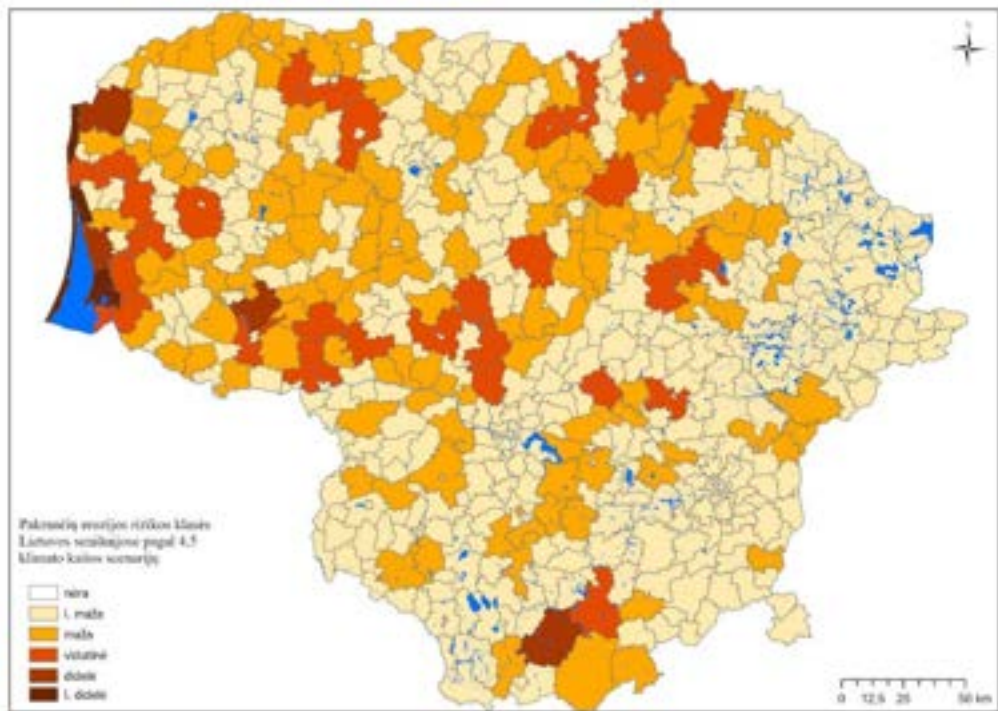
7 pav. Pakrančių erozijos rizikos klasės kadastrinėse vietovėse pagal RCP 4,5 klimato kaitos scenarijų



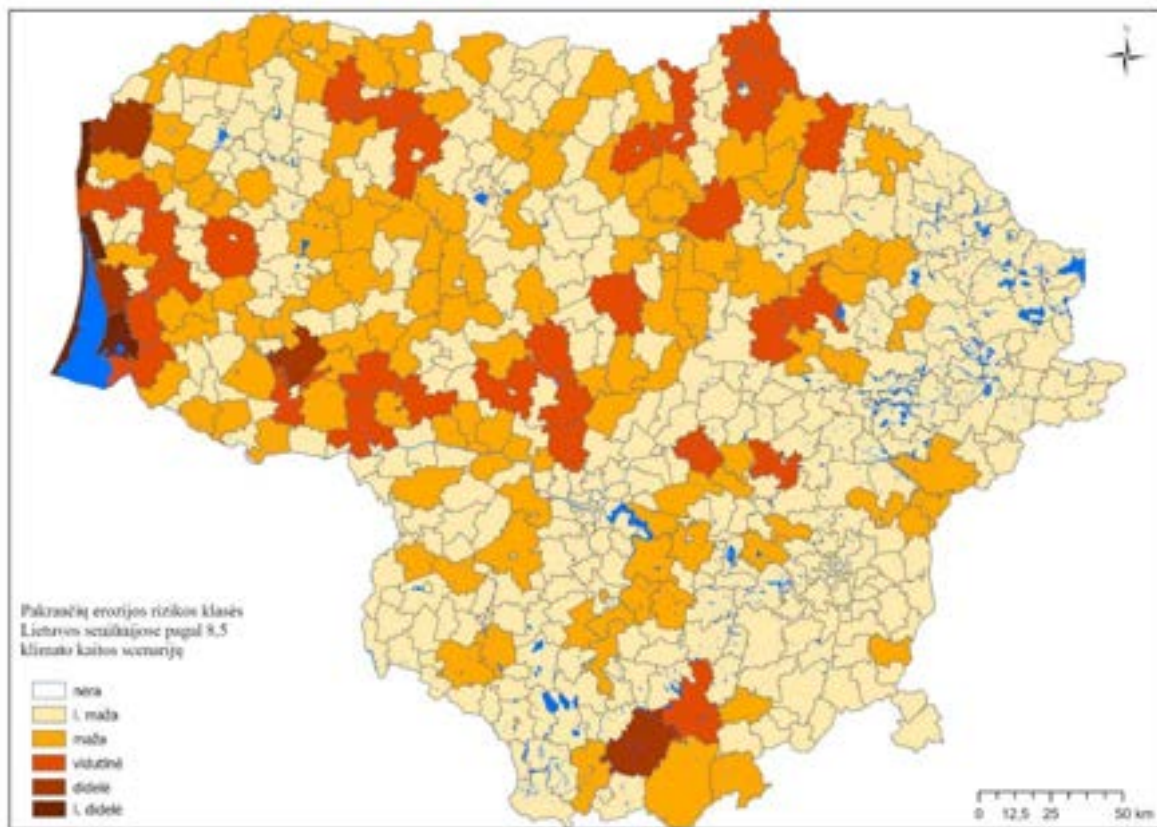
8 pav. Pakrančių erozijos rizikos klasės kadastrinėse vietovėse pagal RCP 8,5 klimato kaitos scenarijų



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



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



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

Pakrančių erozijos rizikos pasiskirstymo paveikslas seniūnijose kitoks dėl pakitusio apibendrinimo lygmens. Didieji miestai suskaidžius jų teritoriją į smulkesnius teritorinius vienetus, praranda aukštą 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)) (9, 10, 11 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 rizika išliks labai didelė, o Kuršių marių pakrantės seniūnijose (Rusnė, Šilutė, Kintai, Priekulė) ji dar labiau augs (9, 10 ir 11 pav.).

