



LIETUVOS ENERGETIKOS INSTITUTAS

01-032-P-0001-T-V2

HIDROLOGIJOS LABORATORIJA

POTVYNIŲ GRĖSMĖS IR RIZIKOS ŽEMĖLAPIŲ ATNAUJINIMAS IR VALDYMO PLANŲ PARENGIMAS

Ataskaita

Dr. D. Jakimavičius

Kaunas, 2026-06-19



<i>Ataskaitos pavadinimas:</i> Potvynių grėsmės ir rizikos žemėlapių atnaujinimas ir valdymo planų parengimas <i>Etapas ir pavadinimas: Ataskaita</i>		<i>Išleidimo data:</i> 2026-06-19
<i>Autoriai:</i> v. m. d. V. Akstinas, j. m. d. K. Z. Belay, spec. A. Dumbrasukas, j. m. d. K. Gurjazkaitė, m. d. A. Jurgelėnaitė, vyriaus. m. d. J. Kriaučiūnienė, v. m. d. S. Nazarenko, v. m. d. D. Šarauskienė j. m. d. A. Žilys	<i>Vadovas:</i> v. m. d. D. Jakimavičius	<i>Psl. sk./ Priedų psl. sk.:</i> 78/44
<i>Partneriai:</i> Aplinkos Apsaugos Agentūra, Aplinkos projektų valdymo agentūra	<i>Sutarties data:</i> 2025-10-30	<i>Atask. Ident.:</i> 01-032-P-0001-T-V2
<i>Sutarties pavadinimas:</i> Potvynių grėsmės ir rizikos žemėlapių atnaujinimas ir valdymo planų parengimas		<i>Sut. Nr.:</i> 01-032-P-0001
<i>Anotacija:</i> Šios studijos tikslas – atlikti Strėvos, Smeltalės bei Minijos baseino upių potvynių modeliavimą klimato kaitos kontekste ir atnaujinti potvynių grėsmės žemėlapius 238,4 km ruožuose. Šioje tarpinėje ataskaitoje analizuojami ledo dangos pokyčiai ir jos įtaka potvynių formavimuisi. Remiantis 10 globalaus klimato modelių ansamblio duomenimis, atlikta oro temperatūros, kritulių ir bendro nuotėkio kaitos analizė pagal optimistinį (SSP2-4.5) bei pesimistinį (SSP5-8.5) scenarijus artimoje (2031–2050 m.) ir tolimoje (2081–2100 m.) perspektyvoje.		
<i>Reikšminiai žodžiai:</i> Potvynių grėsmė, rizikos žemėlapiai.		
<i>Ataskaita perduota:</i> Užsakovui – 1 egz., Vykdytojai – 1 egz., LEI archyvui – 1 egz.	<i>Saugojimo vieta ir bylos Nr.:</i> D:/Ataskaitos/2026/Potvynių_projektas/ Ataskaita.doc	
Hidrologijos laboratorija Lietuvos energetikos institutas Breslaujos g. 3 LT-44403, Kaunas	Telefonas: 8 37 401961 E-paštas: darius.jakimavicius@lei.lt WWW: http://www.lei.lt	

Patikrinta:

Patvirtinta:

Hidrologijos
laboratorijos vadovas
Vytautas Akstinas

Lietuvos energetikos instituto
direktorius pavaduotojas
Andrius Tamošiūnas

TURINYS

IVADAS	7
1. NAUDOTI DUOMENYS	8
1.1. Duomenys ledo dangos analizei	8
1.2. Duomenys klimato modelių duomenų adaptavimui Lietuvos sąlygomis.....	9
1.3. Duomenys hidrologinių modelių kūrimui.....	10
1.4. Duomenys potvynių retų tikimybių debitų nustatymui	10
1.5. Duomenys hidrodinaminiam modeliavimui	10
2. METODIKA	13
2.1. Ledo dangos įtakos potvyniams nustatymas	13
2.2. Klimato modelių duomenų adaptavimas Lietuvos sąlygomis.....	13
2.3. Duomenų, skirtų hidrologiniam modeliavimui paruošimas ir hidrologinių modelių sukūrimas (kalibravimas ir validavimas)	15
2.3.1. Hidrologinių duomenų paruošimas	15
2.3.2. Hidrologinių modelių sukūrimas	15
2.4. Vidurio bei vakarų Lietuvos upių retų tikimybių (0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 %) pavasario potvynių debitai nustatymas	18
2.4.1. Hidrologinių duomenų paruošimas	18
2.4.2. Skirstinių, skirtų retų tikimybių (0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 %) potvynių debitų nustatymui, parinkimas	18
2.4.3. Retų tikimybių (0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 %) potvynių debitų nustatymas taikant istorinių stebėjimų duomenis bei nuotėkio modeliavimo rezultatus.....	19
2.5. Hidrodinamikos modelių sukūrimas.....	19
2.5.1. Bendros žinios ir hidrodinaminio modelio parinkimas	19
2.5.2. HEC-RAS programinė įranga ir jos taikymo sritys	20
2.5.3. HEC-RAS dvimačio modelio pagrindinės lygtys	22
3. REZULTATAI	26
3.1. Ledo dangos ir jos įtakos potvyniams Lietuvos upėse analizė.....	26
3.1.1. Pastovios ledo dangos susidarymo bei suirimo datų kaita	26
3.1.2. Pastovios ledo dangos trukmės kaita.....	27
3.1.3. Ledo sangrūdų įtaka potvyniams	29
3.2. Oro temperatūros (T, °C), kritulių (K, mm) bei bendro nuotėkio (BN, mm) pokyčiai artimoje (2031–2050 m.) ir tolimoje (2081–2100 m.) perspektyvoje pagal optimistinį (SSP2-4.5) bei pesimistinį (SSP5-8.5) scenarijus	34
3.2.1. Oro temperatūros pasiskirstymas istoriniu laikotarpiu	34

3.2.2.	Oro temperatūros projekcijos artimoje ir tolimoje perspektyvoje	36
3.2.3.	Kritulių pasiskirstymas istoriniu laikotarpiu.....	40
3.2.4.	Kritulių projekcijos artimoje ir tolimoje perspektyvoje	41
3.2.5.	Bendro nuotėkio pasiskirstymas istoriniu laikotarpiu	45
3.2.6.	Bendro nuotėkio projekcijos artimoje ir tolimoje perspektyvoje.....	47
3.3.	Strėvos bei Minijos (įskaitant jos intakus Salantą, Veiviržą bei Tenenį) upių hidrologinių modelių sukūrimas	50
3.3.1.	Hidrologinių duomenų eilučių paruošimas	50
3.3.2.	Hidrologinių modelių sukūrimas	53
3.4.	Strėvos, Smeltalės bei Minijos upių nuotėkio projekcijos pagal klimato modelių duomenis	54
3.5.	Vidurio bei vakarų Lietuvos upių retų tikimybių (0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 %) potvynių debitų nustatymas	57
3.5.1.	Duomenų eilučių paruošimas	57
3.6.	Minijos Strėvos bei Smeltalės upių hidrodinamikos modelių kūrimas.....	59
3.6.1.	Bendros nuostatos ir modelio kūrimo etapai.....	59
3.6.2.	3D skaitmeninio reljefo modelio generavimas	60
3.6.3.	Hidrodinamikos modelių aprėptis	64
3.6.4.	Modelio skaičiavimo tinklas.....	66
3.6.5.	Reljefo paviršiaus dangos įvertinimas	70
3.6.6.	Modelio kraštinės sąlygos.....	72
IŠVADOS		75
LITERATŪRA		77
PRIEDAI.....		79

SANTRUMPŲ SĄRAŠAS

ACCESS-CM2, ACCESS-ESM1-5, CanESM5, CMCC-CM2-SR5, CMCC-ESM2, EC-Earth3, IITM-ESM, INM-CM4-8, MPI-ESM1-2-HR ir NorESM2-LM – Globalaus klimato modeliai
AR6 – šeštoji Tarpyvyriausybinių klimato kaitos komisijos (IPCC) vertinimo ataskaita apie klimato kaitą

BN – bendras nuotėkis (angl. *mrro* – *monthly total runoff outputs*)

CEDA – Aplinkos duomenų analizės centras (angl. The Centre for Environmental a Analysis)

CFM – vidurkio pokyčio faktoriaus (angl. *Change Factor of Mean*) metodas, skirtas adaptuoti globalaus klimato modelių išvesties duomenis

Copernicus – tai ES Žemės stebėjimo programa, kurios pagrindu veikia Europos ir pasaulinės potvynių perspėjimo sistemos

CORINE – tai duomenų rinkinys, skirtas stebėti žemės dangą ir jos pokyčius visoje Europoje (angl. Coordination of Information on the Environment).

DHI – Danijos hidraulikos institutas

DQM – pašalinto trendo kvantilių priskyrimo (angl. *Detrended Quantile Mapping*) metodas, skirtas adaptuoti globalaus klimato modelių išvesties duomenis

DSW – seklaus srauto lygčių difuzinės bangos aproksimacija

EB – Europos bendrija

ERA5-Land – didelės skiriamosios gebos ($0,1^\circ \times 0,1^\circ$) klimato reanalizės duomenų rinkinys

Exponential, Exponential 2P, Gamma, Gamma 3P, Gen. Extreme Value, Gen. Gamma, Gen. Gamma 4P, Gen. Logistic, Gen. Pareto, Gumbel Max, Log-Logistic, Log-Logistic 3P, Log-Pearson 3, Lognormal, Lognormal 3P, Pearson 5 3P, Wakeby, Weibull, Weibull 3P – statistiniai skirstiniai, naudoti retų tikimybių potvynių apskaičiavimui

GIS – geografinė informacinė sistema

GKM – globalaus klimato modelis

HBV – hidrologinio modeliavimo programa (šved. *Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning*)

HD – hidrodinaminis

HE – hidroelektrinė

HEC-RAS – hidrodinamikos vienmačio ir dvimačio modeliavimo sistema sukurta JAV armijos korpuso Hidrologijos inžinerinio centro

ICEREG – tai Latvijos ir Lietuvos bendras projektas „Ledo sangrūdų potvynių rizikos valdymas Latvijos ir Lietuvos regionuose besikeičiant klimatui“

IPCC AR6 – Tarpyvyriausybinių klimato kaitos komisijos šeštoji vertinimo ataskaita (angl. Intergovernmental Panel on Climate Change Sixth Assessment Report)

K – krituliai, mm

KNL – klimato normos laikotarpis

LHMT – Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos, prie Aplinkos Ministerijos

Lisflood – atviro kodo nekomercinė modeliavimo sistema, skirta įvertinti upių ir ežerų vandens balansą

MIKE – programinė įranga, skirta hidrodinaminiams procesams modeliuoti (Danijos hidraulikos institutas)

MIKE 11 – vienmatis (1D) atvirų vagų hidrodinaminis modelis

MIKE 21– dvimatis (2D) hidrodinaminis modelis

MS – meteorologijos stotis

NSE – Nash'o–Sutcliffe'o efektyvumo koeficientas

R – koreliacijos koeficientas

RelDiff – suminis nuokrypis

SMHI – Švedijos meteorologijos ir hidrologijos institutas (šved. *Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut*)

SRM – skaitmeninis reljefo modelis

SSP2-4.5, SSP5-8.5 – klimato scenarijai

STR – statybos techninis reglamentas

SW – seklaus srauto lygčių sistema

VMS – vandens matavimo stotis

T – temperatūra, °C

TU – techninė užduotis

1D arba 2D – vienmatis ir dvimatis hidrodinaminis modelis

IVADAS

2007 m. Europos Sąjungoje priimtos Potvynių direktyvos (2007/60/EB) tikslas – nustatyti potvynių rizikos įvertinimo ir valdymo sistemą siekiant sumažinti neigiamas potvynių Bendrijoje pasekmes žmonių sveikatai, aplinkai, kultūros paveldui ir ekonominei veiklai. Pagal šią direktyvą kiekviena valstybė narė privalo vertinti potvynių riziką, parengti potvynių grėsmės žemėlapius ir rengti potvynių rizikos valdymo planus. Preliminarus potvynių rizikos vertinimas turi būti peržiūrimas ir prireikus atnaujinamas kas šešerius metus.

Šios studijos tikslas – taikant hidrologinį ir hidrodinaminį modelius bei įvertinant klimato kaitą atlikti Strėvos (upės ruožas 28,6 km nuo žiočių), Smeltalės (upės ruožas 15,1 km nuo žiočių), Minijos (upės ruožas 169,3 km nuo žiočių), Salanto (upės ruožas 5,5 km nuo žiočių), Veiviržo (upės ruožas 10,2 km nuo žiočių), Tenenio (upės ruožas 9,7 km nuo žiočių) potvynių modeliavimą bei prognozavimą ir remiantis gautais rezultatais parengti ir (ar) atnaujinti potvynių grėsmės žemėlapius (techninė užduotis, 1 priedas).

Šioje ataskaitoje aprašyti vertinime naudoti duomenys bei metodika; pateikti ledo dangos ir jos įtakos potvyniams Lietuvos upėse analizės rezultatai pagal Lietuvos upių vandens matavimo stočių duomenis; pateikta oro temperatūros (T , °C) ir kritulių kiekio (K , mm) istorinių stebėjimų (1995–2014 m.) Lietuvos meteorologijos stotyse bei bendro nuotėkio (BN , mm) pagal ERA5-Land reanalizę duomenų analizė bei šių rodiklių pokyčių projekcijos artimoje (2031–2050 m.) ir tolimoje (2081–2100 m.) perspektyvoje, naudojant 10 globalaus klimato modelių (GKM) išvesties duomenis, pagal optimistinį (SSP2-4.5) bei pesimistinį (SSP5-8.5) klimato scenarijus. Taikant sukurtus hidrologinius modelius bei ankščiau minėtus klimato modelių duomenis atliktas Minijos (įskaitant Salantą, Veiviržą ir Tenenį), Strėvos ir Smeltalės upių nuotėkio modeliavimas artimoje ir tolimoje perspektyvoje. Potvynių grėsmės vertinimas atliktas visai Lietuvos teritorijai, išskyrus Vilniaus apskritį (kadangi projektas finansuoja tyrimus, atliekamus tik vidurio ir vakarų Lietuvoje).

Sekančiame etape taikant kuriamus hidrodinامينius modelius bei upių nuotėkio projekcijas bus sudaryti potvynių grėsmės žemėlapiai Minijos (įskaitant Salantą, Veiviržą ir Tenenį), Strėvos ir Smeltalės upių ruožams – viso 238,4 km. Šie ruožai apima teritorijas, kurios gali būti užtvindytos remiantis specialiuųjų žemės naudojimo sąlygų įstatyme (2 straipsnio 4, 16 ir 53 punktuose) pateiktais apibrėžimais: (1) mažos tikimybės potvynis: 0,1 % tikimybės potvynis, kai remiantis hidrologiniais skaičiavimais tokių pačių charakteristikų potvyniai gali pasikartoti vieną kartą per tūkstantį metų; (2) vidutinės tikimybės potvynis: 1 % tikimybės potvynis, kai remiantis hidrologiniais skaičiavimais tokių pačių charakteristikų potvyniai gali pasikartoti vieną kartą per šimtą metų; (3) didelės tikimybės potvynis: 10 % tikimybės potvynis, kai remiantis hidrologiniais skaičiavimais tokių pačių charakteristikų potvyniai gali pasikartoti vieną kartą per dešimt metų.

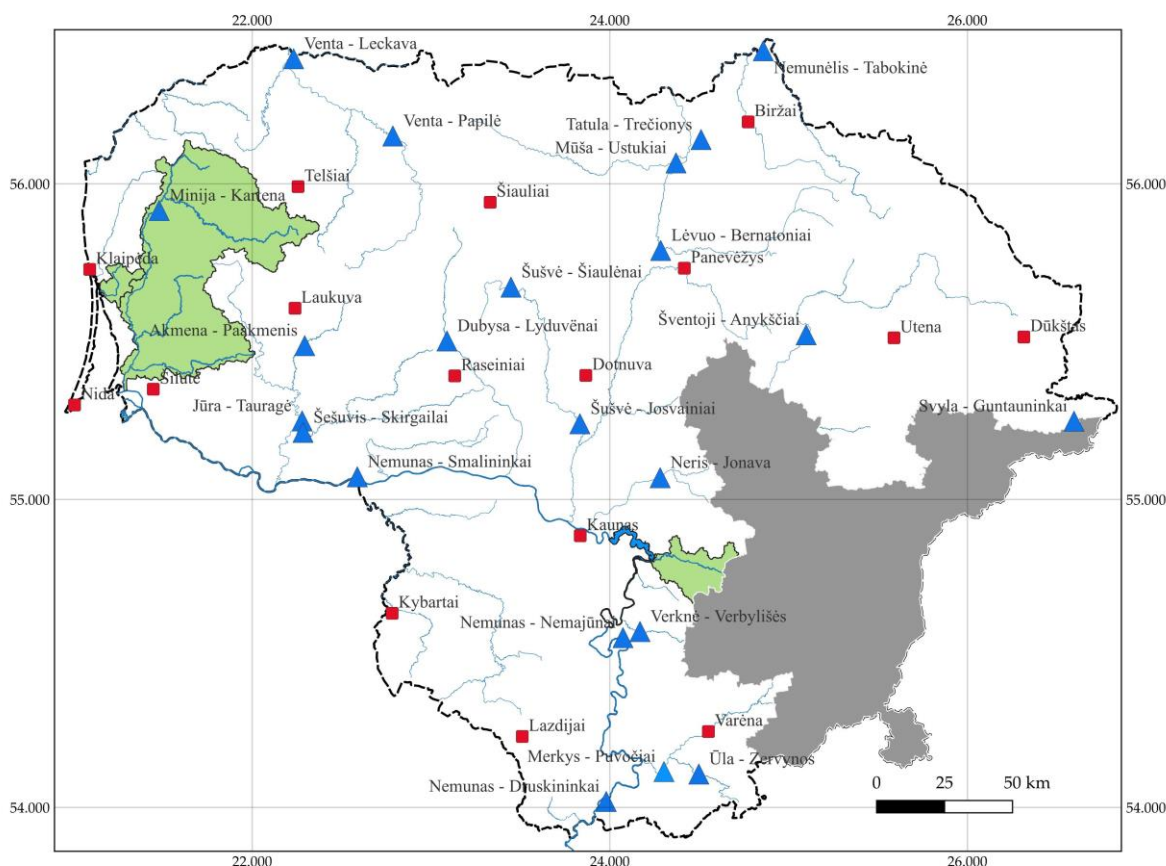
Šioje ataskaitoje pateikiami daliniai tarpiniai rezultatai, kurie gali būti patikslinti ruošiant galutinę ataskaitą.

1. NAUDOTI DUOMENYS

Šiame tyrime nagrinėjama visa Lietuvos teritorija išskyrus Vilniaus apskritį, kadangi pagal projekto finansavimo aprašą gali būti finansuoti tik tie tyrimai, kurie yra iš vidurio ir vakarų Lietuvos.

1.1. Duomenys ledo dangos analizei

Šiame tyrime nagrinėta pastovios ledo dangos bei ledo sangrūdų dinamika 19 Lietuvos upių, pagal 23 vandens matavimo stoties (VMS) duomenis, 1960–2024 m. laikotarpiu (1.1.1 pav., 1.1.1 lentelė). Atliekant ledo dangos įtakos potvyniams analizę buvo pasirinktos tik tos upės, kuriose ledo reiškiniai stebėti be pertraukų visu tiriamu laikotarpiu (1960–2024 m.), nes šių stebėjimų duomenų eilutės negali būti pratęstos. Visą informaciją apie ledo dangą (pastovios ledo dangos susidarymo ir išnykimo datas bei ledo sangrūdų susidarymo ir išnykimo datas) buvo paimta iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos (LHMT) hidrologinių metraščių. Ledo reiškiniai sutartiniais ženklais yra pažymėti metraščiuose šalia paros vandens lygio reikšmių.



1.1.1 pav. Vandens matavimo (VMS) bei meteorologijos (MS) stočių išsidėstymas tiriamoje teritorijoje

1.1.1 lentelė. Hidrologiniai duomenys naudoti šiame tyrime

Upė-VMS	Hidrologiniai duomenys		
	Ledo reiškiniai	Vandens lygis, H	Debitas, Q
Nemunas–Druskininkai	X	X	X
Nemunas–Nemajūnai	X	X	X
Nemunas–Smalininkai	X	X	X

Merkys–Puvočiai	x	x	x
Ūla–Zervynos	x	x	x
Verknė–Verbyliškės	x	x	x
Strėva–Bublių HE*	—	—	x
Neris–Jonava	x	x	x
Šventoji–Anykščiai	x	x	x
Šušvė–Šiaulėnai	x	x	x
Šušvė–Josvainiai	x	x	x
Dubysa–Lyduvėnai	x	x	x
Šešupė–K. Naumiestis*	—	—	x
Jūra–Tauragė	x	x	x
Akmena–Paakmenis	x	x	x
Šešuvis–Skirgailai	x	x	x
Minija–Kartena	x	x	x
Minija–Lankupiai*	—	—	x
Veiviržas–Mikužiai*	—	—	x
Tenenys–Miestaliai *	—	—	x
Svyła–Guntauninkai	x	x	x
Mūša–Ustukiai	x	x	x
Lėvuo–Bernatoniai	x	x	x
Tatula–Trečionys	x	x	x
Nemunėlis–Tabokinė	x	x	x
Venta–Papilė	x	x	x
Venta–Leckava	x	x	x
Bartuva–Skuodas	x	x	x
Atmata–Uostadvaris	—	x	—

* – šios stotys veikė su pertraukomis, todėl debito duomenų eilutės buvo pratęstos.

1.2. Duomenys klimato modelių duomenų adaptavimui Lietuvos sąlygomis

Klimato modelių duomenys (oro temperatūra (T), krituliai (K) ir bendras nuotėkis (BN)) buvo parsigauti iš Aplinkos duomenų analizės centro (angl. The Centre for Environmental Data Analysis, CEDA) duomenų bazės (<https://data.ceda.ac.uk>). Iš viso buvo panaudota 10 globalaus klimato modelių: ACCESS-CM2, ACCESS-ESM1-5, CanESM5, CMCC-CM2-SR5, CMCC-ESM2, EC-Earth3, IITM-ESM, INM-CM4-8, MPI-ESM1-2-HR ir NorESM2-LM. Minėtų rodiklių duomenų rinkmenos paros žingsniu apėmė netolimą praeitį (1995–2014 m.) bei dvi artimos (2031–2050 m.) ir tolimos (2081–2100 m.) ateities perspektyvas (laikotarpius) pagal optimistinį (SSP2-4.5) ir pesimistinį (SSP5-8.5) scenarijus. Šį 1995–2014 m. laikotarpį AR6 (Calvin ir kt., 2023.) ataskaitos rengėjai rekomenduoja naudoti kaip bazinį, su kuriuo lyginami gauti rezultatai ir jis gali būti naudojamas detalesniems klimato pokyčiams ir rizikoms vertinti. Atliekant klimato modelių oro temperatūros (T, °C) bei kritulių (K, mm) duomenų adaptavimą Lietuvos sąlygomis buvo panaudoti 1995–2014 m. antžeminių matavimų (T ir K) duomenys iš 16 MS (Biržai, Dotnuva, Dūkštas, Kaunas, Kybartai, Klaipėda, Laukuva, Lazdijai, Panevėžys, Nida, Raseiniai, Šiauliai, Šilutė, Telšiai, Utena ir Varėna). Tuo tarpu atliekant bendro nuotėkio adaptavimą buvo panaudoti erdviniai ERA5-

Land reanalizės duomenys ($0,1^\circ \times 0,1^\circ$ gardele) 1995–2014 m. laikotarpiu. Šie duomenys buvo parsiųsti iš Copernicus Klimato duomenų saugyklos (angl. *Climate Data Store*) duomenų bazės (<https://cds.climate.copernicus.eu/>).

1.3. Duomenys hidrologinių modelių kūrimui

Kuriant Minijos, Salanto, Tenenio, Veiviržo bei Strėvos upių hidrologinius modelius buvo reikalinga ši geografinė informacija: modeliuojamos upės baseino plotas (Gailiūšis ir kt., 2001), žemėnaudos duomenys (miškų, žemės ūkio paskirties žemės bei vandens telkinių plotas) (CORINE Land Cover, 2018). Hidrologinio modelio sukūrimui panaudoti meteorologiniai stebėjimų duomenys iš Telšių, Šilutės, Kauno bei Varėnos meteorologinių stočių (1.3.1 lentelė): krituliai (K, mm) ir temperatūra (T, °C) (LHMT, 1995–2014). Modeliavimo procese taip pat buvo panaudoti hidrologiniai vandens matavimo stočių duomenys (Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos metraščiai, 1960–2024), arba tuo atveju, kai stebėjimai vykdyti su pertraukomis – pratęstos debitų duomenų eilutės. Kiekvienai iš meteorologijos (MS) bei vandens matavimo stočių (VMS) buvo nustatomas reprezentuojamas baseino plotas, naudojant *Thiessen* poligonų metodą.

1.3.1 lentelė. Duomenys naudoti hidrologinių modelių kūrimui.

Upė	Baseino plotas* ties debito matavimo vieta, km ²	Debito modeliavimo vieta	Meteorologijos stotys	Plotas, %		
				Miškai	Žemės ūkio pask. žemė	Vandens telkiniai
Strėva	758,9	Žiotys	Kaunas, Varėna	35,2	58,3	6,5
Minija	2599,8	Lankupiai	Telšiai, Šilutė	32,1	66,5	1,4
Salantas	268,5	Žiotys	Telšiai	21,9	75,2	2,9
Veiviržas	336,2	Mikužiai	Šilutė	44,1	53,6	2,4
Tenenys	190,3	Miestaliai	Šilutė	38,7	57,5	3,9

*– pagal Gailiūšis ir kt., 2001 m.

1.4. Duomenys potvynių retų tikimybių debitų nustatymui

Pavasario potvynių retų tikimybių (0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 %) debitų nustatymui buvo panaudoti maksimalūs metiniai debitai iš 28 VMS, esančių ant 23 tiriamų upių (1.1.1 pav., 1.1.1 lentelė). Tais atvejais, kai tiriamose stotyse matavimai buvo vykdyti su pertraukomis – naudotos pratęstos maksimalių debitų eilutės.

1.5. Duomenys hidrodinaminiam modeliavimui

Hidrologinių skaičiavimų turinį nusako statomo objekto paskirtis. Vienokie skaičiavimai reikalingi projektuojant tiltus, kitokie – laivybos šliuzus, dar kitokie – prieplaukai ar uostui. Šiuo atveju hidrologiniai skaičiavimai skirti potvynių grėsmės žemėlapių sudarymui. Pagal techninės užduoties 2.2.6 punktą, žemėlapiai turi būti sudaryti remiantis vandens matavimo stotyse (toliau VMS) apskaičiuotais pagal tų VMS duomenų sekas nuo 1960 iki 2023 metų 0,1, 1 ir 10 procentų tikimybės debitaais ir juos atitinkančiais vandens lygiais sukuriant 1D arba 2D (pagal poreikį) hidrodinamikos modelius.

Skaičiavimų (o vėliau ir potvynių grėsmės žemėlapių) tikslumas priklauso nuo upės baseino hidrologinio ištirtumo. Minijos upės baseine įvairiais laiko tarpais iš viso egzistavo septynios VMS – Minijos ties Vainaičiais, Minijos ties Kartena, Minijos ties Priekule, Minijos ties Lankupiais, Veiviržo ties Mikužiais, Upitos ties Eidukais ir Tenenio ties Miestaliais. Dar viena VMS, kuri yra už Minijos baseino ribų, bet labai svarbi potvynių modeliavimui tai netoli Minijos žiočių esanti Atmatos ties Uostadvariu VMS (1.5.1 pav., 1.5.1 lentelė).



1.5.1 pav. Minijos baseino upynas su vandens matavimo stočių tinklu

Vertinant VMS skaičių, atrodytų, kad jis pakankamas, tačiau problema tame, kad matavimai be pertraukos nuo 1960 m. iki šių dienų vykdomi tik Kartenos ir Mikužių VMS.

Kitos stotys arba uždarytos, arba veikė su trūkiais, arba įkurtos neseniai. Dviejose iš jų Lankupių ir Uostadvario, matuojami tik vandens lygiai.

1.5.1 lentelė. Vandens matavimo stočių sąrašo ištrauka¹

VMS Nr.	Upė, kanalas	VMS	Atstumas nuo žiočių, km	Baseino plotas, km ²	VMS nulinio altitudo, m LAS07	VMS įsteigta	Pavaldumas
35	Nemuno atšaka Atmata	Uostadvaris	2,8	-	-4,89	2020-07-23 Veikia iki šiol	LHMT
76	Minija	Kartena	91,1	1220	18,01	1924-11-01 Veikia iki šiol	LHMT
77	Minija	Priekulė	29,7	1910	-0,90	2008-09-01 Veikia iki šiol	LHMT
78	Minija	Lankupiai	18,2	2600	-4,85	1905-02-13 (1979-12-25)	LHMT
79	Veiviržas	Mikužiai	27,0	336	10,71	1944-11-20 Veikia iki šiol	LHMT
80	Upita	Eidukai	1,3	57	27,30	1980 07 01 Veikia iki šiol	LHMT
82	Tenenys	Miestaliai	13,8	194	4,54	2011-11-23 Veikia iki šiol	LHMT

Batimetrinius matavimus Minijos (įskaitant Salantą, Veiviržą bei Tenenį), Smeltalės ir Strėvos upėse 2025 m. atliko MB „Povandeniai“. Šie duomenys buvo panaudoti kuriant minimų upių hidrodinaminius modelius.

Be hidrologinių duomenų, hidrodinamikos modelių kūrimui dar naudojami duomenys apie žemės dangą, kuria remiantis parenkami tiek upės vagos, tiek ir užliejamos salpos Maningo šiurkštumo koeficientai n . Šiame projekte naudojome Georeferencinio pagrindo kadastro erdvinių duomenų rinkinio GRPK GIS sluoksnį „PLOTAI“, kuriame pateikiami duomenys apie žemės dangą, o dangos tipą nurodant kodu. Pagal pridėtą specifikaciją, nustatoma, kokia žemės danga vyrauja, o pagal tai parenkama Maningo šiurkštumo koeficiento n reikšmė. Naudota 2026 m. duomenų rinkinio versija.

Upės vagos šiurkštumui vertinti papildomai naudoti batimetrinių darbų metu vykdytos fotofiksacijos ir vandens lygių bei debitų matavimų duomenys, o detalesniam kalibravimui naudoti ekspedicijų metu surinkti tiksliniai duomenys potvynio metu, kurių nei LHMT, nei kitos organizacijos negali pateikti. Todėl vienu metu atlikti vandens lygių ir debitų matavimai numatyti vietose.

¹ Šaltinis: Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie aplinkos ministerijos. HIDROLOGIJOS METRAŠTIS 2020.

2. METODIKA

2.1. Ledo dangos įtakos potvyniams nustatymas

Tiriant ledo dangos pokyčius, buvo analizuota pastovios ledo dangos trukmė, atskirai vertinant jos susidarymo bei suirimo (nuledėjimo) datas. Ledo sangrūdų upėse buvo tirtos, vertinant ne tik jų kaitą per daugiametį laikotarpį, bet ir jų (ledo sangrūdų) įtaką potvyniams. Visas tiriamas periodas apima du pilnus klimato normos laikotarpius (KNL) (1961–1990 m. ir 1991–2020 m.). Hidrologijoje šių normų palyginimas yra pripažintas metodas, leidžiantis tiksliai įvertinti klimato kaitos poveikį, eliminuojant trumpalaikes anomalijas. Be to, 30 metų trukmės periodai užtikrina statistinį patikimumą ir galimybę lyginti rezultatus su kitais tarptautiniais upių hidrologinio režimo tyrimais. Todėl analizuojant rezultatus buvo tikslinga palyginti ne tik kaip keitėsi tiriami rodikliai atskirais metais ir dešimtmečiais, bet ir šiais dviem KNL. Duomenys buvo išrinkti hidrologiniams metams, nuo praėjusių metų rudens (lapkričio 1 d. iki einamųjų metų pavasario (balandžio 30 d.). Ištisinės ledo dangos ir sangrūdų susidarymo bei suirimo data buvo išreikšta dienų skaičiumi nuo lapkričio 1 d. (paprastai upės užšąla lapkritį). Jei ledo danga buvo nestabili, t. y. šaltuoju metų laiku kelis kartus užšaldavo ir ištirpdavo, bendra ledo dangos trukmė buvo apskaičiuota sumuojant visų laikotarpių dienas su ledo danga. Ta pati metodika taikyta ir ledo sangrūdų nustatymui.

Vertinant ledo dangos įtaką potvynių formavimuisi didžiausias dėmesys buvo skiriamas ledo sangrūdomis. Ledo sangrūdų poveikis potvyniams analizuotas taikant šią metodiką: (1) naudojant LHMT metraščius, išrinkti laikotarpiai su ledo sangrūdomis tiriamose upėse; (2) toliau, remiantis hidrologiniais stebėjimais, vertinta ar esant ledo sangrūdai vandens lygis stotyje pakilo aukščiau kritinio (esant kritiniam vandens lygiui vanduo išsilieja iš upės vagos į salpą; šie lygiai paimti iš 2023 m. LHMT hidrologinio metraščio). Nustačius kritinio vandens lygio viršijimą, laikyta, kad šio potvynio susidarymui įtakos turėjo ledo sangrūdos. Tai yra vienas iš svarbiausių aspektų, kadangi šioje studijoje vertinama potvynių rizika, todėl svarbu detaliau paanalizuoti atvejus, kai vanduo išsilieja iš upės vagos, nes toks potvynis gali būti potencialiai pavojingas, t. y. kelti grėsmę žmonių sveikatai, gyvybei ir turtui. Ši metodika buvo sukurta ir sėkmingai pritaikyta ICEREG projekto metu, kuriame buvo vertinama ledo reiškinių įtaka potvyniams Lėvens ir Mūšos upėse (<https://latlit.eu/theprojects/icereg/>).

2.2. Klimato modelių duomenų adaptavimas Lietuvos sąlygomis

Šioje studijoje nagrinėti trys globalaus klimato modelių išvesties rodikliai: oro temperatūra (T, °C), krituliai (K, mm) ir bendras nuotėkis (BN, mm). Oro temperatūros ir kritulių adaptavimui Lietuvos sąlygomis naudojome 16 meteorologijos stočių (MS) 1995–2014 metų stebėjimo duomenis (plačiau 1.2 skyrius). Šis laikotarpis pasirinktas baziniu pagal prognozęms naudotą globalaus klimato modelių (GKM) reikalavimus. Prognozės atliktos naudojant 10 GKM ansamblio duomenis. Šių dešimties GCM oro temperatūros (T, °C) ir kritulių (K, mm) duomenys Lietuvos sąlygomis buvo adaptuoti pritaikius **Detrended Quantile Mapping (DQM)** metodiką.

DQM yra skirtas klimato modelių duomenų adaptavimui vietinėms klimatinėms sąlygoms, išlaikant prognozuojamas klimato kaitos tendencijas, tačiau priderinant jas prie stebėtų duomenų. Šio metodo esmė yra ta, kad **pirmame žingsnyje** DQM pirmiausia pašalina iš modelio duomenų ilgalaikę tendenciją (trendą), kad liktų tik pasiskirstymo forma. **Antrame žingsnyje** DQM šią formą priderina pagal stebėtus duomenis, taip ištaisant pasiskirstymo nuokrypį. Paskutiniame **trečiame**

žingsnyje grąžinama modelio tendencija (trendas) į adaptuotą duomenų eilutę, kad duomenų pasiskirstymas atspindėtų stebėjimus. Korekcijos atliekamos tokia tvarka (Cannon ir kt., 2015):

Trendo pašalinimas:

$$X_{sim,p}^{*DT}(i) = X_{sim,p}(i) - \mu_m(X_{sim,p}(i)), \quad (1)$$

čia: $X_{sim,p}(i)$ – modeliuota mėnesio reikšmė prognozuojamame laikotarpyje nurodytu laiko žingsniu i , $\mu_m(X_{sim,p}(i))$ – ilgalaikis mėnesio vidurkis prognozuojamame laikotarpyje tam tikru mėnesiu (t.y. visų prognozuojamų reikšmių tame mėnesyje vidurkis).

Kvantilių atstatymas:

$$X_{sim,p}^{*DQM}(i) = F_{obs,h}^{-1}\{F_{sim,h}[X_{sim,p}^{*DT}(i)]\}, \quad (2)$$

čia: $F_{sim,h}$ – kumuliatyvinė pasiskirstymo funkcija modeliuojamų duomenų kontroliniame laikotarpyje, $F_{obs,h}$ – kumuliatyvinė pasiskirstymo funkcija stebimų duomenų kontroliniame laikotarpyje, $F_{obs,h}^{-1}$ – atvirkštinė funkcija (kiekis, kuris atitinka duotą tikimybę).

Trendo sugrąžinimas:

Oro temperatūrai:

$$X_{final}^{*DQM}(i) = X_{sim,p}^{*DQM}(i) + \mu_m(X_{sim,p}(i)). \quad (3)$$

Krituliams:

$$X_{final}^{*DQM}(i) = F_{obs,h}^{-1}\left\{F_{sim,h}\left[\frac{\mu_m(X_{sim,h}(i)) \cdot X_{sim,p}(i)}{\mu_m(X_{sim,p}(i))}\right]\right\} \frac{\mu_m(X_{sim,p}(i))}{\mu_m(X_{sim,h}(i))}, \quad (4)$$

čia $\mu_m(X_{sim,h}(i))$ – ilgalaikis mėnesio vidurkis modeliuojamų duomenų kontroliniame laikotarpyje tame pačiame mėnesyje m .

Bendro nuotėkio (BN, mm) adaptavimui Lietuvos sąlygomis buvo pasitelkti erdviniai ($0,1^\circ \times 0,1^\circ$ skiriamosios gebos) ERA5-Land reanalizės duomenys 1995–2014 m. laikotarpiu. BN prognozės sudarytos remiantis 10 GKM ansamblio duomenimis, o prognozių adaptavimui pritaikyta **Change Factor of Mean (CFM)** metodika. CFM pagrindą sudaro pokyčio faktorius, nustatomas tarp GKM parametro prognozės ir GKM simuliacijos baziniu periodu. Nustatytasis pokyčio faktorius yra įvedamas į stebėjimais pagrįstą duomenų eilutę ir tokiu būdu yra išlaikomas absoliutinių reikšmių realistiškumas bei prognozių tendencijos (Sunyer ir kt., 2012):

$$X_{final}^{*CFM}(i) = X_{obs}(i) \frac{X_{sim, fut}(i)}{X_{sim, ref}(i)}, \quad (5)$$

čia: $X_{obs}(i)$ – istoriniu laikotarpiu stebėta parametro reikšmė nurodytu laiko žingsniu i ; $X_{sim, ref}(i)$ – GKM modeliuota reikšmė baziniu laikotarpiu, nurodytu laiko žingsniu i ; $X_{sim, fut}(i)$ – GKM prognozuota reikšmė ateities laikotarpyje, nurodytu laiko žingsniu i . CFM buvo pritaikytas absoliutinių reikšmių prognozių adaptavimui Lietuvos teritorijoje (be Vilniaus apskrities) ir tiksliniuose upių pabaseiniuose, siekiant nustatyti erdvinius ir sezoninius bendro nuotėkio skirtumus. Tarp tirtų pabaseinių buvo išskirti: Nemuno ir Neris mažųjų intakų pabaseiniai apjungti į vieną, Merkio, Žeimenos, Šventosios, Nevėžio, Dubysos, Jūros, Šešupės (kartu su Priegliaus baseino dalimi), Minijos, Dauguvos, Mūšos, Nemunėlio, Lielupės mažųjų intakų, Ventos, Bartuvos ir Lietuvos pajūrio upių (apjungtas kartu su Šventąja).

2.3. Duomenų, skirtų hidrologiniam modeliavimui paruošimas ir hidrologinių modelių sukūrimas (kalibravimas ir validavimas)

2.3.1. Hidrologinių duomenų paruošimas

Minijos, Salanto, Veiviržo, Tenenio bei Strėvos upių hidrologinių modelių sukūrimui reikalingos pilnos paros vandens debitų duomenų eilutės, apimančios 1995–2014 m. laikotarpį. Tačiau šiose upėse debitų matavimai vykdyti ne visu mus dominančiu laikotarpiu. Nutrūkusios duomenų eilutės yra dažna hidrologinių tyrimų problema, atsirandanti dėl prietaisų gedimo ar nepalankių aplinkos sąlygų (pvz., ledo sangrūdų). Duomenų eilučių pratęsimas yra būtinas norint užtikrinti hidrologinės analizės patikimumą. Upių vandens debito duomenų pratęsimui dažniausiai taikomi statistiniai metodai.