## **2. Solifliukcijos rizikos vertinimas atsižvelgiant į RCP klimato kaitos scenarijus**

### **2.1. Solifliukcijos procesą lemiantys veiksniai**

Solifliukcija – lėtas, plastiškas sudūlėjusios atitirpusios ir įmirkusios medžiagos slinkimas (bliukimas) įšalusiu šlaito paviršiumi žemyn. Procesas nulemtas šalčio, vandens ir dirvožemio įšalo gylio. Solifliukcija vyksta kuomet laisvas dirvožemio 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, pasižyminčiose tinkamų sąlygų kompleksu.

### **2.2. Erdvinis solifliukcijos rizikų modeliavimas**

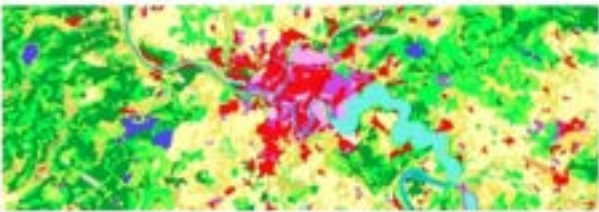
#### **2.2.1. Solifliukcijos rizikos rodikliai**

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 kampą, dirvožemio įšalo gylį, dirvožemio įšalimo periodiškumą, kas siejasi su kitu rodikliu - neigiamomis šaltojo laikotarpio temperatūromis (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 m<sup>2</sup> (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 vertės ir jiems priskirti balai paaiškinti 12-18 lentelėse, tuo tarpu rodikliams skaičiuoti naudoti duomenys bei jų šaltiniai aptariami sekančiame poskyryje (2.2.3.).

12 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 CORINE NE (© European Union, Copernicus Land Monitoring Service 2018, European Environment Agency (EEA)) klasifikaciją klasės: 141 Green urban areas; 122 Road and rail networks and associated land; 142 Sport and leisure facilities; 231 Pastures; 321 Natural grasslands.				
					
	CORINE 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
<b>Solifliukcijos rizikos klasės pagal dalinių rodiklių balų sumą</b>	L. maža	Maža	Vidutinė	Didelė	L. didelė

13 lentelė. Paviršiaus reljefo polinkio kampo/ šlaitų klasės

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

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

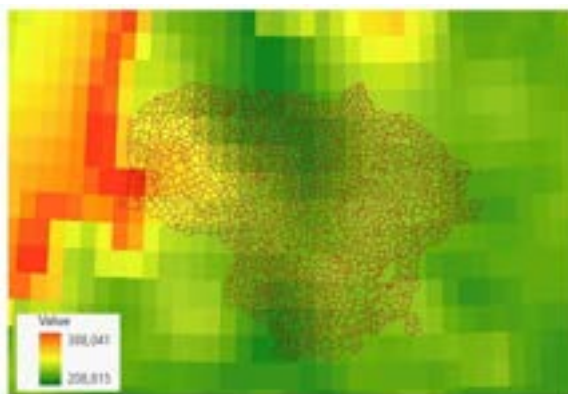
14 lentelė. Lapkričio-kovo mėn. kritulių kiekio rodiklio klasės (mm)

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 laikotarpių pasiskirstymas vertintas Lietuvos teritorijos ribose. Kritulių intervalų klasės nustatytos remiantis daugiamečio kritulių (šaltuoju laikotarpiu) pasiskirstymo duomenimis. Apačioje pridedamas 2022 m. situacijos (paskaičiuota pagal daugiamečių vidurkį) kritulių šaltuoju laikotarpiu rastrinio

sluoksnio, naudoto duomenų analizei, pavyzdys. Klimatinių ateities projekcijų duomenų specifikacija pateikiama 14 lentelėje.



Lapkričio-kovo mėn. kritulių kiekio (2022 m. vidutinės kritulių reikšmės išvestos daugiamečio vidurkiu metodu) rastrinis duomenų sluoksnis

15 lentelė. Dirvodarinių uolienuų pralaidumo koeficiento rodiklio klasės

Rodiklio vertės	Dirvodarinės uolienos
1	s – smėlis; s1 – rišlus smėlis; d – durpė;
2	ps – priemolis; sp – smėlingas lengvas priemolis; dps – dulkiškas priemolis;
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 prasčiausiai vandenį išlaiko smėlis ir durpės, geriausiai – dulkiškas molis ir molis.