Pratęsiant nutrūkusias vandens debitų duomenų eilutes labiausiai paplitęs yra hidrologinės analogijos metodas (Macevičius, 1969). Šis metodas pagrįstas nuostata, kad panašios geografinės sąlygos formuoja panašų upių hidrologinį režimą, todėl upės baseino, turinčio ilgalaikius nuotėkio stebėjimo duomenis, hidrologines charakteristikas galima perkelti neištirtoms upėms. Naudojant šį metodą tiriamai upei parenkama kita upė-analogas, kurioje yra panašios nuotėkio formavimosi sąlygos ir kurioje atliekami ilgalaikiai nuotėkio stebėjimai. Upė-analogą reikėtų rinktis toje pačioje geografinėje srityje. Panašūs turėtų būti ir baseinų fiziniai-geografiniai veiksniai, klimatinės sąlygos. Upės-analogo baseino plotas turėtų būti panašaus dydžio kaip skaičiuojamosios upės.

Šioje studijoje upių vandens debitų duomenų eilutės buvo pratęsiamos 2 būdais: perkeliant debitą iš vieno upės skerspjūvio į kitą, naudojant baseinų plotų santykį bei regresinę analizę.

Debitų perkėlimas proporcingai baseinų plotų santykiui naudojamas, kai upėje veikia ar anksčiau veikė dvi ar daugiau VMS. Perkeliant debitus šiuo metodu, abiejų VMS baseinų plotai turi skirtis ne daugiau 40 % (Macevičius, 1969) ir tarp VMS neturi iškėti dideli intakai. Debitai apskaičiuojami naudojant formulę (Gailiusis ir kt., 2001):

$$Q_1 = Q_2 \times (A_1 / A_2) \quad (6)$$

kur Q_1 – skaičiuojamosios VMS debitas, Q_2 – ištirtos VMS debitas, A_1 – skaičiuojamosios VMS baseino plotas, A_2 – ištirtos VMS baseino plotas (km²).

Duomenų eilučių pratęsimas naudojant regresinę analizę vykdomas tiriant dviejų kintamųjų y (Q_1) ir x (Q_2) regresinę priklausomybę pagal stebėjimų duomenis. Apskaičiuojamas koreliacijos koeficientas (R) ir regresijos lygtis. Jei koreliacijos koeficientas rodo stiprų ryšį ($R > 0,70$), gauta regresijos lygtis gali būti panaudojama duomenų eilutės pratęsimui.

2.3.2. Hidrologinių modelių sukūrimas

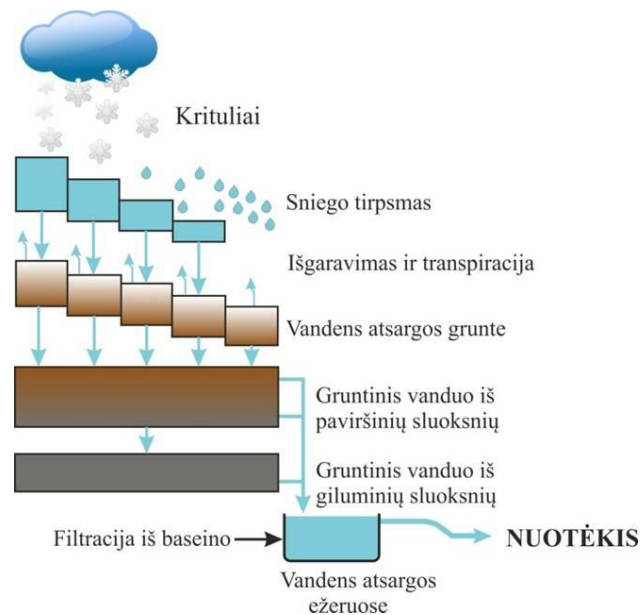
Igyvendinant šią studiją, siekiama sukurti praeities hidrometeorologiniais duomenimis paremtus Minijos, Strėvos, Salanto, Veiviržo bei Tenenio upių hidrologinius modelius. Šie modeliai suteikia galimybę modeliuoti upių nuotėkį esant skirtingoms meteorologinėms sąlygoms. Atliekant modeliavimą, siekiama atkurti kuo tikslesnius potvynių debitus, kad būtų galima kuo tiksliau įvertinti potvynių grėsmes tiriamose teritorijose. *Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning* (toliau – HBV) hidrologinio modeliavimo programa yra Švedijos meteorologijos ir hidrologijos instituto (šved. *Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut*, trumpiau – SMHI) sukurtas įrankis, skirtas upių nuotėkio modeliavimui. Šis įrankis yra taikytas moksliniuose tyrimuose Lietuvoje, modeliuojant ir prognozuojant upių nuotėkį praeityje ir ateityje, klimato kaitos kontekste (pvz., Akstinas et. al., 2018; Šarauskienė et al., 2018). HBV modelis yra plačiai naudotojamas

potvynių modeliavimui ir prognozavimui (pvz., Kobold ir Brilly, 2006; Jia ir Sun, 2012). HBV modelis yra aprašomas lygtimi, kuria įvertinamas vandens balansas upės baseine (SMHI, 2005):

$$P - E - Q = \frac{d}{dt} [SP + SM + UZ + LZ + V] \quad (7);$$

čia: P – krituliai, E – evapotranspiracija, Q – nuotėkis, SP – vandens atsargos sniege, SM – dirvos drėgmė, UZ – gruntinis vanduo, LZ – požeminis vanduo, V – vandens talpyklų tūris.

Šia lygtimi modeliavimo proceso metu nustatoma, kaip baseino plote iškritę krituliai, veikiami įvairių gamtinių veiksnių ir procesų (pvz., temperatūros, dirvožemio savybių) virsta upių nuotėkiu (2.3.2.1 pav.).



2.3.2.1 pav. HBV principinė schema.

HBV programine įranga paremtų hidrologinių modelių kalibravimas ir validavimas yra atliekamas remiantis IPCC AR6 ataskaitoje nustatytu klimato normos laikotarpiu (IPCC, 2023), t.y. modelio kalibravimas atliekamas 1995–2004 m. laikotarpiui imtinai, o validavimas – 2005–2014 m. laikotarpiui imtinai. Kuriamų modelių kalibravimas vyksta penkiais etapais, kurių metu yra keičiami hidrologinio modelio parametrai (2.3.2.1 lentelė):

1) Parenkami nuotėkio tūrio parametrai: tai $pcorr$, $sfcf$ ir $rfcf$ parametrai. $Pcorr$ – kritulių laiko eilučių homogeniškumo pataisa. Kalibravimo pradžioje šis parametras turi būti lygus 1,0, daugiau dėmesio skiriant kitiems kalibravimo parametrams. $Sfcf$ parametro reikšmės koreguoja pavasario potvynio tūrį. Kai sumodeliuotas pavasario potvynio hidrografas būna artimas realiam, kalibruojama keičiant $rfcf$ parametro reikšmes.

2) Parenkami sniego ir sniego tirpsmo parametrai: tai tt , dtm , tti ir $cfmax$. Tt ir dtm apsprendžia, ar iškritę krituliai yra sniegas ar lietus ir nurodo nuo kada prasideda sniego tirpsmas. $Cfmax$ yra parametras, nurodantis sniego tirpsmo greitį.

3) Parenkami dirvožemio parametrai: kalibruojami fc , lp , $beta$ ir $athorn$ parametrai. Fc parametras apibūdina maksimalias drėgmės atsargas dirvožemyje. Lp apibūdina potencinio drėgmės išgaravimo iš dirvožemio ribą ir kalibruojant neturėtų viršyti 1,0. $Beta$ – nuotėkio, susiformuojančio iš gruntinio vandens, eksponentės rodiklis. Fc , lp ir $beta$ daugiausiai skirti vasaros ir rudens

laikotarpių debitui kalibruoti. *Athorn* yra išgaravimo koeficientas, skaičiuojamas pagal Thornthwaito lygtį. *Cflux* parametras apibūdina drėgmės judėjimą dirvos kapiliarais.

4) Parenkami reakcijos (*Response*) parametrai: tai *k4*, *perc*, *khq*, *hq* ir *alfa* parametrai. Šie parametrai paskirsto apskaičiuotą debitą laike; jie keičia hidrografo formą, bet nekeičia bendro nuotėkio tūrio. Pagrindinis nuotėkio srautas reguliuojamas kalibruojant recesijos koeficientus: *k4*, *perc* ir *khq*. *Hq* parametras nėra kalibruojamas, o modeliavimo pradžioje apskaičiuojamas pagal formulę:

$$(MQ \cdot MHQ)^{1/2} \cdot 86.4 / (\text{ploto km}^2) \quad (8)$$

arba

$$MHQ/2 \cdot 86.4 / (\text{ploto km}^2) \quad (9)$$

Čia: MQ – vidutinis nuotėkis, o MHQ – vidutinis didžiausias nuotėkis.

5) Parenkami prislopinimo (*Damping*) parametrai: svarbiausias yra *maxbaz* parametras.

2.3.2.1 lentelė. HBV modelio kalibravimo parametrai

Kalibravimo parametrai		Rekomenduojamos reikšmės
Nuotėkio tūrio		
Kritulių laiko eilučių homogeniškumo pataisa	pcorr	0,8–1,2
Sniego pataisa	sfcf	0,8–1,4
Kritulių pataisa	rfcf	0,9–1,3
Didžiausios dirvožemio drėgmės atsargos (mm)	FC	100–1500
Sniego tirpsmo		
Temperatūra, kurioje krituliai apibūdinami kaip sniegas (°C)	tt	-2–+2
Temperatūra, kurioje prasideda sniego tirpsmas (°C)	dtm	-2–+2
Temperatūra, kurioje krituliai apibūdinami kaip šlapdriba (°C)	tti	0–+2,5
Sniego tirpsmo greitis (mm/°C per dieną)	cfmax	2–4,5
Dirvožemio drėgmės		
Potencialaus išgaravimo riba (mm)	LP	<=1
Koeficientas, apibūdinantis nuotėkio susidarymą iš dirvožemio drėgmės	beta	1–4
Koeficientas Thornthwaito lygtyje	athorn	0,2–0,3
Didžiausias drėgmės judėjimo dirvožemio kapiliaruose greitis (mm/parą)	cflux	0–2
Ekstremalių upės debitų		
Požeminio baseino recesijos koeficientas	k4	0,001–0,1
Filtravimasis iš aukštutinio baseino į žemutinį greitis (mm/para)	PERC	0,01–6
Aukštutinio baseino recesijos koeficientas, kai debitas yra maksimalus	khq	0,005–0,2
Netiesiškumo koeficientas	ALFA	0,5–1,1

2.4. Vidurio bei vakarų Lietuvos upių retų tikimybių (0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 %) pavasario potvynių debitai nustatymas

2.4.1. Hidrologinių duomenų paruošimas

Retų tikimybių pavasario potvynių debitų apskaičiavimui buvo panaudotos 24 VMS paros debitų duomenų eilutės nuo 1960 iki 2024 m. (1.1.1. lentelė). Kiekvienai VMS buvo išrinktas metų maksimalus debitas. Kai kuriose VMS (Nevėžis–Babtai, Lėvuo–Bernatoniai ir Šešupė–Kudirkos Naumiestis) matavimai buvo vykdomi su pertraukomis, todėl maksimalių debitų duomenų eilutės buvo pratęstos naudojant tuos pačius metodus, kaip ir paros debitų pratęsimui, t. y. perkeliant metų maksimalų debitą iš vieno upės skerspjūvio į kitą naudojant baseinų plotų santykį ir nustatant ryšį su upe-analogu.

Perkelti maksimalius debitus proporcingai baseino plotams negalima, nes maksimalaus debito modulis mažėja didėjant baseino plotui. Maksimalius debitus toje pačioje upėje galima perkelti pagal baseinų plotų santykį, pakeltą tam tikru laipsnio rodikliu (Macevičius, 1959):

$$Q_1 = Q_2 \times (A_1 / A_2)^m \quad (10)$$

Laipsnio rodiklis perkeliant pavasario potvynio maksimalius debitus rekomenduojamas $m=0,80$, vasaros poplūdžių maksimalius debitus – $m=0,70$. VMS baseinų plotai neturi skirtis daugiau kaip 20 % (Macevičius, 1969).

2.4.2. Skirstinių, skirtų retų tikimybių (0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 %) potvynių debitų nustatymui, parinkimas

Naudojant duomenų eilutes, kurios apima laikotarpį tarp 1960–2024 m., mes galime tiksliai suskaičiuoti tik 10 % tikimybės maksimalų pavasario potvynio debitą, t. y. tokį debitą, kuris pasikartoja vieną kartą per dešimtmetį. Likusių tikimybių debitus mes galime apskaičiuoti tik taikant skirstinius. STR 2.05.19:2005 „INŽINERINĖ HIDROLOGIJA. PAGRINDINIAI SKAIČIAVIMŲ REIKALAVIMAI“ yra nurodoma, kad tokiems skaičiavimams gali būti taikomas Gamma 3P skirstinys. Tačiau to paties dokumento 27 punkte rašoma, kad tinkamai pagrindus galima naudoti ir kitus skirstinius. Atsižvelgiant į tai, kad Lietuvoje yra išskiriami trys hidrologiniai rajonai (vakarų, vidurio ir pietryčių Lietuvos) su jiems būdingomis nuotėkio formavimosi sąlygomis, taikyti vieną skirstinį visų tiriamų upių retų tikimybių pavasario potvynio debito nustatymui būtų metodiškai neteisinga. Tam tikslui buvo pasirinkta geriausio skirstinio nustatymo metodika (sėkmingai taikyta ICEREG projekto metu), pagal kurią, atsižvelgus į Anderseno–Darlingo testą, iš kelių skirstinių parenkamas tas, kuris geriausiai apibūdina retų tikimybių atvejus. Anderson–Darling testas geriau tinka retų tikimybių (ekstremalių reikšmių) skaičiavimui, nes suteikia didesnę svorį pasiskirstymo „uodegoms“, o tai leidžia tiksliau įvertinti, ar teorinė skirstinio forma tinkamai atkartoja stebėtus ekstremumus. Tuo tarpu Kolmogorov–Smirnov testas pagrįstas maksimaliu skirtumu tarp empirinės ir teorinės pasiskirstymo funkcijos, todėl yra mažiau jautrus skirstinio „uodegų“ elgesiui ir todėl dažnai neįvertina nukrypimus, kurie ypač svarbūs potvynių analizėje. Anderson–Darling testo statistika (atitikimas skirstiniui) yra apskaičiuojama pagal formulę (Anderson ir Darling, 1954):

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i - 1) [\ln F(y_i) + \ln(1 - F(y_{n+1-i}))]$$

Čia: A^2 – Anderson-Darling testo statistika (duomenų atitiktis skirstiniui), n – imties dydis, i – eilės numeris surikiuotų duomenų (nuo 1 iki n), y_i – i -tas duomenų taškas, surikiuotas didėjimo tvarka, $\ln$ – natūrinis logaritmas, F – nurodyto skirstinio kaupiamoji tikimybės funkcija.

Anderson-Darling testas įvertina, kaip tiksliai tam tikras skirstinys atkartoja duomenų eilutę, todėl kuo testo skirtumas mažesnis, tuo atitiktis tikslesnė.

Atlikus literatūros analizę (Akstinas, 2019; Urniežiūtė, 2012; England ir kt., 2019; Singh ir kt., 2021; Over ir kt., 2015; Hosking ir Wallis, 1987) buvo nustatyta, kad potvynių debitų skaičiavimams dažnai yra taikomi šie skirstiniai: Gamma, Gamma 3P, Gen. Extreme Value, Gen. Gamma, Gen. Gamma 4P, Gumbel Max, Log-Pearson 3, Lognormal, Lognormal 3P, Pearson 5 3P, Wakeby, Weibull, Weibull 3P. Formulės, pagal kurias yra apskaičiuoti šie skirstiniai, yra pateiktos 2 priede.

2.4.3. Retų tikimybių (0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 %) potvynių debitų nustatymas taikant istorinių stebėjimų duomenis bei nuotėkio modeliavimo rezultatus

Retų tikimybių potvynių debitai istoriniam laikotarpiui bus apskaičiuoti pagal geriausio skirstinio parinkimo metodiką, aprašytą 2.4.2. skyriuje bei taikant 1960–2024 m. maksimalius metinius potvynių debitus. Tuo tarpu 0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 % tikimybių potvynių debitai ateityje bus įvertinti taikant nuotėkio modeliavimo rezultatus ir įvedant pataisas į retų tikimybių debitus apskaičiuotus pagal 1960–2024 m. duomenis. Šios pataisos bus nustatytos taikant sekančia metodiką. 1. Nustatoma koks buvo vidutinis maksimalus tiriamų upių potvynių debitas istoriniu 1995–2014 m. laikotarpiu (pagal GKM ansamblio duomenis). 2. Apskaičiuojama koks bus vidutinis maksimalus debitas artimoje (2031–2050 m.) ir tolimoje (2081–2100 m.) ateityje pagal optimistinį (SSP2-4.5) ir pesimistinį (SSP5-8.5) klimato scenarijus. 3. Apskaičiuojama kiek procentų pasikeis (padidės ar sumažės) maksimalus potvynių debitas ateityje lyginant su istoriniu laikotarpiu. 4. Šis pokytis (%) įvedamas į retų tikimybių debitus, apskaičiuotus pagal istorinių stebėjimų duomenis.

2.5. Hidrodinamikos modelių sukūrimas

2.5.1. Bendros žinios ir hidrodinaminio modelio parinkimas

Kadangi Lietuvos upių potvynių rizikos žemėlapiai pirmą kartą buvo sukurti 2014 metais, o dabar vykdomas tik jų papildymas ir patikslinimas, tai žemėlapių kūrimo metodika iš esmės nėra keičiama, nes kitaip būtų sudėtinga papildytas ir patikslintas žemėlapių dalis suderinti su esamais. Todėl 10 %, 1 % ir 0,1 % tikimybės potvynių modeliavimo scenarijai atsižvelgiant į Lietuvos teisinį reguliavimą, nustatytą Specialių žemės naudojimo sąlygų įstatyme ir jame išskirtus 3 didelės, vidutinės ir mažos potvynių tikimybės scenarijus, išlieka tie patys, keičiasi tik modelių kraštinės sąlygos naujai atlikus hidrologinius skaičiavimus.

Hidrologiniai skaičiavimai koreguojami tik remiantis ilgesnėmis duomenų sekomis. Minėtų tikimybių debitai jau buvo paskaičiuoti vykdant ankstesnį 2014 m. projektą. Tuomet naudotos duomenų sekos baigėsi 2010 metais imtinai. Dabar jos papildytos iki 2024 metų ir skaičiavimai patikslinti. Potvynių grėsmės žemėlapiams sudaryti pagal TU (1 priedas) numatyta naudoti 1D ir 2D hidrodinamikos (toliau bus naudojama santrumpa HD) modelius, atlikus tinkamas jų parametrų derinimo procedūras. Detaliau įvertinus situaciją ir suderinus su Aplinkos apsaugos agentūra, nuspręsta, kad bus naudojamas tik 2D hidrodinamikos modelis, kuris turi daug pranašumų lyginant

su 1D modeliu. Kaip kraštinės sąlygos modeliuose naudojami 10 %, 1 % ir 0,1 % tikimybių paskaičiuoti debitai, vandens lygiai ir vandens nuolydis.

Pirmajame potvynių rizikos vertinimo projekte (2011–2014 m.) hidrodinamikos modeliams kurti naudota gana brangi komercinio naudojimo Danijos hidraulikos instituto (DHI) sukurtos modelių šeimos MIKE potvyniams modeliuoti skirti 1D (MIKE 11) ir 2D (MIKE 21) paketai bei Latvijos universiteto sukurtas modelis „Swevolver“.

Nors MIKE grupės HD modeliai labai patikimi, tačiau juos tinkamai naudoti reikalingas ne vienų metų pasirengimas, be to, jų nuomos kaina gana didelė, tad ji iš esmės keistų projekto biudžetą. Europoje projektas „Copernicus“ dar nuo 2014 m. rekomenduoja atviro kodo nekomercinę modeliavimo sistemą Lisflood tačiau norint ja naudotis reikia ne tik hidraulikos, bet ir programavimo žinių. Ši sistema vis dar tobulinama ir testuojama.

Vykdam 2014 metų projektą jau egzistavo ir Jungtinių Amerikos Valstijų Armijos korpuso sukurta modeliavimo sistema HEC-RAS, tačiau ji dar nebuvo taip toli pažengusi, kaip šiandien. Menkai buvo išvystytas 2D modeliavimo paketas, taip pat duomenų rengimui ir rezultatų publikavimui buvo papildomai reikalinga ArcMap programinė įranga ir nepatogūs duomenų konvertavimo priedai. Šiandien ji nė kiek neatsilieka nuo komercinių produktų, turi puikiai išvystytas tris dalis:

- autonominę duomenų rengyklę RasMapper, kuri leidžia visus duomenis paruošti nenaudojant komercinių GIS produktų;
- 1D hidrodinamikos modelių kūrimo modulį;
- 2D hidrodinamikos modelių kūrimo modulį.

2.5.2. HEC-RAS programinė įranga ir jos taikymo sritys

Detali HEC-RAS programinės įrangos dokumentacija pateikta nurodytos programinės įrangos autorių interneto svetainėje laisvai prieinamoje literatūroje (HEC-RAS, 2026). Visas jos aprašas susideda net iš penkių knygų o suminė apimtis siekia kelis tūkstančius puslapių, tad čia pateikiame tik trumpą HEC-RAS 1D ir 2D programinių paketų teorinį pagrindimą ir kertinius aspektus.

Patikimai funkcionuojantys 1D ir 2D moduliai leidžia kurti pagrįstus tiek natūralių upių vagų, tiek ir reguliuotų upių ruožų hidrodinamikos modelius. Ypač svarbu tai, kad tiek 1D tiek 2D moduliai leidžia integruoti įvairius hidrotechninius statinius ir tiltus. Jie pritaikyti būtent užtvindomų teritorijų modeliavimui, pagal hidrodinamikos modelių rezultatus automatiškai generuoja potvynių grėsmės žemėlapius. Vienas iš didžiausių privalumų yra tai, kad šią modelių sistemą galima naudotis nemokamai. Taip pat yra galimybė naudoti abu modulius kartu, papildyti sistemą vandens kaupimo rezervuarais ir pan.

Kur ir kada naudoti 1D ar 2D modeliavimą, priklauso nuo siekiamų tikslų, galimų darbo sąnaudų ir projekto biudžeto, hidrodinamikos modelio rengimo ir upės vagos bei slėnio ypatybių. Abi sistemos matematiniu požiūriu pakankamai patikimos, ilgus metus tikrintos praktikoje ir labai išstobulintos. Tačiau kartais 1D modelio taikymas yra ribotas, ypač upių ruožuose kur vaga labai vingiuota su daug meandrų ar kilpų, vagos išsišakojimų ir salų. Tada, taikant 1D modelį, reikia kurti išsišakojančias ir vėl susijungiančias sistemas. Išsišakojimuose reikia papildomos pradinės sąlygų informacijos, skersiniai pjūviai negali tarpusavyje susikirsti ir turi būti statmeni upės tėkmei, tad tokiai upei kaip Minija, ypač jos aukštupyje, išpildyti šias sąlygas yra sudėtinga. Sudėtinga būtų su

1D modeliu išsiversti trečiame modelyje, nes naudojant 1D neįmanoma būtų tiksliai įtraukti polderių pylimų. Upės kilpų siauriausiose vietose, kai užtvindomas slėnis, gaunasi staigus vandens lygio šuolis, tad sugeneravus vandens lygių žemėlapius tenka daryti korekcijas, o tai yra papildomas darbas. Tokiu atveju 2D modelis daug parankesnis. Jis puikiai integruoja tiek vingiuotą upės vagą, tiek salas, o dar svarbiau – parengtas detalus skaičiavimo tinklas daug realistiškiau atspindi stačius šlaitus, kelių tinklą ir polderių sistemų bei kitos paskirties pylimus.

HEC-RAS – tai hidrodinamikos vienmačio ir dvimačio modeliavimo sistema (River Analysis System) sukurta JAV armijos korpuso Hidrologijos inžinerinio centro (2.5.2.1 pav.).



2.5.2.1 pav. HEC_RAS modeliavimo sistemos logotipas

Modeliavimo sistemą sudaro trys pagrindiniai paketai:

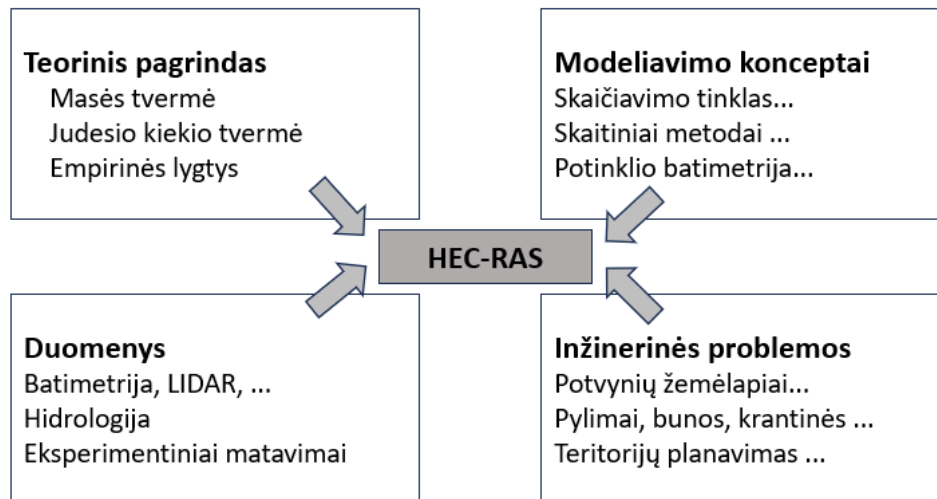
- RasMapper – atlieka GIS funkcijas rengiant pradinius geometrinius duomenis ir publikuojant gautus rezultatus žemėlapių pavidalu su galimybėmis eksportuoti GIS priimtinais formatais;
- HEC-RASS 1D – vienmačio modeliavimo sistema (modeliuoja nusistovėjusią ir nenusistovėjusią tėkmę);
- HEC-RAS 2D – dvimačio modeliavimo sistema (modeliuoja tik nenusistovėjusią tėkmę).

Dvimačio modeliavimo sistema paprastai naudojama tokiems nenusistovėjusio tekėjimo uždaviniais spręsti, kuriuose yra nagrinėjami tėkmės hidrauliniai parametrai visame modeliuojamos akvatorijos plote. Sistema leidžia tinkamai įvertinti tėkmės greičius, tėkmės kryptis, sūkurines zonas ir kt. Potvynių grėsmės žemėlapių kūrimui reikalingi detalūs vandens lygiai visame modeliuojamame plote. Detalus kitų tėkmės charakteristikų vertinimas leidžia gauti ir tikslesnius vandens lygius. Tokia modeliavimo sistema leidžia atlikti detalius ir tikslius hidrodinamikos tyrimus upių ruožuose, kuriuose sudėtinga slėnių konfigūracija dėl reljefo įvairovės ir upių vagos didelio vingiuotumo bei nepastovaus vagos pločio ir gylio.

Sprendžiant tuos pačius klausimus mažiau sudėtingose situacijose su paprastesnėmis vagų ir slėnių morfometrinėmis savybėmis bei sąlyginai tiesiuose ruožuose, paprasčiau naudoti vienmatį modeliavimą. Tokiais atvejais apskaičiuotų vandens lygių ir gylių tikslumas iš esmės neturėtų skirtis, nes viskas priklauso nuo modelio derinimo ir pradinių bei kraštinių sąlygų.

Tačiau atsižvelgiant į modelio parengimą, dažnai vienmačiam HD modeliui laiko sąnaudos būna didesnės nei dvimačiam. Tad susiformavusi nuomonė, kad tiriant vandens lygius, nėra prasmės naudoti dvimatį modelį ten, kur vienmačio modelio tikslumas yra toks pats, nes dvimačio modelio taikymas reikalauja ženkliai didesnių laiko sąnaudų, ne visada yra teisinga.

Atsižvelgiant į informacinių technologijų mokslo vystymosi tempą, galima sakyti, kad HEC-RAS programinė įranga sukurta labai seniai ir iki dabar labai išstobulinta. Dabar jau naudojama versija 6.5, kuri apima tiek 1D, tiek 2D planinius hidrodinamikos modelius. Be to, įpusėjo ir visiškai naujos šios sistemos platformos kūrimas, iš esmės pakeisiančios darbo su HEC-RAS pobūdį. Nors skirtas ne moksliniams tyrimams, bet inžinieriams praktikams, šis modelis yra grįstas fizikos dėsniais ir bazinėmis matematikos lygtimis, todėl gauti rezultatai visada turi aiškią fizikinę prasmę (2.5.2.2 pav.).



22.5.2.2 pav. HEC-RAS modelio koncepcinė schema²

2.5.3. HEC-RAS dvimačio modelio pagrindinės lygtys

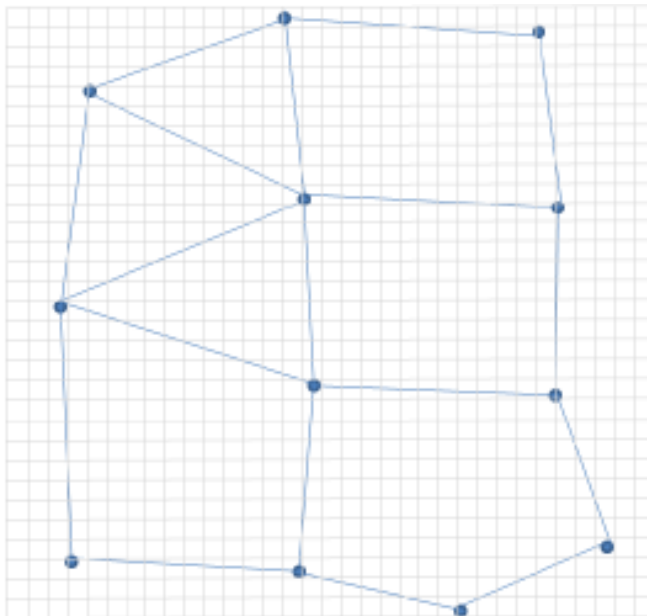
HEC-RAS vartotojo vadove (HEC-RAS Hydraulic Reference Manual Version 6.3) pateikiama labai išsami teorinė dalis, skirta tiek 1D, tiek 2D modeliavimo atvejams. Toliau pateikiame trumpą ištrauką iš šio dokumento, skirtą dvimačio modelio pagrindinėms lygtims (angl. governing equations) ir esminėms jų taikymo prielaidoms.

Sąlygos ir prielaidos. Pritaikius judesio kiekio tvermės dėsnį (fizikoje žinomą kaip antrą Niutono dėsnį), elementariam skysčio tūriui buvo išvestos Navjė-Stokso lygtys, kurios apibūdina skysčių judėjimą trimatėje erdvėje. Kuriant HEC-RAS modelį, upių vagų ar kanalų tėkmės modeliavimo kontekste taikomi tam tikri supaprastinimai. Viena supaprastintų lygčių sistema yra seklios tėkmės lygtys. Čia daroma prielaida, kad srautas nesuspaudžiamas, tankis ir hidrostatinis slėgis nekintantys, o lygtys suvidurkintos Reinoldso skaičiaus atžvilgiu taip, kad turbulentinė tėkmė aproksimuojama taikant sūkurinę klampą. Taip pat daroma prielaida, kad vertikali skalė (z) yra daug kartų mažesnė lyginant su horizontalia (x , y) skale. Dėl to vertikalūs greitis yra mažas, o slėgis yra hidrostatinis, ko pasekoje gaunama diferencinė seklaus srauto (HEC-RAS atveju SW) lygčių sistema.

Kai kuriuose sekliuose srautuose barotropinio slėgio gradiento (gravitacijos) ir tangentiniai pasipriešinimai yra dominuojantys momentų lygčių nariai, o nepastovumo, advekcijos ir klampos nariai gali būti nepaisomi. Tada momentų lygtis tampa difuzijos bangos aproksimacijos dvimate forma. Sujungus šią lygtį su masės vientisumo lygtimi, gaunamas lygties modelis žinomas kaip sekliojo srauto lygčių difuzinės bangos aproksimacija (HEC-RAS atveju DSW).

² Adaptuota pagal Alejandro Sanchez prezentaciją

Norint pagreitinti skaičiavimo laiką, naudojamas potinklio batimetrijos metodas (2.5.3.1 pav.). Šio metodo idėja yra naudojimas santykinai grubaus skaičiavimo tinklo ir kartu detalesnio mastelio informacijos apie dugno reljefą (tarkim skaičiavimo tinklą sudaro 10×10 m gardelės, o naudojamo vagos dugno reljefo modelio gardelių tinklas yra 1×1 m).



2.5.3.1 3pav. HEC-RAS 2D modelio potinklio batimetrijos schema

Masės vientisumo lygtis diskretizuojama naudojant baigtinio tūrio metodą. Smulkios tinklelio detalės apibūdinamos kaip parametrai, atspindintys kelis tūrių ir šoninių paviršiaus plotų integralus. Dėl to skaičiuojant skysčio masės pernešimą, įvertinama stambaus mastelio topografija kiekvienos atskiros gardelės viduje. Kadangi ši idėja susijusi tik su masės vientisumo lygtimi, ji gali būti naudojama nepriklausomai nuo momentų lygties versijos.

Masės vientisumo lygtis. Darant prielaidą, kad srautas yra nesuspaudžiamas, nenusistovėjusiai tėkmei masės vientisumo dvimatės lygties diferencialinė forma yra tokia:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q \quad (11)$$

Kur: t – laikas; u ir v – greičio komponentai Dekarto koordinatėse, h – gylis; q – srauto pritekėjimas/ištekėjimas.

Vektorinėje formoje lygtis užrašoma taip:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (hV) = q \quad (12)$$

Kur: $V = (u, v)^T$ – greičio vektorius; ∇ – gradiento operatorius, kurio išraiška tokia: $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)^T$.

Momentų lygtis. Kai horizontalios ilgio skalės yra daug didesnės nei vertikalioji, tūrio tvermė reiškia, kad vertikalus greitis yra mažas. Navje-Stokso vertikalios momento lygtis gali būti naudojama norint pagrįsti, kad slėgis yra beveik hidrostatinis. Darant prielaidą, kad nėra slėgio gradiento, vėjo poveikio ir nehidrostatinio slėgio, galima taikyti vertikaliai suvidurkintos momentų lygties versiją. Vertikalios greičio ir vertikalios išvestinių lygties narių galima nepaisyti (tiek masės

vientisumo, tiek momentų lygtys). Tuomet gaunamos tokios seklaus srauto dvimatės formos lygtys:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f_c v = -g \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{t,xx} h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{t,yy} h \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,x}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho h} \quad (13)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - f_c u = -g \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{t,xx} h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{t,yy} h \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,y}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho h} \quad (14)$$

Kur: t – laikas; u ir v – greičio komponentai Dekarto koordinatėse; g – gravitacijos pagreitis; z_s – vandens lygio altitudė; $v_{t,xx}$ ir $v_{t,yy}$ – horizontalios dedamosios sūkurinio klampio koeficientai; $\tau_{b,x}$ ir $\tau_{b,y}$ – tangentinių įtempimų vagos dugne horizontaliosios dedamosios; $\tau_{s,x}$ ir $\tau_{s,y}$ – vėjo tangentinių pasipriešinimų horizontaliosios dedamosios; h – vandens gylis; f_c – Koriolio jėgos parametras.

Kairėje lygties pusėje yra pagrečio (arba sukaupto judesio kiekio pokyčio) dedamosios, kuri atsveria dešinėje pusėje esančios dedamosios aprašančios vidines arba išorines jėgas, veikiančias skysčio elementarų tūrį. Kairės ir dešinės pusės lygties dedamosios paprastai organizuojamos taip, kad atitiktų antrąjį Niutono dėsnį, iš kurio galiausiai gaunamos momentų lygtys. Momentų lygtys taip pat gali būti parašytos vektorinėje formoje. Šios lygties formos pranašumas yra tas, kad ji tampa kompaktiškesnė ir lengviau skaitoma. Momentų lygties vektorinė forma yra tokia:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla)V + f_c k \times V = -g \nabla z_s + \frac{1}{h} \nabla \cdot (v_t h \nabla V) - \frac{\tau_b}{\rho R} + \frac{\tau_s}{\rho h} \quad (15)$$

Kur: $V = (u, v)^T$ – greičio vektorius; v_t – sūkurinės klampies tensorius; ∇ – gradiento operatorius; k – vertikalios krypties vienetinis vektorius; τ_s – vėjo tangentinių pasipriešinimų vektorius; (pastaba: Koriolio dedamoji nėra visiškai tiksli dėl nepakankamo vektorių ilgio).

HEC-RAS modelyje taikant šias lygčių sistemas yra galimybė rinktis vieną ar kitą formą, eliminuojant sąlyginai nereikšmingus lygties narius, priklausomai nuo to, kokių tikslų siekiama. Tarkime, jei mus domina tik vandens lygiai (modeliuojame potvynius ir norime sukurti užtvvinimo žemėlapius), tuomet galime naudoti tik difuzinės bangos lygtį (ignoruoja dalis lygties narių, atsižvelgiama tik į hidrostatinio slėgio, tangentinių pasipriešinimų ir gravitacijos jėgas). Jei koncentruojamės į detales (pavyzdžiui, modeliuojame bunas ir labai svarbu yra nustatyti lokalius greičius bunos zonoje), tai bus taikoma pilna lygtis (upėje, tokioje kaip Nemunas, galima nepaisyti nebent vėjo sukeliama pasipriešinimo, kuris yra paskutinis lygties narys). Paprastai naudojant difuzinės bangos lygtį, modelis yra stabilesnis, todėl ir modeliuojant sudėtingesnius atvejus, pirmiausia patartina atlikti skaičiavimus naudojant šią opciją, o tada gautą rezultatą naudojant kaip pradines sąlygas, pereinama prie pilnos lygties taikymo. Pradinių sąlygų failas šiuo atveju gali būti suformuojamas nurodant sukurti „restartavimo“ failą, arba paskutinės programos versijos jau leidžia naudoti tiesiog rezultatų failą, nurodant nuo kokio laiko momento startuoti. Tai labai praverčia ir palengvina darbą modelio derinimo procese.

Vagos dugno trinties jėgos. Kadangi bene svarbiausias modelio derinimo principas yra tinkamo vagos šiurkštumo parametro parinkimas, trumpai aptarsime šios lygties dedamosios detales.

Vagos dugno tangentiniai pasipriešinimai išreiškiami taip:

$$\tau_b = \rho C_D |V|V \quad (16)$$

Kur: ρ – vandens tankis; C_D – pasipriešinimo koeficientas, apskaičiuotas naudojant Maningo šiurkštumo koeficientą.

$$C_D = \frac{n^2 g}{R^{1/3}} \quad (17)$$

Kur: n – Maningo šiurkštumo koeficientas [$\text{s/m}^{1/3}$]; R – hidraulinis spindulys [m]; g – pagreitis [m/s^2]. Pasipriešinimo koeficientas C_D , susietas su netiesiniu pasipriešinimo koeficientu c_f taip:

$$c_f = \frac{C_D}{R} |V| = \frac{n^2 g}{R^{4/3}} |V| \quad (18)$$

Pasipriešinimo greitis išreikštas taip:

$$u_* = \sqrt{\tau_b / \sigma} \quad (19)$$

Turbulencija yra sudėtingas chaotiško (turbolentinio) skysčio judėjimo ir sūkurių reiškinys, apimantis platų ilgio skalių ruožą. Daugelis ilgio skalių yra per mažos, kad jas būtų galima išspręsti naudojant atskirą skaitmeninį modelį, todėl turbulentinis srauto maišymasis modeliuojamas kaip gradiento difuzijos procesas. Taikant šį metodą, difuzijos greitis nustatomas kaip sūkurinis klampumas. Sūkurinės klampos tensorius apskaičiuojamas taip:

$$v_t = Du_* h + (C_s \Delta)^2 |\bar{S}| \quad (20)$$

Kur: D – maišymosi koeficiento tenzorius; u_* – pasipriešinimo greitis; h – vandens gylis; C_s – Smagorinskio koeficientas (kinta nuo 0,05 iki 0,2); Δ – filtro plotis (nustatomas pagal lokalinę tinklo rezoliuciją); $|\bar{S}|$ – įtempimo greitis.