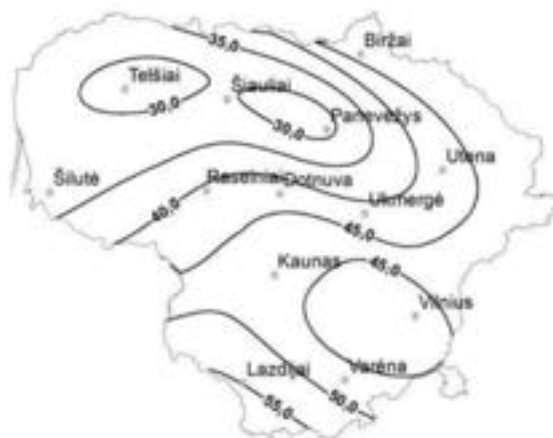
Šio tyrimo rėmuose dirvodarinių uolienuų pralaidumo vandeniui koeficientas skaičiuotas atsižvelgiant į granulimetrinę sudėtį ir JAV žemės ūkio tarnybos parengtą RUSLE (angl. Revised universal soil loss equation) modelio dirvožemio erodotumo faktoriaus (K faktorius) bei jo dalinio rodiklio – dirvožemio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

16 lentelė. Dirvožemio įšalo gylis 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: 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.



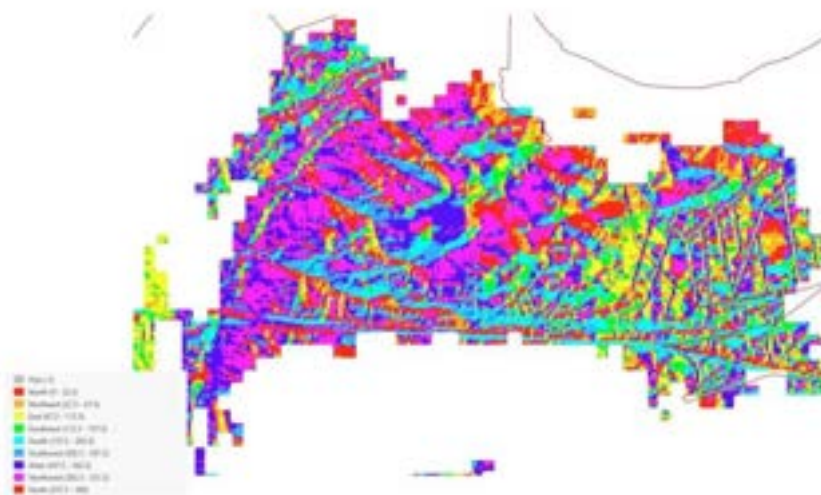
Maksimalus dirvožemio įšalo gylis (cm) 1981–2010 m. Lietuvos teritorijoje (Mačiulytė, Rimkus, 2016)

17 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 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

18 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 įšalo 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 19 lentelėje.

19 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 koordinatų 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. <a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/ecv-for-climate-change?tab=form">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/ecv-for-climate-change?tab=form</a></p> <p>Projektuojamam laikotarpiui (pagal RCP 2.6, 4.5 ir 8.5 scenarijus) išskaičiuotas daugiametis 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);</p>

	<a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-hydrology-meteorology-derived-projections?tab=form">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-hydrology-meteorology-derived-projections?tab=form</a>
Infiltracijos (pralaidumo) koeficientas	<p>Infiltracijos/ grunto pagal granulimetrinę sudėtį pralaidumo klasės apskaičiuotos remiantis dirvožemio erozijos modelio/ lygties RUSLE (angl. Revised Universal Soil Loss Equation) K-faktorius (K - Dirvožemio erozijos rodiklis) dirvožemio pralaidumo klasių vertės.</p> <p>Kvartero nuogulų (dirvodarinių uolienu) mechaninės sudėties grupės ir jų paplitimo arealų ribos (išskyrus miškingas teritorijas) gautos iš DIRV_10 dirvožemio GIS duomenų bazės.</p> <p><a href="https://www.geoportal.lt/metadata-catalog/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7B449450A9-AD8C-6E9E-6FCB-06A0584BF88C%7D">https://www.geoportal.lt/metadata-catalog/catalog/search/resource/details.page?uuid=%7B449450A9-AD8C-6E9E-6FCB-06A0584BF88C%7D</a></p> <p>Grunto pralaidumo klasių vertės išskaičiuotos iš RUSLE vadovo: <a href="https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/RUSLE2%20Handbook_0.pdf">https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/RUSLE2%20Handbook_0.pdf</a></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 koordinatų 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 laikotarpiui išskaičiuotas 2070-2099 m vidurkis. Pateikiamos reikšmės: Dienų skaičius per 10 dienų, kai TX &lt; 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><a href="https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-agroclimatic-indicators?tab=form">https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-agroclimatic-indicators?tab=form</a></p>

### 2.2.3. Solifliukcijos rizikos vertinimo etapai

1. *Solifliukcijos pažeidžiamų žemės dangos (žemėnaudos tipų) teritorijų išskyrimas.* Solifliukcijos rizikos vertinimas atliktas teritorijoms, kurios apaugusios žoline nesumedėjusia augmenija. Miškingos teritorijos (su tankia augmenijos 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 prognozių, kaip keisis žemės dangos struktūra ateinančiais 50-100, kol kas nėra parengta, 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, naudojančio žemiau 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 vertikalio ( $dz/dy$ ) kryptimis nuo rastro centrinės iki kiekvienos gretimos gardelės. 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 nevyksta).