Koriolio ir vėjo jėgos mūsų projekto atveju ignoruojamos, tad jų neaptariame.

Hidrotechninių statinių integravimas į 2D modelį. Vandens srauto tekėjimui pro statinius modeliuoti naudojama kombinuota metodika, kai 2D modelis sujungiamas su 1D. Tuomet srauto tekėjimas pro statinį skaičiuojamas panašiai kaip ir 1D modelyje. Tuomet du išoriniai skerspjūviai kontaktuojantys su 2D modeliu tarnauja kaip kraštinės, o vidiniai skerspjūviai jau integruoja savyje tilto konstrukcijas (atramas, prietiltį ir pan.). Tai gana sudėtingas procesas, detaliam aprašytas programinės įrangos naudotojo vadove.

Tiltų integravimas. Skaičiuojant energijos nuostolius pratekant tiltą, yra galimybė pasirinkti vieną iš keturių atvejų (energijos lygtį (standartinis metodas); momentų balanso lygtį; Yarnell empirinę lygtį ar WSPRO metodą) labiausiai tinkamą konkrečiam objektui, arba naudoti visus ir pasirinkti kritiškiausią rezultatą. Bet kuriuo atveju būtina parinkti tinkamus koeficientus, naudojamus lygtyse, kurie priklauso nuo atramų formos ir matmenų, prietilčio pylimo bei tilto perdangos matmenų, todėl būtina žinoti pastatyto tilto tikslus matmenis.

Paklaidų skaičiavimas. Kai valdomos tik įtekėjimo sąlygos, integruotoms į modelio skaičiavimo tinklą pralaidoms skaičiavimas atliekamas taip:

a) kai įtekėjimas neapsemtas:

$$\frac{HW_1}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S \quad (21)$$

$$\frac{HW_1}{D} = K \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S \quad (21)$$

b) kai įtekėjimas apsemtas:

$$\frac{HW_1}{D} = \frac{H_c}{D} + c \left[\frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y = 0.5S \quad (23)$$

Kur: HW_1 – AB energija, skaičiuojant nuo pralaidos įtekėjimo apačios; D – vidinis vamzdžio skersmuo; H_c – specifinis slėgio aukštis kritinio gylio taške; Q – debitas per pralaidą; A – vieno pralaidos vamzdžio skersinis pjūvis; S – pralaidos vamzdžio nuolydis; K , M , c , Y – lygties parametrai, apsprendžiantys vamzdžio formą, įtekėjimo ir ištekėjimo sąlygas.

Įtekėjimo ir ištekėjimo sąlygos subalansuojamos taikant energijos lygtį:

$$Z_3 + Y_3 + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + H_L \quad (24)$$

Kur: Z_3 ir Z_2 – AB ir ŽB pralaidos dugno aukštis; Y_3 ir Y_2 – AB ir ŽB vandens gylis iki pralaidos dugno; α_3 α_2 – AB ir ŽB greičio koeficientas; V_3 ir V_2 – AB ir ŽB vidutinis greitis pralaidoje; H_L – suminiai energijos nuostoliai pralaidoje.

Laiko žingsnio parinkimas. Parinkti tinkamą laiko žingsnį yra sudėtinga, tad dažnai pradedant pirmus bandymus, skaičiavimas nutraukiamas dėl per didelio ar per mažo laiko žingsnio, nors ir stengiamasi jį paskaičiuoti kuo tiksliau. Kartais šis procesas gali užtrukti gana ilgai. To išvengti galima leidžiant programinei įrangai tikslinti laiko žingsnį kiekvienos iteracijos metu, taikant laiko žingsnio kontrolės metodą (Advanced time step control). Pasirinkus šią opciją, pakanka nurodyti Courant skaičiaus kitimo intervalą ir keletą papildomų parametrų.

Koriolio ir vėjo jėgos mūsų projekto atveju ignoruojamos, tad jų neaptariame.

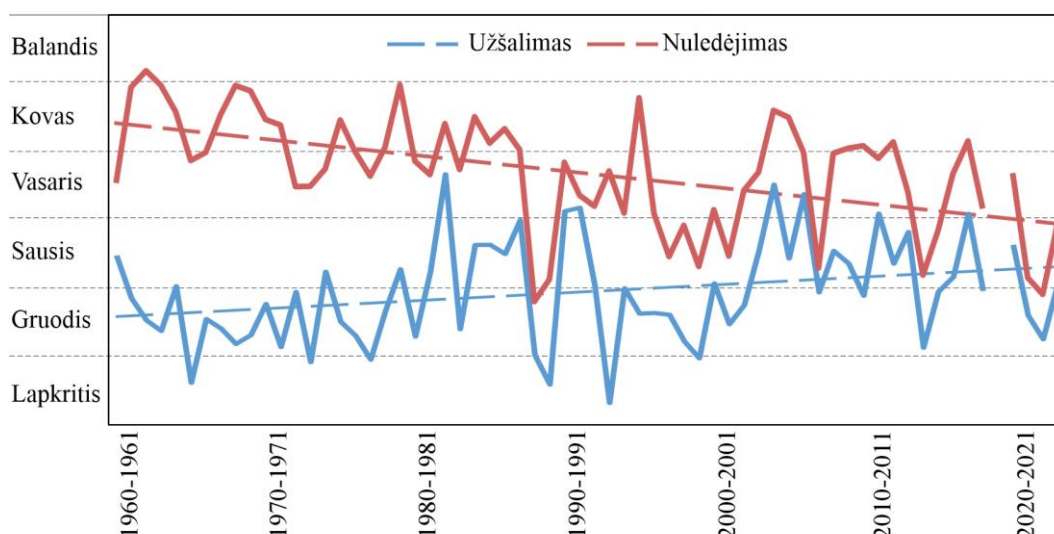
3. REZULTATAI

3.1. Ledo dangos ir jos įtakos potvyniams Lietuvos upėse analizė

Lietuvos upėms būdinga nepastovi ledo danga, kurią sąlygoja šalto ir šilto oro srautų kaita. Pastovi, ištisinė ledo danga upėse susiformuoja ne kiekvienais metais. Kai kuriomis žiemomis ledo danga upėse susiformuoja keletą kartų. Dažnai žiemos metu būna atšilimai ir ledo danga upėje suyra, tai trunka laikinai ir upė vėl užšąla. Tai ypač būdinga mažesnėms upėms. Tyrimo metu surinkti ištisinės ledo dangos ir ledo sangrūdų stebėjimų duomenys leido nustatyti jų susidarymo bei suirimo datas ir bendrą trukmę.

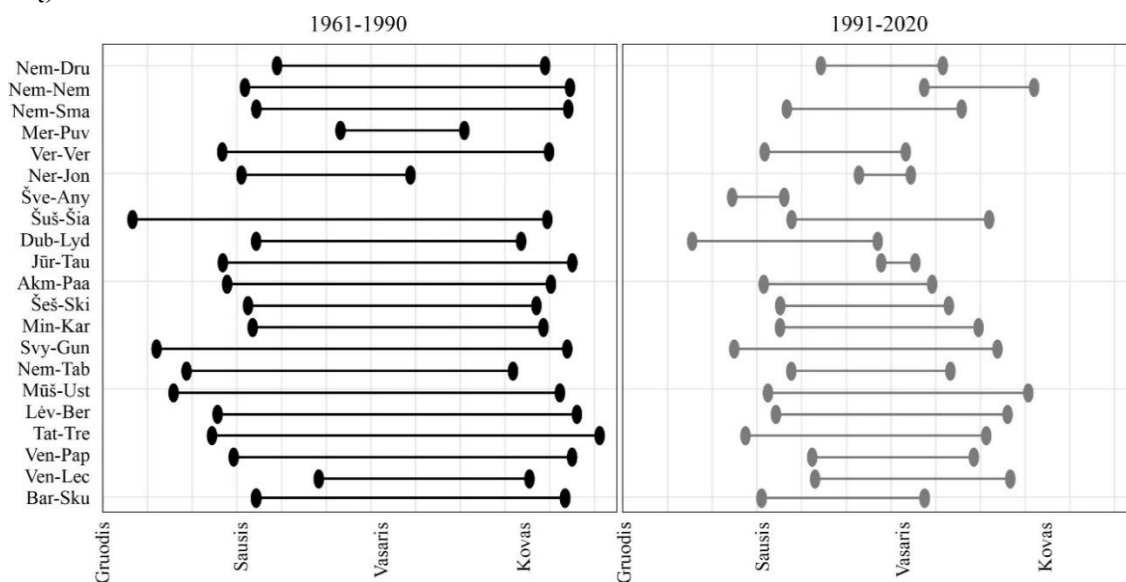
3.1.1. Pastovios ledo dangos susidarymo bei suirimo datų kaita

Pastovios ledo dangos susidarymo ir suirimo vidutinės datos yra pateiktos 3.1.1.1 paveiksle. Palyginus pastovios ledo dangos susidarymo datų pokyčius tiriamose Lietuvos upėse nustatyta, kad ji tiriamo laikotarpio pradžioje vidutiniškai susidarydavo gruodžio antrąją dekadą, o laikotarpio pabaigoje – sausio pirmąją dekadą. Tuo tarpu, upių nuledėjimo datų (3.1.1.1 pav.) analizė parodė, kad laikotarpio pradžioje ledas ištirpdavo kovo antrąją dekadą, o laikotarpio pabaigoje – sausio trečiąją dekadą. Galima apibendrinti, kad mažiausiai pasikeitė pastovios ledo dangos susidarymo data, tačiau ženkliai keitėsi jos suirimo (nuledėjimo) laikas, ko pasekoje laikotarpio pabaigoje pastovi ledo danga ne tik susidarydavo trimis savaitėmis vėliau, bet ir ištirpdavo šešiomis savaitėmis anksčiau.



3.1.1.1 pav. Pastovios ledo dangos susidarymo bei nuledėjimo datų kaita tiriamose Lietuvos upėse

Atskirose upėse pasidengimo ledu bei nuledėjimo datos buvo labai skirtingos (3.1.1.2 pav.). Pavyzdžiui, pirmuoju klimato normos laikotarpiu upės užšaldavo vidutiniškai paskutinę gruodžio dekadą: ankščiausiai tai įvykdavo Šušvėje ties Šiaulėnais (gruodžio pirmąją dekadą), o vėliausiai – Merkyje ties Puvočiais (sausio trečiąją dekadą). Tuo tarpu antruoju KNL ledas susidarydavo vidutiniškai sausio pirmąją dekadą: ankščiausiai – Dubysoje ties Lyduvėnais (gruodžio antrąją dekadą), o vėliausiai – Nemune ties Nemajūnais (vasario pirmąją dekadą). Pastebimai didesnis pokytis nustatytas analizuojant nuledėjimo datas. Pirmuoju KNL didžiojoje dalyje upių ledas vidutiniškai ištirpdavo kovo mėn. pirmąją dekadą, ankščiausiai – Neryje ties Jonava (vasario pirmąją dekadą), o vėliausiai – Tatuloje ties Trečionimis (kovo trečiąją dekadą). Tačiau antruoju KNL ledas pradėdavo tirpti jau vasario antrąją dekadą, ankščiausiai nuledėdavo Šventoji ties Anykščiais (sausio pirmąją dekadą), o vėliausiai – Nemunas ties Nemajūnais (kovo pirmąją dekadą).



3.1.1.2 pav. Pastovios ledo dangos susidarymo bei nuledėjimo datų kaita tirtose Lietuvos upėse per du klimato normos laikotarpius

3.1.2. Pastovios ledo dangos trukmės kaita

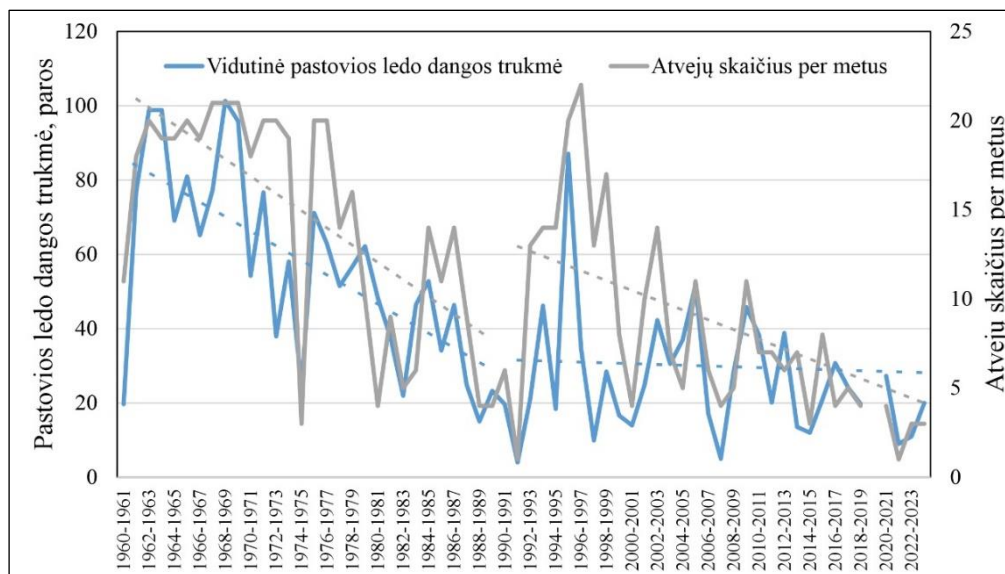
Kitas labai svarbus rodiklis yra pasidengimo ledu trukmė. Pastovi ledo danga tiriamu 1960–2024 m. laikotarpiu dažniausiai susiformuodavo ir ilgiausiai trukdavo šiose upėse: Šušvėje ties Šiaulėnais (ji buvo stebėta 62 iš 64 metų, vidutiniškai truko 55 dienas), Svyloje ties Guntauninkais (stebėta 59 metus, vidutiniškai 60 d.), Mūsoje ties Ustukiais (58 iš 64 tirtų metų ir truko vidutiniškai 61 d.). Rečiau ledo danga susidarė, bet vidutiniškai ilgai išlikdavo Nemune ties Nemajūnais (63 d.), Nemunėlyje ties Tabokine (62 d.), Nemune ties Smalininkais (56 d.), Jūroje ties Taurage (56 d.). Tik vieną žiemą (4 dienas) ledas dengė Ūlą ties Zervynomis; Šventojoje ties Anykščiais stebėti 9 pastovios ledo dangos susiformavimo atvejai, o Merkyje ties Puvočiais – 11 (3.1.2.1 pav.).

	Nem-Dru	Nem-Nem	Nem-Sma	Mer-Puv	Ūla-Zer	Ver-Ver	Ner-Jon	Šve-Any	Šuš-Šia	Šuš-Ios	Dub-Lyd	Jūr-Tau	Akm-Paa	Šeš-Ski	Min-Kar	Svy-Gun	Miš-Ust	Lėv-Ber	Tat-Tre	Nem-Tab	Ven-Pap	Ven-Lec	Bar-Sku
1960-1961	19	29	10	6		28			29	22			23		10	-	34	-	-		7		
1961-1962	63	110	106	17		94	101		108	86	36	65	70	67	95	-	110	-	95	87	61		15
1962-1963	43	108	101	73		107	106		106	103	107	110	102	102	110	112	111	-	100	111	107	49	109
1963-1964	106	120	112	41		109	112		116	109	69	107	107	70	40	95	127	-	126	100	102		110
1964-1965	63	89	70	37		63	70		118	82	43	82	66	70	42	70	108	-	70	65	57		48
1965-1966	9	96	102	38		69	29		131	100	99	94	103	51	52	84	105	-	100	103	102	33	120
1966-1967	47	79	61			74	49		98	80	51	58	65	41	51	89	78	-	69	81	75	41	51
1967-1968	71	95	89	1		86	5		98	103	87	84	82	64	80	101	106	95	87	93	78	40	76
1968-1969	91	110	100	64		95	73		119	118	90	88	108	109	109	123	127	103	83	103	102	114	98
1969-1970	95	106	105	67		83	70		108	109	96	100	111	102	115	91	116	92	75	89	100	96	88
1970-1971	35	81	69			18	10		91	63	44	47	43	43		85	91	82	18	43	82		31
1971-1972	61	76	67	11		62			120	97	56	86	62	76	58	101	96	103	85	91	95	58	70
1972-1973	33	52	39	7		28	4		57	48	12	40	32	38	13	85	62	76	17	46	50		20
1973-1974	59	74	68			37	13		106	63	52	67	29	58	5	92	96	88	58	65	66		7
1974-1975									26							31	16						
1975-1976	52	82	75			74	5		119	95	64	28	78	80	64	91	119	73	72	82	87	49	33
1976-1977	64	74	59			51	3		110	62	66	27	57	59	76	93	97	58	93	76	79	8	45
1977-1978	60	91	55			52			55	43	12		40			81	77	58	49	16	32		
1978-1979	73	85	63			78			63	33	8		32	7		84	84	68	61	97	65	5	
1979-1980		93	70						87	40						110	12	67	69	14	60		
1980-1981									39							64	47	43					
1981-1982		19	36						17	10						91	75	57	4		31		
1982-1983									24							36	26	14	10				
1983-1984									30					7		81	92	67	2				
1984-1985	26	3	22			62			73	67	30		48			89	83	80		44	74	38	
1985-1986						27			47	21	13		5	13		65	66	60			37	21	
1986-1987		15	22			81			36	24	3		26	32		72	85	83		64	61	45	
1987-1988		7				9			57	2						36	45	53	-	2	13		
1988-1989		10							23					10			17		-				
1989-1990									22							17	28	26	-				
1990-1991									23				11			27	27	17	-		13		
1991-1992									4										-				
1992-1993			2			4		1	61	8		5		10	11	61	54	29	14		13		
1993-1994			28			20		21	90	45			46	21	18	66	77	83	33	54	45		
1994-1995			12			6		24	42	5		7	2	12		41	47	44	1	6	9		
1995-1996	73	71	60			17	30		130	87	112	18	104	115	94	127	124	102	109	114	114	87	54
1996-1997	44	14	44		4	42	25	2	57	42	31	12	47	58	22	43	63	48	28	35	40	42	20
1997-1998	1					1	7	1	27				7	15	8	38		12	2	8	2		
1998-1999	52	18	23			29		19	60	4	23		19	10	10	80	39	49		9	39		1
1999-2000							3	8	25	6						37	24	23			7		
2000-2001									3							17	12	24					
2001-2002			30			23		4	39		1					33	28	45	9	37			
2002-2003	5	11	24			27		22	79	29			12			77	65	79	50	68	44		
2003-2004						17			33							50	55	39	7		13		
2004-2005			16						47							45	28	49					
2005-2006	19					40			82	22			7			56	93	61	58	64	67		
2006-2007									10							23	14	35	13		8		
2007-2008									4	2						9		5					
2008-2009									30							41	27	43			1		
2009-2010									70	28			21	46		65	49	77	35	63	45	5	
2010-2011						2			70						28	60	58	40			10		
2011-2012	4								28							26	29	24	22		8		
2012-2013		10							16					7		71	70	59					
2013-2014									15			1		10		27	15	18	9				
2014-2015									8							22		6					
2015-2016									28	18				5		26	27	25	20		19		
2016-2017									17							31	30	45					
2017-2018									15	12						50	24	20					
2018-2019									14							22	34	9					
2019-2020																							
2020-2021									19							32	36	22					
2021-2022																9							
2022-2023									14							15	4						
2023-2024									10							30	20						

3.1.2.1 pav. Pastovios ledo dangos trukmė Lietuvos upėse 1960–2024 m.

Pirmuoju dešimtmečiu ledo danga, su tam tikromis išimtimis, dengdavo visas tiriamas upes, vidutinė ledo dangos trukmė siekė 81 dieną, o bendra trukmė net daugiau kaip 15 tūkst. dienų. Tačiau nuo antrojo dešimtmečio ledo dangos trukmė pradėjo palaipsniui mažėti arba nesusiformuodavo apskritai. Trečiuoju dešimtmečiu pastovi ledo danga upes dengė vidutiniškai 38 dienas, o jos bendra trukmė tesiekė 3 tūkst. dienų. Ketvirtuoju dešimtmečiu stebėtas ledo dangos susidarymo padažnėjimas, vertinant šio reiškinio pasikartojimo atvejus ir bendrą jų trukmę, tačiau vidutinė ledo dangos trukmė tiriamose upėse toliau mažėjo. Šį trumpalaikį ledo dangos suaktyvėjimą lėmė labai šalta 1995–1996 m. žiema, kurios metu neigiamų oro temperatūrų suma viršijo 800 °C, o vidutinė ledo dangos trukmė tiriamose upėse buvo 87 dienos. Tiriamo laikotarpio penktuoju ir šeštuoju dešimtmečiais ledo dangos trukmės rodikliai toliau mažėjo ir šis reiškinys

stebėtas vis rečiau. Akivaizdus visų tiriamų rodiklių mažėjimas nustatytas ne tik lyginant klimato normų laikotarpį, bet ir viso tiriamo laikotarpio stebėjimų duomenis (3.1.2.2 pav.).