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, 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 (daugiamečių vidurkių). 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 ir 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 erdviųjų 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 atitinka 1 ir 2 etapuose įvardijamus kriterijus (patenka į žolinės augalijos dangos klasių arealus, polinkio kampas > 2°). Dirvožemio duomenų atributuose, be eilės kitos informacijos, saugomi duomenys apie dirvodarinių uolienu tipą (pagal Fere mechaninės gruntų sudėties klasifikaciją). 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.* Vertinimas solifliukcijos rizikos balais atliktas remiantis 13 lentelėje nurodytais rodikliais. Pats modeliavimas vykdytas naudojant erdvinius duomenis, kurių pagrindu pasitarnavo 10\*10 m skiriamosios gebos paviršiaus reljefo skaitmeninio duomenų modelio sluoksnis (pastarojo pagrindu toliau skaičiuoti kai kurie morfometriniai 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 > negu 2°;

Plotai atitinkantys pirminius solifliukcijai reikšties tinkamus kriterijus, toliau modeliuoti pagal išskirtus solifliukcijos rizikos modeliavimo rodiklius (12 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 (12 lentelė) balo dedamąją (20 lentelė).

20 lentelė. Suminio solifliukcijos balo reikšmių intervalai

Suminis solifliukcijos rizikos balas (modeliuotų rodiklių balų suma kiekvienai 10*10 m 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 m<sup>2</sup> 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 administraciniame vienetė.

$$RIZIKA\_PROC = (Proc\_6*0/100) + (Proc\_6\_12*0,25/100) + (Proc\_12\_18*0,5/100) + (Proc\_18\_23*0,75/100) + (Proc\_23\_30*1/100)$$

Čia: RIZIKA\_PROC – bendras solifliukcijos rizikos balas administraciniame vienetė;  
Proc\_6 – plotų (gardelių sumos) pasižymintųjų 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 vienetai;*

*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 yra nevienodo dydžio ir tarpusavyje skiriasi solifliukcijai jautrių teritorijų plotu, bendram solifliukcijos balui pritaikytas pataisos koeficientas pagal užimamą santykinę potencialiai paveiktų teritorijų plotą (imant nuo bendro adm. teritorinio vieneto plotą), taip gaunamas galutinis solifliukcijos rizikos balas.

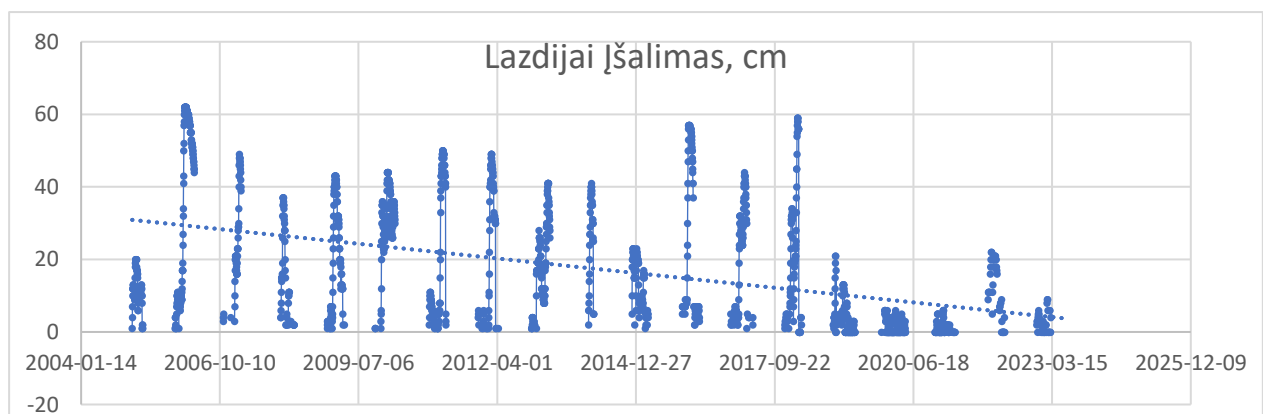
$$RIZIKA\_PROC * (SOLI\_AREA\_SUM / shape\_AREA)$$

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

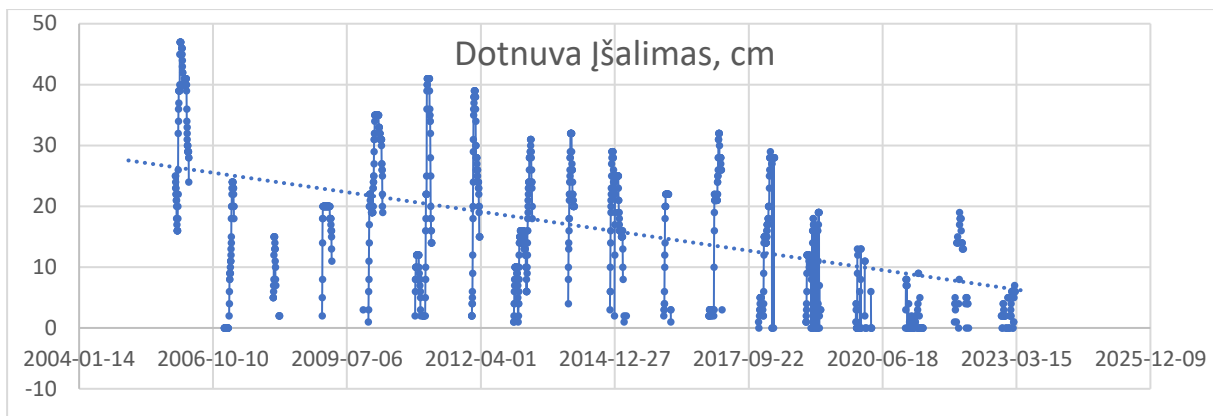
*SOLI\_AREA\_SUM – administracinio teritorinio vieneto (seniūnijos ar kadastrinės vietovės) plotas (suma m<sup>2</sup>), kuriame išskirti solifliukcijos rizikos arealai/ gardelės;*