3.1.2.2 pav. Ledo dangos trukmės rodiklių kaita tiriamose Lietuvos upėse

3.1.3. Ledo sangrūdų įtaka potvyniams

Ledo sangrūdų poveikis potvyniams analizuotas taikant metodiką, aprašytą 2.1 skyriuje. Šiame etape buvo vertinama ledo sangrūdų įtaka potvyniams, t. y. ar esant ledo sangrūdams vandens lygis pakilo aukščiau kritinio ir upė išsiliejo į salpą. Ledo sangrūdų sukeltų potvynių skaičius per 1960–2024 m. laikotarpį bei kritinis vandens lygis (kuris yra pateiktas 2023 m. hidrologiniame metraštyje, LHMT 2023) tiriamose upėse yra pateiktas 3.1.3.1 lentelėje.

3.1.3.1 lentelė. Ledo sangrūdų sukeltų potvynių skaičius tiriamose upėse

Upė-VMS	Kritinis H, cm	Atvejų skaičius, kai buvo viršytas kritinis vandens lygis
Nemunas-Druskininkai	620	0
Nemunas-Nemajūnai	700	1
Nemunas-Smalininkai	500	16
Merkys-Puvočiai	330	0
Ūla-Zervynos	120	6
Verknė-Verbyliškės	380	0
Neris-Jonava	600	0
Šventoji-Anykščiai	150	24
Šušvė-Šiaulėnai	308	3
Šušvė-Josvainiai	200	5
Dubysa-Lyduvėnai	260	6
Jūra-Tauragė	460	6
Akmena-Paakmenis	380	0

Šešuvis-Skircgailai	550	11
Miniija-Kartena	370	2
Svyla-Guntauninkai	240	4
Mūša-Ustukiai	260	10
Lėvuo-Bernatoniai	160	19
Tatula-Trečionys	195	1
Nemunėlis-Tabokinė	290	5
Venta-Papilė	390	4
Venta-Leckava	280	5
Bartuva-Skuodas	450	0

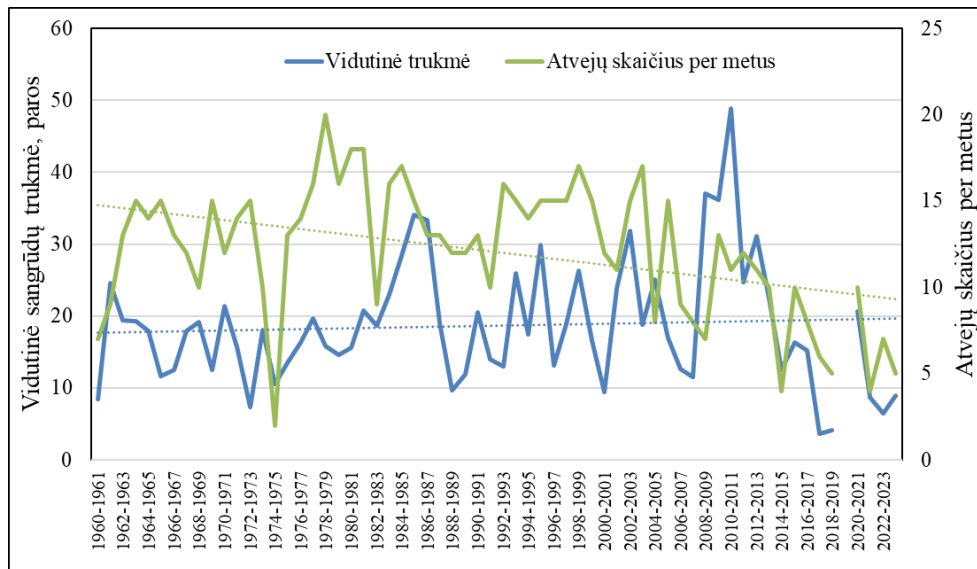
Ledo sangrūdos tirtose upėse susiformuoja ne kiekvienais metais. Bendra ledo sangrūdų trukmė yra pateikta 3.1.3.1 pav. Per tiriamą 1960–2024 metų laikotarpį dažniausiai (60 metų) sangrūdos stebėtos Nemune ties Nemajūnais; jų vidutinė trukmė buvo 44 dienos, o bendra trukmė – 2653 dienos. Kiek retesni (daugiau kaip 50 m. iš tirtų 64 m.) šio reiškinių atvejai buvo fiksuoti Nemune ties Druskininkais ir Smalininkais, Neryje ties Jonava, Merkyje ties Puvočiais ir Verknėje ties Verbyliškėmis. Rečiausiai šis reiškinys stebėtas Ūloje ties Zervynomis (tik 6 metus) ir Bartuvoje ties Skuodu (8 metus).

	Nem-Dru	Nem-Nem	Nem-Sma	Mer-Puv	Ūla-Zer	Ver-Ver	Ner-Jon	Šve-Any	Šuš-Šia	Šuš-Jos	Dub-Lyd	Jūr-Tau	Akm-Paa	Šeš-Ski	Min-Kar	Svy-Gun	Mūš-Ust	Lėv-Ber	Tat-Tre	Nem-Tab	Ven-Pap	Ven-Lec	Bar-Sku
1960-1961	21	6				3			2				10	15	2	-	-	-	-		-		
1961-1962	34	3		34		9		4	48		11					-	-	-	11	67	-		
1962-1963	6	20	10	95			8	10	2	4	7	3		4		-	-	-	30	53	-		
1963-1964	33	45	21	77		14	36	10	6	4	13	19		2	2	-	-	-	7	1	-		
1964-1965	19	23	62	59	2	7	19		6		17	10	9	3		-	2	-				14	
1965-1966	5	4	51	16		10	14		1	3	10	23		18	-	-	-	-	3	1	7	8	
1966-1967	18	17	16	44		9	2			1	10	21		5			7		10	3			
1967-1968	33	34	33	42		7	24					7		9			2		13		3	7	
1968-1969	3	55	38	32		11	21							2				5	23	2			
1969-1970	12	40	18	12		16	15	17		5			1		2	14		8	12	4		11	
1970-1971	42	75		14		32	31	15		23	4	15					1	4		1			
1971-1972	21	42	5	24		18	34	27	6	11			6	1	9		15	1					
1972-1973	11	12	2	15		15	1	7	3	9	6				6		9	2	1	12			
1973-1974	34	10		24		21		16		14	13		18		8					23			
1974-1975		4							17														
1975-1976	18	18	3	63		26	12	10	6	6			1		1	8	3						
1976-1977	24	38	49	37		11	5	4		1		8	16	18	6		2						10
1977-1978	25	25	56	53		27	18	25		8			12	8	3			2	13		10	17	13
1978-1979	14	26	15	85	3	12	18	14	20	12	18	6	13		7	3	6		19		12	11	4
1979-1980		9		44		8	15	30	11	19	2		3		2	2	22	12	21		20		14
1980-1981	24	16	29	6		42	7	32		11		6	16	2	19		20	26	10		3	6	6
1981-1982	42	14	39	9	9	31	22	18	13	37				6	7		7	31	21		41	17	9
1982-1983		30	13			7		24		25							14	35	16		4		
1983-1984	27	89	35	16		34	7	41	6	17			28		17			2	24	1	15	9	
1984-1985	30	75	60	66		36	32	7	4	10			11		24		1	10	89	1	7	19	
1985-1986	84	76	54	42		50	14	28		31			11		21		3	8	71		6	13	
1986-1987	36	32	64	64		11	22	31		26							2	4	84		20	38	
1987-1988	7	61		12		10	4	33	11	9	12						18	35	-		17	18	
1988-1989	5	18		5		14	4			18	11		6				4	13	-		12	7	
1989-1990		50	2	9		19		8		15	2				1			8	-		9	18	2
1990-1991	29	63		21		16	3	29		33			12	11			5	16	-		16	13	
1991-1992		40	14	7		14	5	18		7							16	10	-		9		
1992-1993	9	58	7	7		15	3	25	2	10			1				7	30	9	6	8	12	
1993-1994	49	80	1	31		14	23	29	3	20							17	15	30	30	19	29	
1994-1995	9	51	6	10		27	3	8		25			15	3					32	26	20	10	
1995-1996	21	44	55	83		102	33	13		9	3			5				14	10	19	11	26	
1996-1997	12	22	9	30		14	13	23		5			5				1	10	23	9	7	14	
1997-1998	14	40	29	15		30	21	25		6	8						19	11	14	21	17	14	
1998-1999	31	74	21	47		28	22	49	7	30	10		6				19	6	38	29	17	13	
1999-2000	7	51	26	12		22	18	2	2		16						12	2	28	25	10	16	
2000-2001		45	9	3		20	2	8	1					2				3	9	8	4		
2001-2002	34	57	18	35		26	27	27	10					12					8	8			
2002-2003	34	96	77	64		45	108		2	6		2	6	13				3	3	11		10	
2003-2004	39	75	72	22		7	44		1		4		2	3	7	3		2		17	6	12	3
2004-2005	45	61	23	34		5	27							2						4			
2005-2006	51	87	11	40	4	9	21		1			1	10					7	1	7	1	3	
2006-2007	27	41	27	8										2			1	2	4	2			
2007-2008	17	30	16	9			5	2								5				8			
2008-2009	46	66	61	19			46							16		5							
2009-2010	99	101	96	66	11		69		5						4	4	2	8		4	2		
2010-2011	110	112	109	38			89	11				36	7	6			2			9			
2011-2012	40	54	50	32		48	47					7	4	3	2				2		7		
2012-2013	34	100	63	16		40	32	8						13		3	2			32			
2013-2014	31	44	41	26	4		29	27						10	9							4	
2014-2015	14	18				11	7																
2015-2016	17	35	24	28		16	35							4				1		1		2	
2016-2017	2	50	30	3		16		7								1				13			
2017-2018	1						1	11						2				5		2			
2018-2019				1			1				2			9						8			
2019-2020																							
2020-2021	21	63	42	36		1	20						1	2						12		8	
2021-2022		17	3					12															
2022-2023		11	12				11				2			5					2	2			
2023-2024			11	1		18	3	12															

3.1.3.1 pav. Ledo sangrūdų bendra trukmė Lietuvos upėse 1960–2024 m.

Lyginant bendrą ledo sangrūdų pasikartojimą (atvejų skaičių per metus) tiriamose upėse 1960–2024 m. laikotarpiu (3.1.3.2 pav.), daugiausiai šio reiškinių atvejų buvo nustatyta 1979–2003 metais. Ypač išsiskiria 1978–1979 m. žiemą, kuomet ledo sangrūdos susiformavo net 20-yje VMS (iš 23 tirtų). Sekančiomis žiemomis ledo sangrūdų atvejų imta mažėti, ir 1981–1982 bei 1982–1983 metų žiemomis sangrūdos fiksuotos jau tik 18-oje upių. Nuo šio amžiaus pradžios ledo sangrūdos

susidarė vis rečiau. 2019–2020 m. žiemą jų nebuvo nė vienoje tirtoje upėje (šią žiemą nebuvo ir ledo dangos), tačiau jau sekancią žiemą jos buvo stebėtos Nemune, Neryje, Merkyje ir kai kuriose kitose upėse. Tuo tarpu vidutinės ledo sangrūdų trukmės dinamika buvo kitokia: nuo 1990 metų ji didėjo, ir tam įtakos turėjo didelė variacija ir didelės šio rodiklio vertės (atskirų atvejų trukmė). Taigi, galima daryti išvadą, kad antruoju klimato normos laikotarpiu ledo sangrūdų buvo retesnės, bet trukdavo ilgiau.



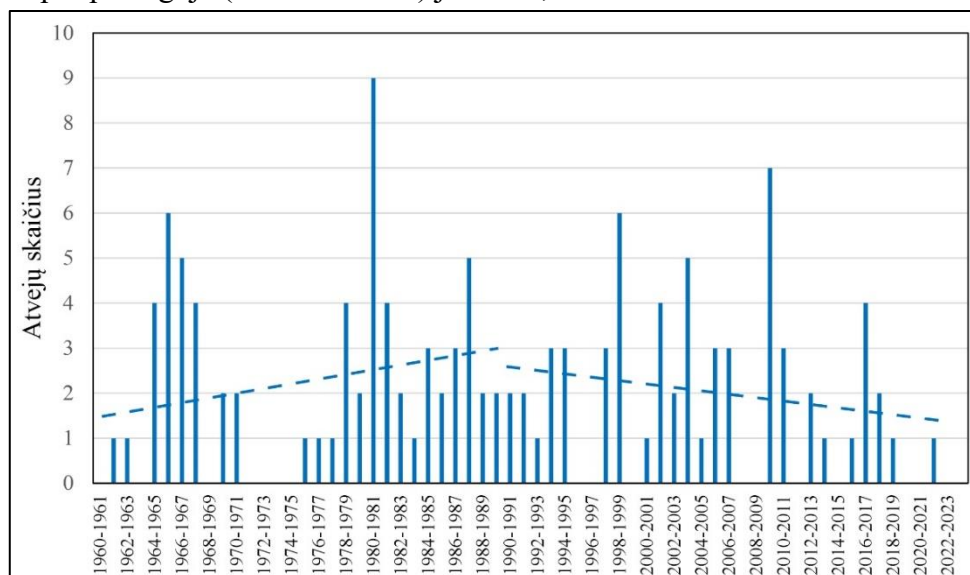
3.1.3.2 pav. Ledo sangrūdų trukmės rodiklių kaita tiriamose Lietuvos upėse

Laikantis metodikos (2.1 skyrius), kiekvienoje iš tiriamų upių buvo išrinkti atvejai, kada susiformavus sangrūdai viršytas kritinis vandens lygis. Apibendrinta informacija yra pateikta 3.1.3.1 lentelėje. Dalies tiriamų upių krantai yra statūs ir aukšti (remiantis LHMT 2023 m. hidrologiniam metraštyje pateikta informacija), todėl, net ir esant aukštam vandens lygiui, upės neišsilieja į salpą ir taip nesuformuoja pavojingų potvynių (pvz., Nemunas ties Druskininkais, Neris ties Jonava, Bartuva ties Skuodu, 3.1.3.1 lentelė). Vertinant didžiąsias Lietuvos upes (Nemuną ir Nerį), reikšmingi ledo sangrūdų potvyniai vyko tik Nemune ties Smalininkais, kur per visą stebėjimų laikotarpį buvo užfiksuota 16 atvejų, ir vienas atvejis Nemune ties Nemajūnais, kai esant ledo sangrūdams, buvo viršytas kritinis vandens lygis. Pastebėta, kad tose upėse, kuriose kritinis lygis yra žemas, ledo sangrūdų potvyniai buvo dažnesni, pvz., Šventojoje ties Anykščiais ir Lėvenyje ties Bernatoniais kritinis lygis atitinkamai siekia 150 cm ir 160 cm. Šiose upėse buvo nustatyta daugiausiai atvejų, kada esant ledo sangrūdams buvo viršytas kritinis lygis (Šventojoje 24, Lėvenyje 19 kartų). Nepaisant šitų atvejų, aiškos priklausomybės tarp kritinio vandens lygio ir jo viršijimo atvejų skaičiaus nenustatyta.

Per tiriamą laikotarpį vandens lygis sangrūdų metu daugiausiai pakildavo Jūroje ties Taurage – vidutiniškai iki 646 cm (1,40 karto viršydamas kritinį 460 cm lygį), ir Ventoje ties Leckava – iki 390 cm (1,39 karto viršydamas 280 cm kritinį lygį). Tokie kritinio vandens lygio viršijimai gali būti įtakoti vietinių fizinių–geografinių sąlygų, kadangi šių upių aukštupiai yra Vakarų Lietuvoje, kur iškrenta didžiausi kritulių kiekiai šalyje. Kritinis lygis daugiau kaip 1,30 karto buvo viršijamas ir Svyloje ties Guntauninkais (1,39 karto), Nemunėlyje ties Tabokine (1,37 karto), Lėvenyje ties Bernatoniais (1,35 karto), Dubysoje ties Lyduvėnais (1,30 karto).

Iš viso per 1960–2024 m. laikotarpį ledo sangrūdų metu tiriamose upėse vandens lygis pakilo aukščiau kritinio 128 kartus (3.1.3.1 lentelė). Lyginant klimato normų laikotarpius nustatyta, kad pirmuoju KNL tirtose upėse ledo sangrūdų potvyniai iš viso stebėti 69 kartus, o antruoju – 58 kartus (3.1.3.3 pav.). Ryškesni skirtumai nustatyti lyginant atskirus dešimtmečius. Patį pirmąjį tiriamo laikotarpio dešimtmetį minėti potvyniai stebėti 23 kartus (Ventoje ties Leckava po du kartus 1964–1965 ir 1965–1966 m. žiemomis), o antrąjį – 11 kartų. Trečiuoju dešimtmečiu kritinio vandens lygio viršijimo atvejai fiksuoti kasmet, iš viso nustatyti net 33 tokie atvejai (daugiausiai tarp dešimtmečių). 1980–1981 metų žiemą dėl sangrūdų vandens lygis viršijo kritinę vertę penkiose upėse, iš jų dviejose upėse – Nemune ties Smalininkais ir Šventojoje ties Anykščiais – vandens lygis virš kritinio pakilo du kartus, o Jūroje ties Taurage – net tris. Po du kartus vanduo į salpą išsiliejo Šventojoje ties Anykščiais bei Lėvenyje ties Bernatoniais ir 1987–1988 metų žiemą. Ketvirtuoju dešimtmečiu 7 metus stebėta 20 kritinio lygio viršijimo atvejų: 1991–1992, 1997–1998 ir 1998–1999 metų žiemomis Šventoji ties Anykščiais dėl ledo sangrūdų patvino po du kartus; du kritinio vandens lygio viršijimo atvejai 1998–1999 metais taip pat nustatyti Nemune ties Smalininkais. Penktąjį stebėjimų dešimtmetį ledo sangrūdų potvyniai fiksuoti 8 metus, viso 26 atvejai (daugiausiai, jei vertiname dešimtmečiais). 2009–2010 metų žiemą net septyniose tiriamose upėse buvo viršytas kritinis vandens lygis. 2003–2004 m. fiksuoti du Lėvens ties Bernatoniais išsiliejimo į salpą atvejai, o Nemune ties Smalininkais du tokie atvejai 2006–2007 metų žiemą. Paskutinį dešimtmetį kritinio vandens viršijimo atvejai fiksuoti 7 metus, bet sąlygos palankios sangrūdų potvyniui susidarė tik 14 kartų, iš jų du kartus 2016–2017 m. žiemą Šventojoje ties Anykščiais. Naujausi turimi duomenys (2020–2024 m.) rodo tik vieną ledo sangrūdų potvynį Šventojoje ties Anykščiais 2021–2022 metų žiemą.

Apibendrinus rezultatus nustatyta, kad pirmuoju KNL ledo sangrūdų sukeltų potvynių didėjo, o antruoju – mažėjo (3.1.3.3 pav.). Vertinant visą laikotarpį nustatyta ledo sangrūdų sukeltų potvynių mažėjimo tendencija: laikotarpio pradžioje (1960–1961 m.) per metus tokių atvejų buvo 2,4, o laikotarpio pabaigoje (2023–2024 m.) jau tik 1,6.