*shape\_AREA – administracinio teritorinio vieneto plotas (m<sup>2</sup>).*

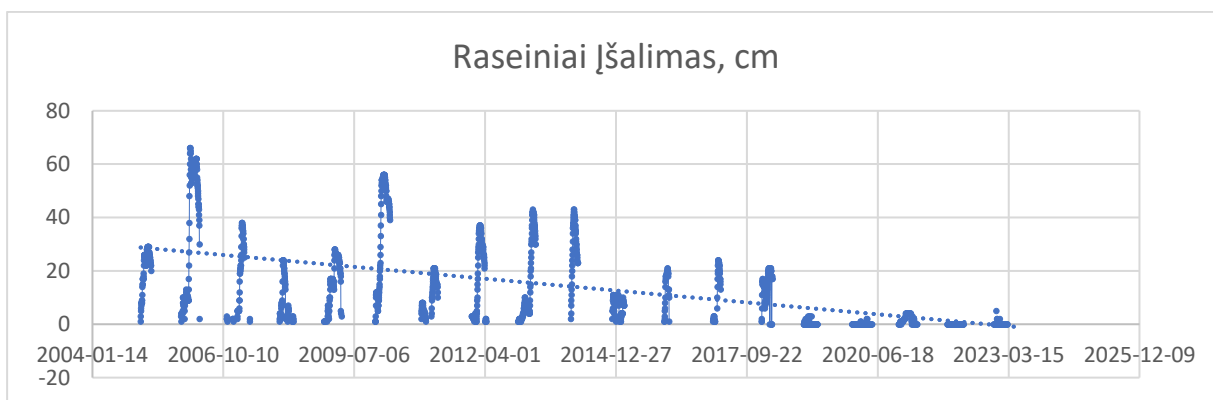
6. *Solifliukcijos rizikos vertinimas pagal ateities klimato kaitos RCP scenarijus. Aukščiau įvardinti punktai aprašo solifliukcijos rizikų vertinimą faktinei situacijai. Tuo pačiu aprašyta metodika (atliekant visus aprašytus žingsnius bei etapus) taikoma ir užduotyje apibrėžtų RCP (2.6, 4.5 ir 8.5) 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 daugiametį stebėjimų duomenys (12-15 pav.).*



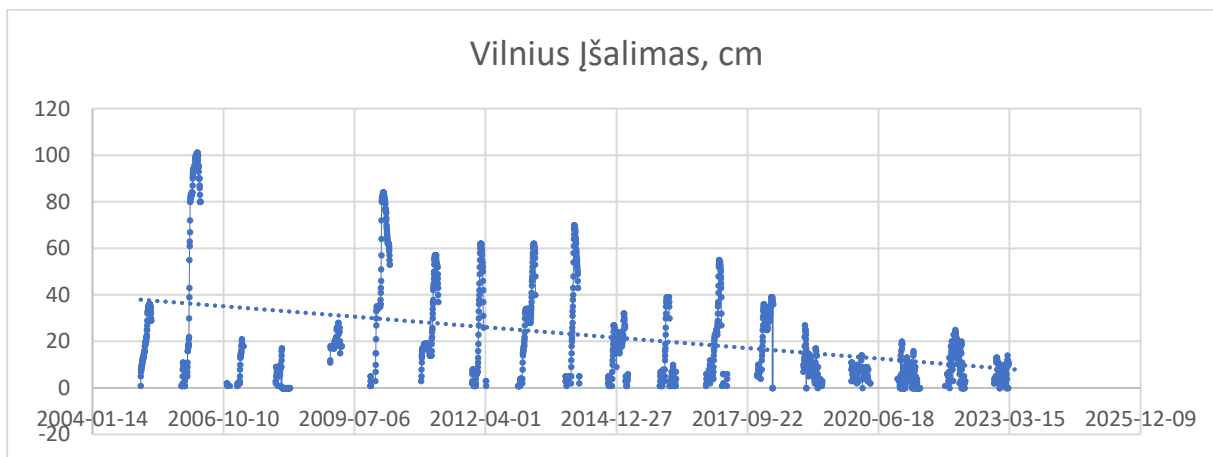
12 pav. Dirvožemio įšalo gylis dinamika, išmatuota Lazdijuose 2004-2023 m. laikotarpiu



13 pav. Dirvožemio įšalo gylio dinamika, išmatuota Dotnuvoje 2004-2023 m. laikotarpiu



14 pav. Dirvožemio įšalo gylio dinamika išmatuota Raseiniuose 2004-2023 m. laikotarpiu



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

Vis dėl to, kiekybinių ateities dirvožemio įšalo prognozių (taip pat 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 19 lentelėje.



## 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 solifliukcijos rizikos balai. Jie pateikiami GIS *shape* seniūnijų ir kadastrinių vietovių ribų (poligonų) sluoksniuose „SENIUNIJOS\_SOLIFLIUKCIJA\_RIZIKA“ ir „KADASTRINES\_VIETOVES\_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 (21 ir 22 lentelės).