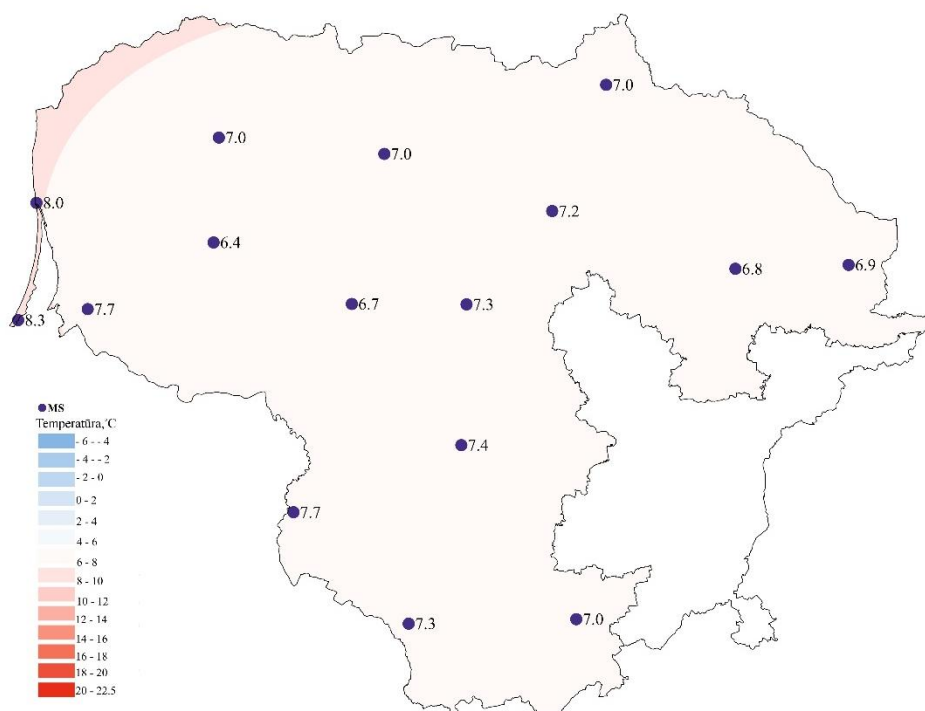
3.1.3.3 pav. Atvejų skaičius, kai esant ledo sangrūdams buvo viršytas kritinis vandens lygis tiriamose Lietuvos upėse

3.2. Oro temperatūros (T, °C), kritulių (K, mm) bei bendro nuotėkio (BN, mm) pokyčiai artimoje (2031–2050 m.) ir tolimoje (2081–2100 m.) perspektyvoje pagal optimistinį (SSP2-4.5) bei pesimistinį (SSP5-8.5) scenarijus

Pasirinktos meteorologijos stotys atspindi keturis pagrindinius Lietuvos regionus. Pirmasis, Pajūrio regionas, apima teritoriją prie Baltijos jūros, todėl atspindi jūrinį klimatą, su palyginti nedidele temperatūros svyravimų amplitude (švelnesnėmis žiemomis, vėsesnėmis vasaromis), dažnesniais ir intensyvesniais krituliais rudenį. Atramine šio regiono stotimi pasirinkome Klaipėdos MS. Antrasis, Vakarų Lietuvos regionas, apima Žemaitiją ir Žemaičių aukštumas, išsiskiria kaip vienas drėgniausių šalies regionų, nes minėtos aukštumos sulaiko nuo jūros atslinkusias drėgno oro mases, čia drėgmė kondensuojasi ir iškrinta kritulių pavidalu. Laukuvos MS pasirinkome kaip geriausiai reprezentuojančią šį regioną. Trečiasis, Vidurio Lietuvos regionas, apima vidurio žemumas, kur orai atspindi pereinamojo tarp jūrinio ir žemyninio klimato bruožus, su vidutiniais Lietuvoje kritulių kiekiais ir didesne temperatūros svyravimų amplitude negu pajūryje, bet mažesne lyginant su Rytų ir pietryčių regionu. Vidurio Lietuvos regioną šioje studijoje reprezentuoti pasirinkome geografiniame šalies centre esančią Dotnuvos MS. Ketvirtasis, Rytų ir pietryčių Lietuvos regionas, apimantis Aukštaitiją ir Dzūkiją, yra labiausiai nutolęs nuo Baltijos jūros ir todėl turi daugiausiai žemyninio klimato bruožų; lyginant su likusia šalies teritorija, žiemos čia šaltesnės, vasaros šiltesnės. Šiam regionui reprezentuoti pasirinkome dvi atramines meteorologijos stotis. Pirmoji, Dūkšte, yra labiausiai į rytus nutolusi ir dažnai žemiausias žiemos temperatūras fiksuojanti stotis, o antroji – Varėnoje, pietinėje šalies dalyje.

3.2.1. Oro temperatūros pasiskirstymas istoriniu laikotarpiu

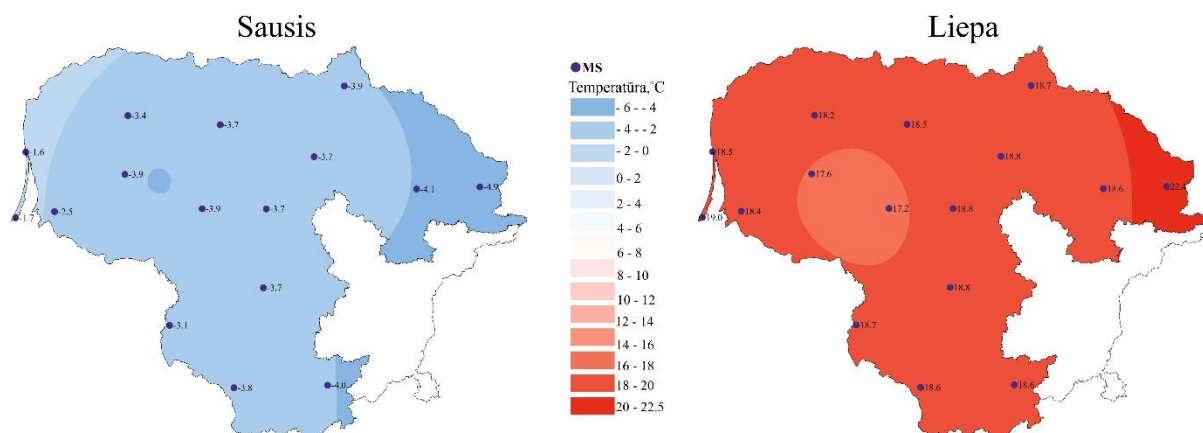
Vidutinė metinė oro temperatūra (T) Lietuvos teritorijoje (apskaičiuota pagal 16 MS) 1995–2014 m. stebėjimo laikotarpiu, kurį AR6 ataskaitos rengėjai rekomenduoja naudoti kaip bazinį ir su kuriuo lyginami gauti rezultatai, buvo 7,2 °C (3.2.1.1 pav., 3.2.1.1 lentelė, 3 priedo, 3.1–3.2 pav.). Aukščiausiomis metinėmis vertėmis išsiskiria Pajūrio regione esančios Nidos (8,3 °C) ir Klaipėdos (8,0 °C) meteorologijos stotys. Žemiausios metinės T, apskaičiuotos pagal Vakarų regione esančios Laukuvos (6,4 °C) ir Vidurio regione esančios Raseinių (6,7 °C) MS stebėjimo duomenis (3 priedo 3.1–3.2 pav.). Šilčiausias mėnuo pagal visų meteorologijos stočių duomenis yra liepa (18,7 °C), o šalčiausias – sausis (-3,5 °C) (3.2.1.2 pav.). Žiemos mėnesiais (gruodį, sausį, vasarį) stebimi didžiausi oro temperatūros skirtumai: aukščiausia T būdinga Pajūrio regionui (-1,2 °C), tolstant į rytus ji palaipsniui žemėja, o Rytų ir pietryčių regione siekia -3,5 °C. Pavasario mėnesiais (kovą, balandį, gegužę) didelių skirtumų tarp atskirų regionų nenustatyta, vidutinė mėnesio T šiuo sezonu svyruoja 6,1 ir 6,9 °C ribose. Kontrastai tarp skirtingų regionų šiek tiek padidėja vasarą (birželio, liepos, rugpjūčio mėnesiais): Vakarų regiono meteorologijos stotyse mėnesinė T būna mažiausia, 16,6 °C, o Rytų ir pietryčių regione pakyla iki 17,6 °C. Vidutinės rudens mėnesių (rugsėjo, spalio, lapkričio) oro temperatūros pasižymi dar didesniais kontrastais nei vasarą: vis dar įšilusi jūra ir marios lemia aukščiausias šio sezono mėnesio T Pajūrio regione (8,9 °C), o labiausiai oras atvėsta Vakarų regione (iki 7,0 °C).



3.2.1.1 pav. Vidutinė metinė oro temperatūra Lietuvoje 1995–2014 m.

3.2.1.1 lentelė. Vidutinės metinės ir mėnesinės oro temperatūros (°C) tirtose meteorologijos stotyse 1995–2014 m. laikotarpiu

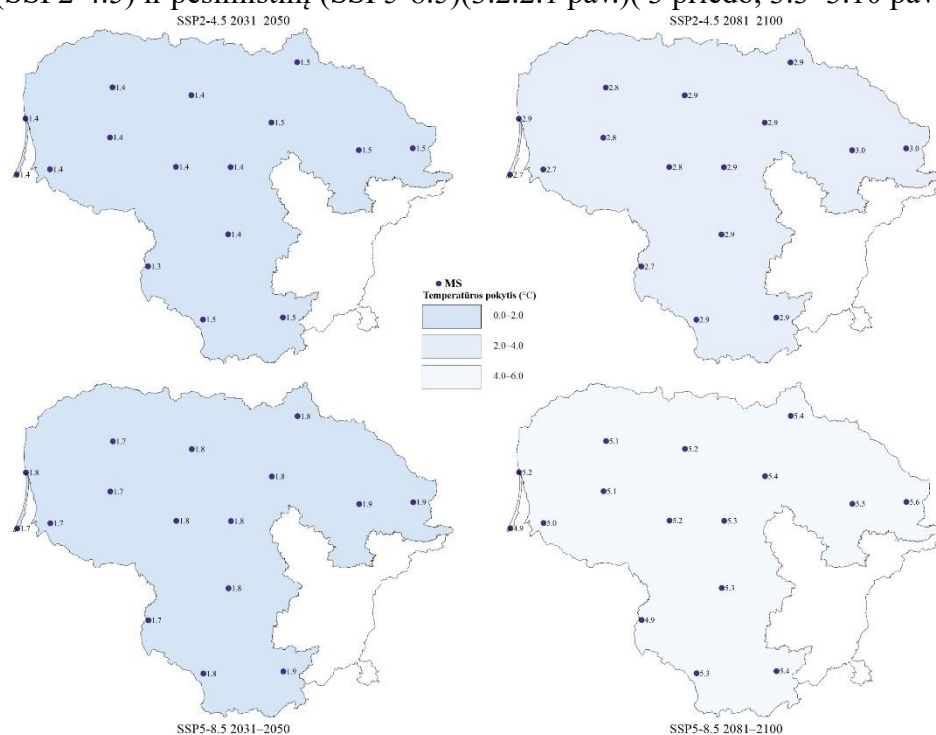
Mėnuo	Meteorologijos stotis																VIDURKIS
	Klaipėda	Nida	Šilutė	Telšiai	Laukuva	Biržai	Šiauliai	Panevėžys	Raseiniai	Dotnuva	Kaunas	Kybartai	Utena	Dūkštas	Varėna	Lazdijai	
Sausis	-1,6	-1,7	-2,5	-3,4	-3,9	-3,9	-3,7	-3,7	-3,9	-3,7	-3,7	-3,1	-4,1	-4,9	-4,0	-3,8	-3,5
Vasaris	-1,3	-1,5	-1,8	-2,9	-3,3	-3,7	-3,2	-3,3	-3,3	-3,1	-2,9	-2,2	-3,7	-4,5	-3,1	-2,8	-2,9
Kovas	1,3	1,2	1,2	0,3	-0,2	0,1	0,2	0,5	0,2	0,6	0,8	1,2	0,1	-0,5	0,5	0,8	0,5
Balandis	6,6	6,8	7,3	6,7	6,4	7,2	7,0	7,4	6,9	7,6	7,7	7,8	7,2	7,0	7,3	7,7	7,2
Gegužė	11,5	12,1	12,3	12,0	11,0	12,6	12,4	12,8	12,1	12,9	13,0	13,0	12,5	12,4	12,8	12,9	12,4
Birželis	15,2	15,8	15,6	15,4	14,8	16,1	15,8	16,2	15,3	16,2	16,2	16,1	16,0	15,9	16,2	16,0	15,8
Liepa	18,5	19,0	18,4	18,2	17,6	18,7	18,5	18,8	17,2	18,8	18,8	18,7	18,6	22,4	18,6	18,6	18,7
Rugpjūtis	18,3	19,0	17,7	17,2	16,6	17,4	17,5	17,6	17,0	17,7	17,7	17,8	17,2	17,0	17,2	17,5	17,5
Rugsėjis	14,0	14,7	13,1	12,4	11,4	12,3	12,5	12,5	12,2	12,7	12,7	13,0	11,9	13,7	12,1	12,5	12,7
Spalis	9,0	9,4	8,1	7,3	6,6	6,9	7,2	7,2	6,9	7,4	7,4	8,0	6,8	6,5	7,0	7,4	7,4
Lapkritis	4,3	4,4	3,4	2,5	2,0	2,2	2,4	2,4	2,2	2,5	2,6	3,2	2,2	1,5	2,4	2,6	2,7
Gruodis	0,4	0,1	-1,0	-1,7	-2,0	-2,3	-2,0	-2,1	-2,3	-2,0	-2,0	-1,4	-2,9	-3,2	-2,5	-2,1	-1,8
METAİ	8,0	8,3	7,7	7,0	6,4	7,0	7,0	7,2	6,7	7,3	7,4	7,7	6,8	6,9	7,0	7,3	7,2



3.2.1.2 pav. Vidutinė sausio ir liepos mėnesių oro temperatūra (T , $^{\circ}\text{C}$) 1995–2014 m. laikotarpiu

3.2.2. Oro temperatūros projekcijos artimoje ir tolimoje perspektyvoje

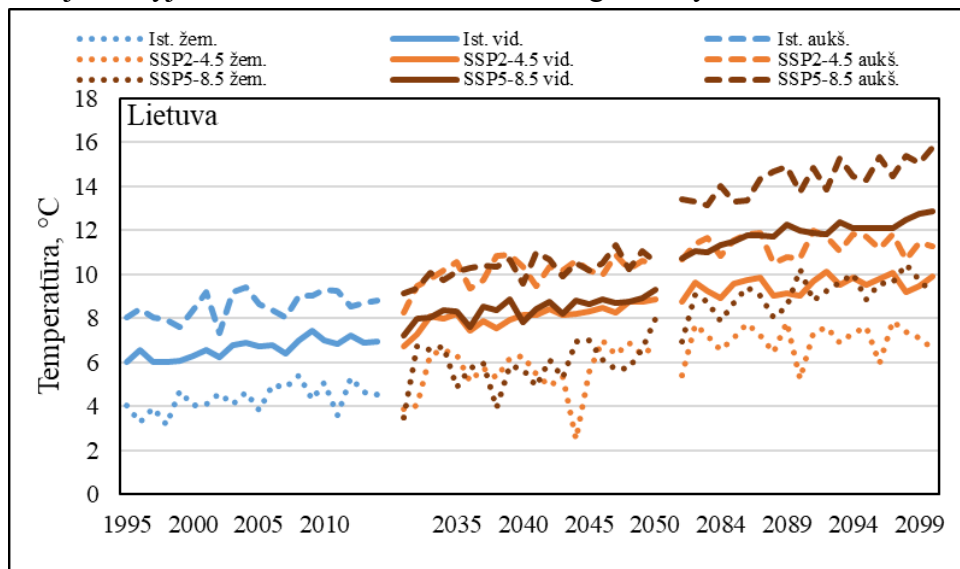
Oro temperatūros (T) pokyčiai artimoje (2031–2050 m.) ir tolimoje (2081–2100 m.) perspektyvoje lyginant su istoriniu laikotarpiu (1995–2014 m.) buvo vertinami naudojant 10 GKM ansamblio išvesties duomenis pagal du bendruosius socio-ekonominių pokyčių scenarijus: optimistinį (SSP2-4.5) ir pesimistinį (SSP5-8.5)(3.2.2.1 pav.)(3 priedo, 3.3–3.10 pav.).



3.2.2.1 pav. Oro temperatūros pokyčiai ($^{\circ}\text{C}$) artimoje ir tolimoje perspektyvoje lyginant su modelių istoriniu laikotarpiu

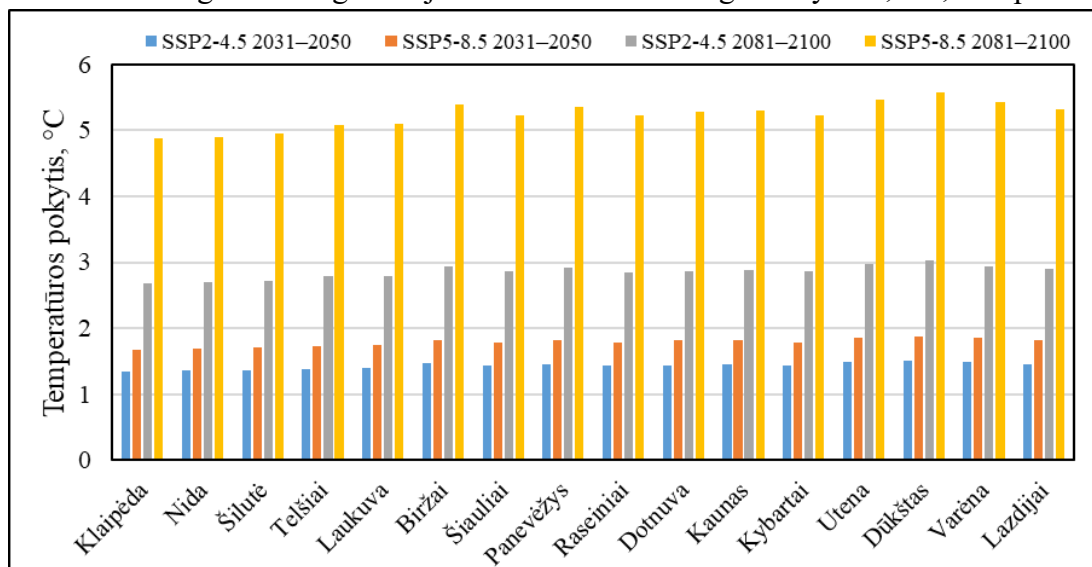
3.2.2.2 paveiksle pavaizduota 10 GKM ansamblio vidutinė metinė oro temperatūra Lietuvoje ir jos kintamumo ribos – žemiausia (Žem.) ir aukščiausia (Aukš.) vidutinė T . Pažymėtina, kad minėtos ribos nėra atskirų modelių ekstremalios (min ir max) reikšmės, o žemiausia ir aukščiausia vidutinė oro temperatūra pagal visų 10 modelių ansamblio išvesties duomenis. Tiek modelių

istoriniam (Ist.), tiek ateities laikotarpiams apskaičiuota vidutinė metinė T stabiliai auga. Didžiausias svyravimų diapazonas prognozuojamas aukščiausiai vidutinei ir ypač žemiausiai vidutinei oro temperatūrai. Pirmuoju analizuojamu ateities laikotarpiu skirtingų scenarijų prognozės yra labai panašios, tuo tarpu antruoju T vertės įvertintos pagal SSP5-8.5 scenarijų yra žymiai didesnės. 3.2.2.2 paveikslas rodo, kad 2081–2100 metų laikotarpiu pagal SSP5-8.5 scenarijų prognozuojama vidutinė metinė T gali siekti net 12–13 °C ir ji yra didesnė negu 2031–2050 metais, pagal abu scenarijus prognozuojamos aukščiausios oro temperatūros vertės. Pagal pesimistinį scenarijų tolimoje ateityje aukščiausia vidutinė metinė T gali viršyti 15 °C.



3.2.2.2 pav. Vidutinės metinės oro temperatūros prognozė Lietuvoje

Vidutinės metinės T prognozė skirtingose šalies vietose (meteorologijos stotyse) pavaizduota 3.2.2.3 paveiksle (3 priedas, 3.11 pav.). Artimoje perspektyvoje pagal abu scenarijus neturėtų įvykti didelio metinės T augimo. Prognozuojamas šio rodiklio augimas yra 1,3–1,5 laipsniai pagal



3.2.2.3 pav. Vidutinės metinės oro temperatūros augimo prognozė tiriamose meteorologijos stotyse lyginant su GKM ansamblio vidurkių istoriniu (1995–2014 m.) laikotarpiu

SSP2-4.5 scenarijų ir 1,7–1,9 laipsniai pagal SSP5-8.5 scenarijų. Vėlesniu laikotarpiu (2081–2100 m.) numatomas žymiai didesnis T augimas, su kardinaliais pokyčiais pesimistinio scenarijaus atveju: pagal pirmojo (optimistinio) scenarijaus vertinimą vidutinės metinės T didėjimas artės prie 3 °C ribos, o pagal antrąjį (pesimistinį) scenarijų visur, išskyrus Pajūrio regioną, viršys 5 °C.