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

Unikalūs seniūnijos kodo nr.	Unikalus 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_Length	Shape_Area	RIZIKA_85	RIZIKA_26	RIZIKA_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

22 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 vietovės 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	Anciskiai	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



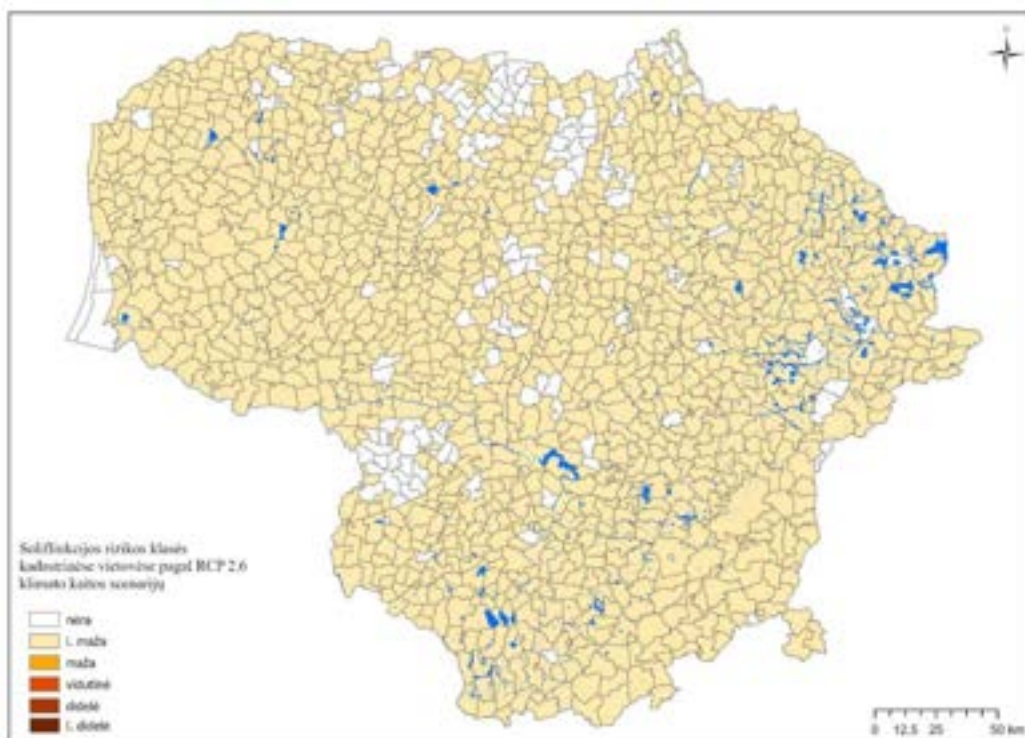
23 lentelė. Galutinių solifliukcijos rizikos balų intervalai ir rizikos klasės

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

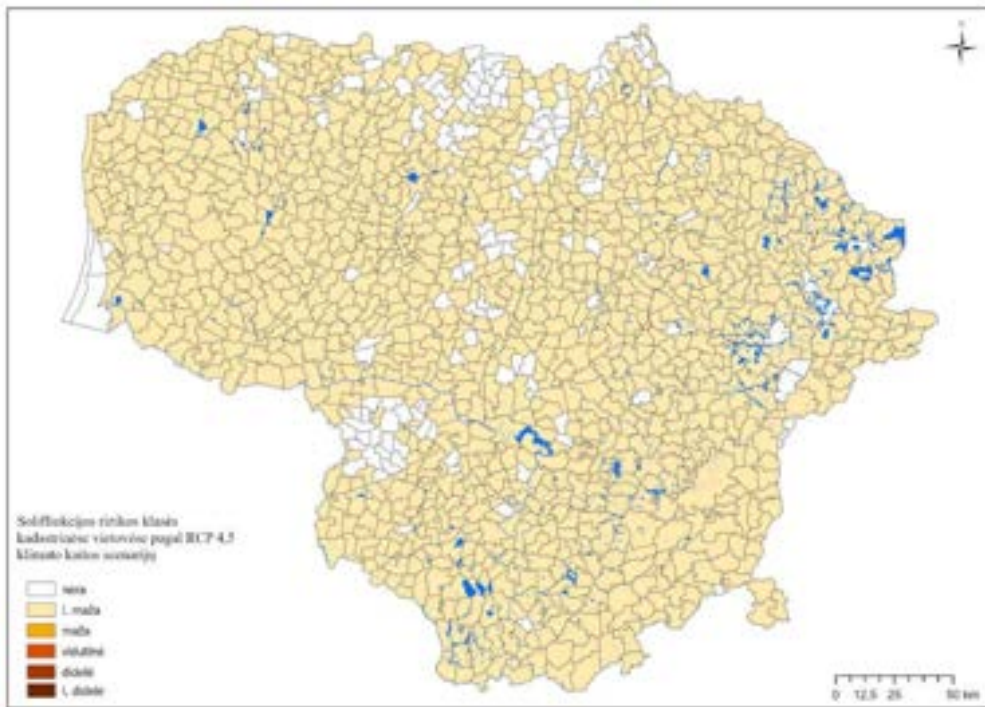
Gauti galutiniai solifliukcijos rizikos balai po atlikto normalizavimo procedūros (apskaičiavus pataisos koeficientus) pateiktuose duomenų sluoksniuose ir duomenų lentelėse apima reikšmių diapazoną tarp 0 ir 1. Šios reikšmės suskirstytos į 6 klases. Atskirai išskirtos teritorijos, kuriose solifliukcijos rizikų nėra, likusios reikšmės suskirstytos į 5 intervalus, atstovaujančius labai mažos, mažos, vidutinės, didelės ir labai didelės solifliukcijos rizikos grupes (23 lentelė).

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

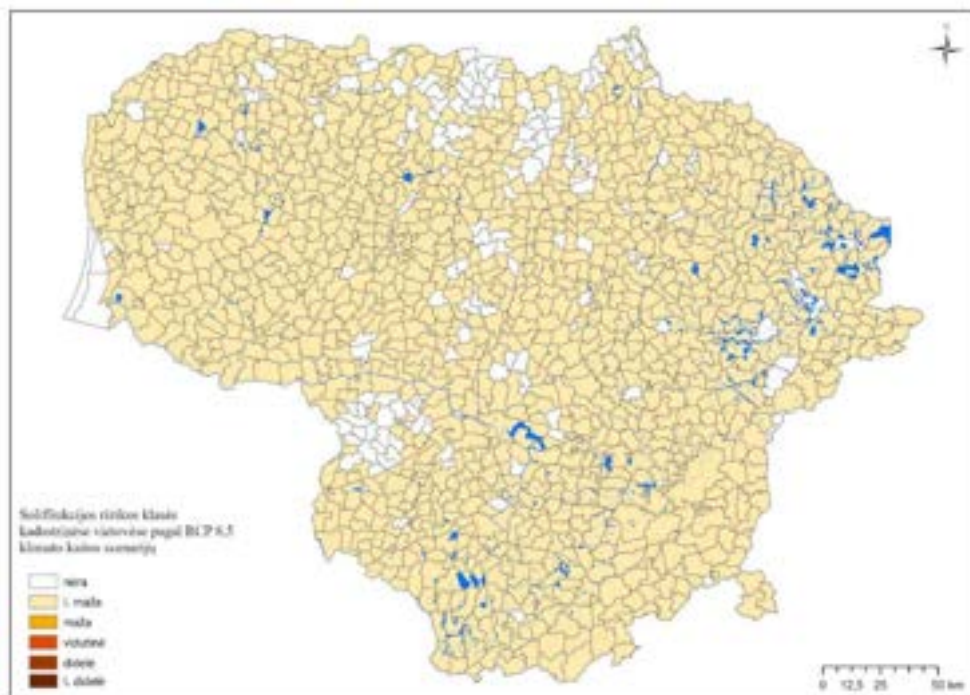
Solifliukcija nėra tipiškas ir dažnai Lietuvos klimatinėmis sąlygomis vykstantis procesas (plačiau jis aprašomas 2.1 skyriuje). Šis reiškinys gali būti stebimas lokaliuose nedidelio ploto plačiai neišplitusiuose arealuose. Todėl nenuostabu, kad vertinant solifliukcijos pasireiškimo rizikas palyginti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



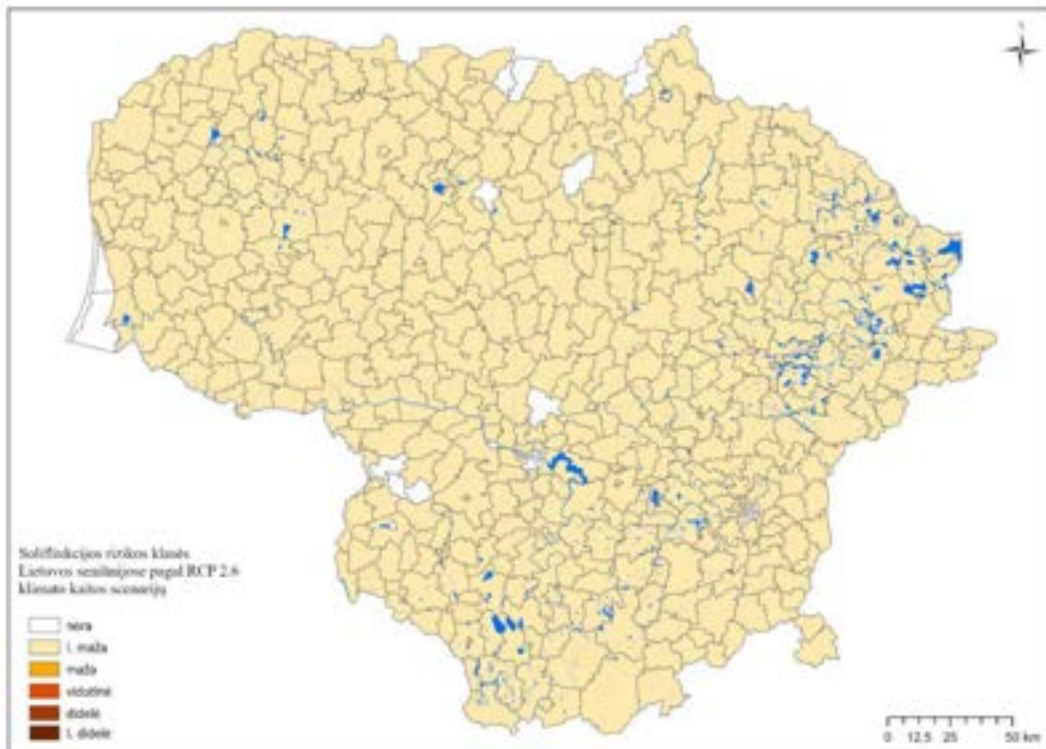
17 pav. Solifliukcijos rizikos klasės kadastrinėse vietovėse pagal RCP 2,6 klimato kaitos scenarijų



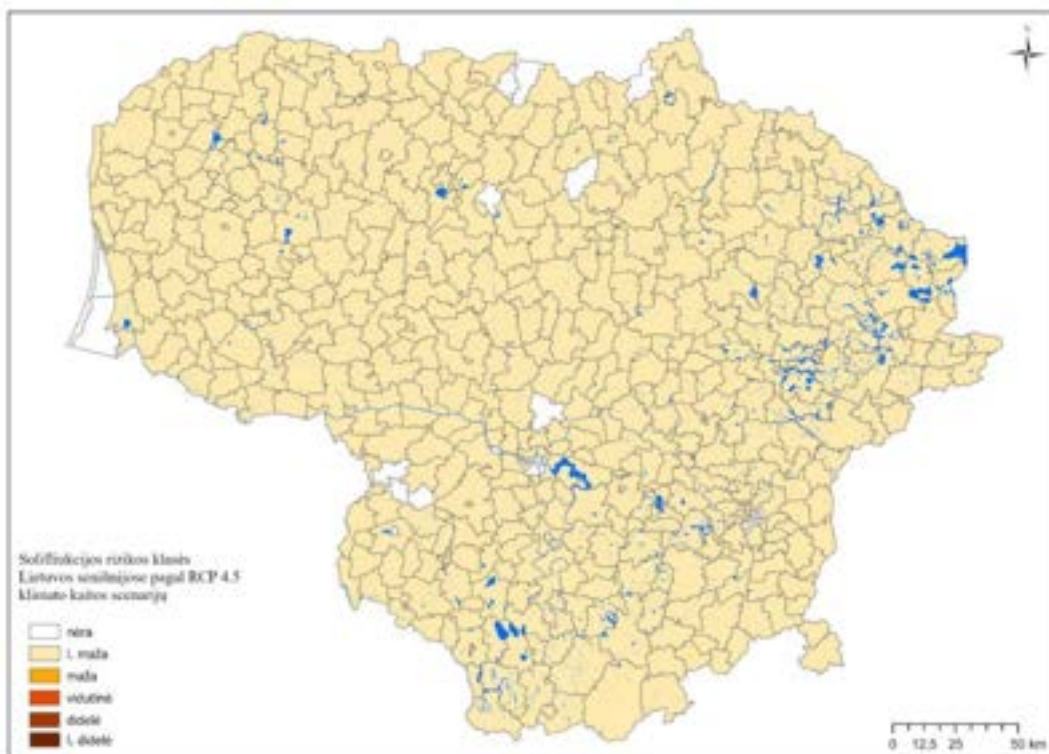
18 pav. Solifliukcijas riskas klases kadastrinēs vietovēs pagal RCP 4,5 klimata kaites scenariju



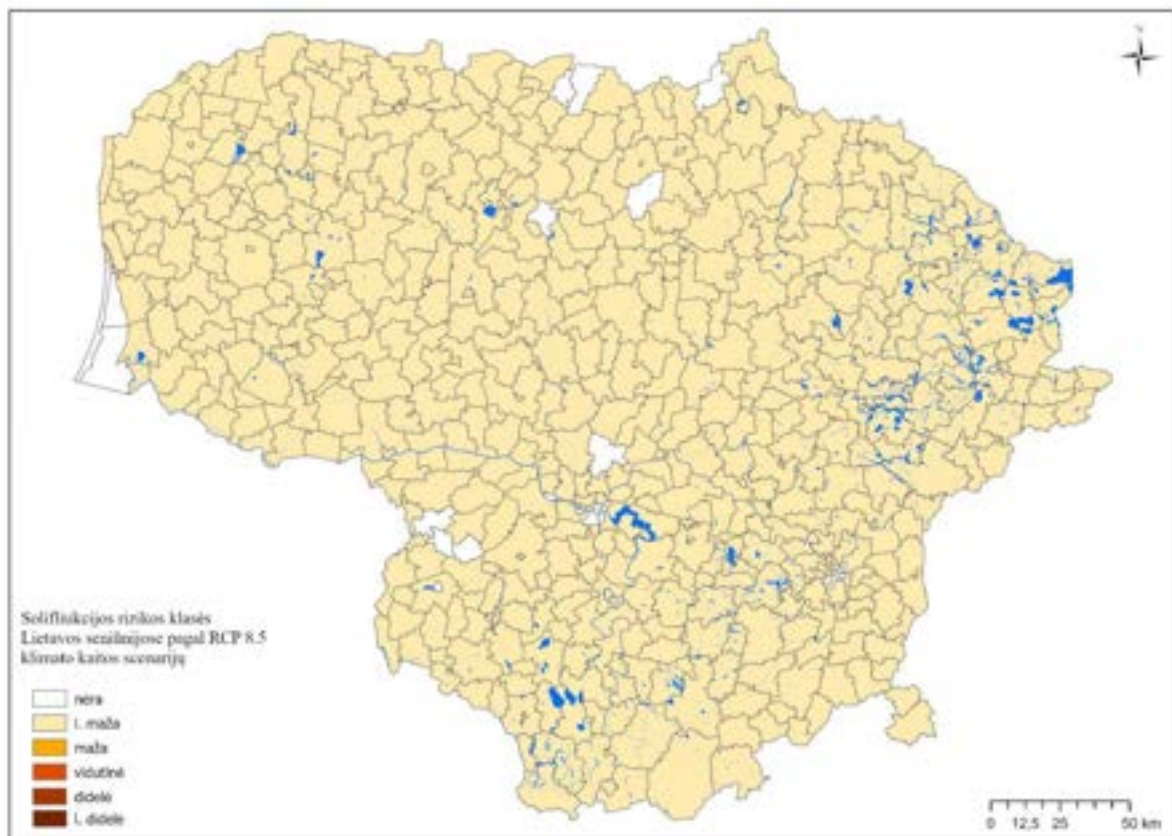
19 pav. Solifliukcijas riskas klases kadastrinēs vietovēs pagal RCP 8,5 klimata kaites scenariju



20 pav. Solifliukcijas rizikas klases seniūnijose pagal RCP 2,6 klimato kaites scenariju



21 pav. Solifliukcijas rizikas klases seniūnijose pagal RCP 4,5 klimato kaites scenariju



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