Pagal abu scenarijus ir abiem ateities laikotarpiais metinė T turėtų didėti tolstant iš vakarų į rytus. Mažiausi pokyčiai numatomi Pajūrio regione esančioje Klaipėdos MS, o didžiausi – labiausiai į rytus nutolusioje Dūkšto MS, kas rodo, jog mažesnis atstumas nuo Baltijos jūros lems ir mažesnę orų įšilimą (kitais negu tolstant į rytus ir stiprėjant žemyninio klimato bruožams).

Lyginant metodikoje nurodytų atraminių meteorologijos stočių metinės oro temperatūros (T) vertes, prognozuotas modelių istoriniu bei artimos ir tolimos perspektyvos laikotarpiais pagal abu scenarijus (3.2.2.1 lentelė), nustatyta, kad žemiausia oro temperatūra būdinga Laukuvai, o aukščiausia Varėnai. Mažiausi oro temperatūros pokyčiai tarp modelių istorinio ir ateities laikotarpių nustatyti naudojant pajūryje esančios Klaipėdos MS duomenis, o didžiausi pokyčiai fiksuoti šalies rytuose esančioje Dūkšto MS.

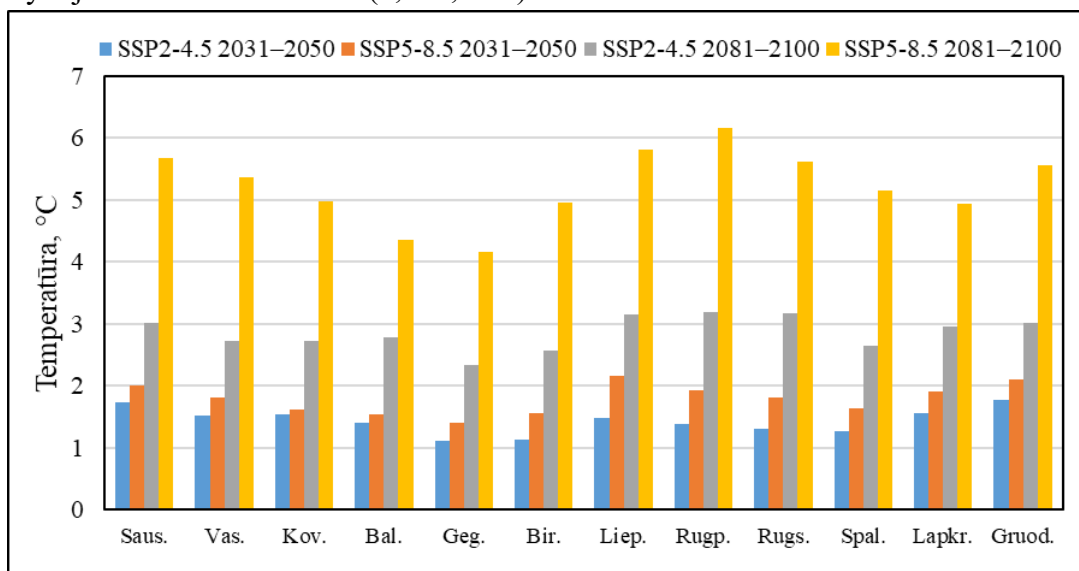
3.2.2.1 lentelė. Vidutinės metinės oro temperatūros augimo prognozė atraminėse meteorologijos stotyse

Rodiklis	Laikotarpis ir scenarijus		Atraminės MS				
			Dotnuva	Dūkštas	Klaipėda	Laukuva	Varėna
Ansamblio žemiausia	1995–2014*		4,7	4,9	3,7	3,3	4,7
	2031–2050	SSP2-4.5	6,0	6,1	5,0	4,7	6,0
		SSP5-8.5	6,2	6,4	5,2	4,8	6,3
	2081–2100	SSP2-4.5	7,4	7,2	6,5	6,0	7,3
		SSP5-8.5	9,4	9,8	8,3	8,0	9,5
Ansamblio vidurkis	1995–2014*		6,9	6,6	6,4	5,6	6,9
	2031–2050	SSP2-4.5	8,4	8,1	7,8	7,0	8,4
		SSP5-8.5	8,7	8,5	8,1	7,4	8,8
	2081–2100	SSP2-4.5	9,8	9,6	9,1	8,4	9,9
		SSP5-8.5	12,2	12,1	11,3	10,7	12,3
Ansamblio aukščiausia	1995–2014*		8,8	8,2	8,9	7,7	8,7
	2031–2050	SSP2-4.5	10,3	9,9	10,3	9,0	10,4
		SSP5-8.5	10,5	10,1	10,6	9,2	10,5
	2081–2100	SSP2-4.5	11,5	11,7	11,2	10,1	11,7
		SSP5-8.5	14,6	14,1	14,1	13,1	14,8

* – modelių istorinis laikotarpis

Vertinant prognozuojamą vidutinės mėnesio oro T kaitą Lietuvoje (3.2.2.4 pav.) visais pjūviais (pagal scenarijus ir laikotarpius), mažiausi pokyčiai (lyginant su modelių istoriniu laikotarpiu) prognozuojami gegužės mėnesį (pakils nuo 1,1 iki 4,1 °C). Daugiausiai oro temperatūra artimoje perspektyvoje pagal SSP2-4.5 scenarijų turėtų kilti gruodžio mėnesį (1,8 °C), o pagal SSP5-8.5 scenarijų – liepos mėnesį (2,2 °C). Tolimoje perspektyvoje didžiausi pokyčiai turėtų būti stebimi rugpjūtį: pagal optimistinį scenarijų šio mėnesio T pakils 3,2 °C, o pagal pesimistinį – net 6,2 °C lyginant su modelių istoriniu laikotarpiu. Grupuojant mėnesius sezonais ir

lyginant su modelių istoriniu laikotarpiu nustatyta, kad 2031–2050 metų laikotarpiu pagal optimistinį scenarijų mažiausiai orai šils vasaros mėnesiais (vidutiniškai 1,3 °C), o pagal pesimistinį scenarijų – pavasario mėnesiais (vidutiniškai 1,5 °C). Tolimoje perspektyvoje (2081–2100 m.) pagal abu scenarijus mažiausių pokyčių tikimasi pavasario mėnesiais (2,6–4,5 °C). Labiausiai oro temperatūra artimoje perspektyvoje turėtų augti žiemos mėnesiais (1,7–2,0 °C), o tolimoje perspektyvoje – vasaros mėnesiais (3,0–5,7 °C).



3.2.2.4 pav. Mėnesio oro temperatūros augimo prognozė (pokytis (°C) lyginant su GKM istoriniu laikotarpiu)

Analizuojant atraminių meteorologijos stočių mėnesinės oro temperatūros prognozių duomenis (3 priedo 3.3–3.10 paveikslai, 3.2.2.2 lentelė), visais atvejais gegužė išsiskiria kaip mažiausius T pokyčius patiriantis mėnuo. Artimoje perspektyvoje (2031–2050 m.) pagal SSP2-4.5 scenarijų didžiausi pokyčiai prognozuojami žiemos mėnesiais (gruodį ir sausį), o pagal SSP5-8.5 scenarijų – liepą (Klaipėdos, Laukuvos, Dotnuvos ir Varėnos MS) ir gruodį (Dotnuvos ir Dūkšto MS). Tolimoje perspektyvoje (2081–2100 m.) pagal abu scenarijus T labiausiai augs rugpjūčio mėnesį visose atraminėse meteorologijos stotyse, išskyrus Dūkšto MS. Pastarojoje stotyje 2081–2100 m. laikotarpiu pagal SSP5-8.5 scenarijų oro temperatūra žymiausiai turėtų kilti sausio mėnesį – net iki 6,5 °C. Pagal pesimistinį scenarijų prognozuojami pokyčiai amžiaus pabaigoje rodo, kad net šalčiausio mėnesio vidutinė T taps teigiama visoje šalies teritorijoje.

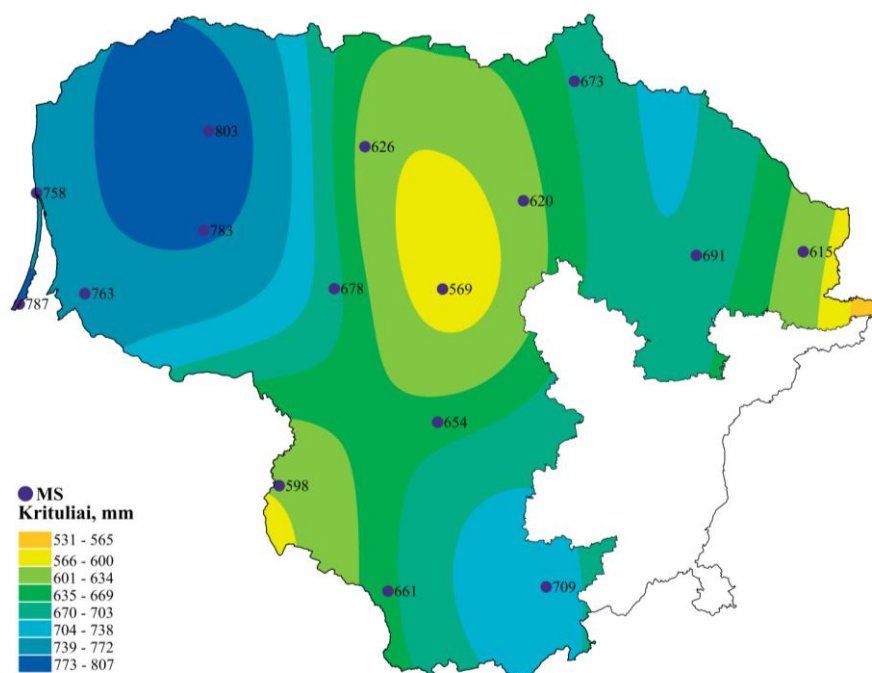
3.2.2.2 lentelė. Vidutinės mėnesinės oro temperatūros augimo prognozė atraminėse MS

MS	Laikotarpis ir scenarijus		Mėnesis												METAI
			Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis	
Klaipėda	2031–2050	SSP2-4.5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,4	1,3	1,3	1,2	1,4	1,6	1,3
		SSP5-8.5	1,8	1,7	1,4	1,4	1,4	1,6	2,0	1,7	1,7	1,6	1,8	1,9	1,7
	2081–2100	SSP2-4.5	2,7	2,4	2,4	2,6	2,4	2,6	3,0	3,0	3,0	2,6	2,8	2,8	2,7
		SSP5-8.5	5,0	4,8	4,5	4,2	4,2	4,8	5,4	5,6	5,3	4,9	4,6	5,0	4,9

Laukuva	2031–	SSP2-4.5	1,6	1,5	1,5	1,4	1,1	1,1	1,4	1,3	1,3	1,2	1,5	1,7	1,4
	2050	SSP5-8.5	2,0	1,8	1,5	1,5	1,4	1,5	2,1	1,8	1,8	1,6	1,9	2,0	1,7
	2081–	SSP2-4.5	2,9	2,6	2,6	2,7	2,3	2,5	3,1	3,2	3,2	2,6	2,9	3,0	2,8
	2100	SSP5-8.5	5,5	5,2	4,8	4,2	4,1	4,9	5,7	6,1	5,6	5,1	4,8	5,4	5,1
Dotnuva	2031–	SSP2-4.5	1,8	1,6	1,6	1,4	1,0	1,1	1,5	1,4	1,3	1,3	1,6	1,8	1,4
	2050	SSP5-8.5	2,1	1,9	1,6	1,5	1,3	1,5	2,2	2,0	1,8	1,6	1,9	2,2	1,8
	2081–	SSP2-4.5	3,2	2,8	2,8	2,8	2,2	2,5	3,1	3,2	3,2	2,6	3,0	3,1	2,9
	2100	SSP5-8.5	5,9	5,5	5,1	4,3	4,0	4,9	5,9	6,3	5,7	5,2	5,0	5,7	5,3
Varėna	2031–	SSP2-4.5	1,8	1,6	1,6	1,4	1,0	1,2	1,6	1,5	1,4	1,3	1,6	1,8	1,5
	2050	SSP5-8.5	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,6	2,3	2,1	1,9	1,6	1,9	2,2	1,9
	2081–	SSP2-4.5	3,2	2,9	2,8	2,8	2,3	2,6	3,3	3,4	3,3	2,7	3,0	3,1	2,9
	2100	SSP5-8.5	5,9	5,6	5,2	4,4	4,1	5,1	6,2	6,6	5,9	5,3	5,0	5,7	5,4
Dūkštas	2031–	SSP2-4.5	2,0	1,6	1,7	1,5	1,1	1,1	1,6	1,4	1,3	1,3	1,6	2,1	1,5
	2050	SSP5-8.5	2,2	1,8	1,8	1,7	1,4	1,6	2,2	2,0	1,9	1,6	2,0	2,4	1,9
	2081–	SSP2-4.5	3,4	3,0	3,0	3,1	2,4	2,6	3,3	3,3	3,3	2,7	3,1	3,3	3,0
	2100	SSP5-8.5	6,5	6,0	5,6	4,7	4,2	5,0	6,1	6,4	5,9	5,3	5,1	6,2	5,6

3.2.3. Kritulių pasiskirstymas istoriniu laikotarpiu

Vidutinis metinis kritulių kiekis (K) skirtingose Lietuvos meteorologijos stotyse paprastai svyruoja nuo 600 iki 800 mm (3.2.3.1 pav., 3.2.3.1 lentelė, 4 priedo 4.1–4.2 pav.). Remiantis 1995–2014 m. laikotarpio stebėjimo duomenimis, didžiausiu metiniu kritulių kiekiu pasižymi Pajūrio ir Vakarų regionai (Telšių MS iškrinta daugiausiai – 803 mm per metus), kurių specifinė geografinė padėtis (jūros ir marių artumas bei aukštumos sulaikančios drėgno jūrinio oro mases) lemia drėgniausius orus šalyje. Mažiausiai kritulių per metus sulaukiama Vidurio Lietuvoje (Dotnuvos MS – tik 570 mm).



3.2.3.1 pav. Vidutinio metinio kritulių kiekio pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje

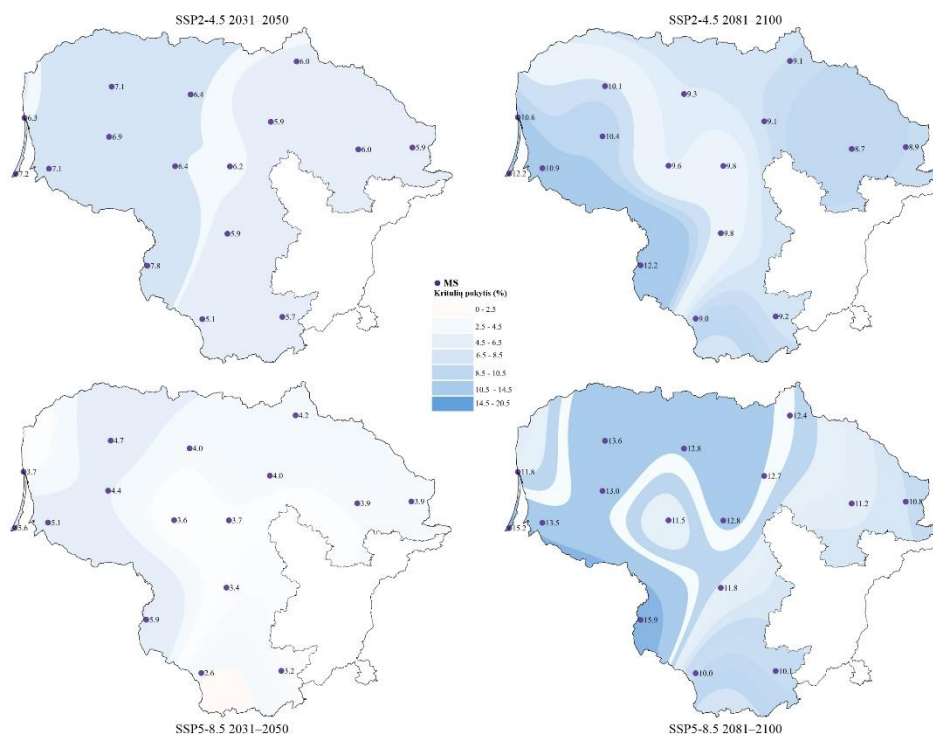
Jei vertiname sezonais, matome, kad sausiausi orai būdingi pavasariui (išskyrus Rytų ir pietryčių regioną, kur mažiausiai kritulių iškrinta žiemą), o drėgniausias sezonas yra vasara (išskyrus Pajūrio regioną, kur gausiausiai lyja rudens mėnesiais). Sausiausias mėnuo pagal visų 16 meteorologijos stočių duomenis yra balandis (34,5 mm), o drėgniausias – liepa (84,4 mm). Pajūrio ir Vakarų regionuose sausiausi orai stebimi balandžio mėnesį, tuo tarpu likusioje šalies dalyje mažiausiai kritulių paprastai iškrinta kovo mėnesį. Panašūs regioniniai skirtumai nustatyti ir vertinant drėgniausius mėnesius. Pajūrio ir Vakarų regionuose didžiausi kritulių kiekiai stebimi spalio arba rugpjūčio mėnesiais, o kituose regionuose – dažniausiai liepą.

3.2.3.1 lentelė. Vidutinis metinis ir mėnesinis kritulių kiekis, stebėtas tiriamose meteorologijos stotyse 1995–2014 m. laikotarpiu

Mėnuo	Meteorologijos stotis																VIDURKIS
	Klaipėda	Nida	Šilutė	Telšiai	Laukuva	Biržai	Šiauliai	Panevėžys	Raseiniai	Dotnuva	Kaunas	Kybartai	Utena	Dūkštas	Varėna	Lazdijai	
Sausis	62,0	58,5	51,9	64,5	61,9	45,4	40,2	38,0	50,4	36,2	45,8	38,4	44,7	36,6	48,9	41,4	47,8
Vasaris	45,1	46,8	41,9	52,9	46,1	42,6	32,5	33,4	39,1	30,5	37,7	39,1	43,8	37,3	46,6	39,8	41,0
Kovas	38,3	39,2	36,8	43,3	41,8	36,7	30,8	33,1	37,5	27,7	35,7	33,3	36,4	33,3	37,4	35,0	36,0
Balandis	29,1	33,8	31,1	35,7	33,9	36,7	31,9	37,3	31,6	29,7	35,8	30,9	38,3	34,6	42,1	39,2	34,5
Gegužė	40,4	46,4	41,0	47,1	48,1	57,2	50,2	57,1	55,2	51,0	58,3	47,4	65,8	64,2	70,5	61,3	53,8
Birželis	58,2	68,0	70,9	75,6	72,5	81,7	73,5	69,2	67,3	61,2	69,8	69,6	81,9	76,3	76,2	76,5	71,8
Liepa	71,0	73,6	86,6	87,7	84,0	84,2	87,1	86,5	84,7	83,8	89,7	86,6	76,8	71,5	93,4	103,3	84,4
Rugpjūtis	90,7	93,0	92,9	88,7	97,5	66,1	70,3	67,6	78,5	69,7	81,9	72,2	87,5	69,8	88,7	71,8	80,4
Rugsėjis	71,9	78,6	79,4	66,5	71,9	49,2	46,7	45,3	53,4	42,2	49,6	48,3	52,3	47,3	51,1	55,8	56,8
Spalis	96,0	94,7	89,9	92,0	89,8	69,5	68,0	60,5	71,3	53,0	60,8	52,7	65,2	58,0	58,2	51,3	70,7
Lapkritis	78,2	81,4	73,0	67,0	69,8	54,1	49,9	49,3	57,4	42,6	47,1	40,5	51,8	42,7	46,6	43,1	55,9
Gruodis	77,0	72,9	67,7	81,8	66,0	49,9	44,9	43,3	51,5	41,9	42,1	38,8	46,7	43,3	49,4	42,6	53,7
METAI	758	787	763	803	783	673	626	621	678	570	655	598	691	615	709	661	687

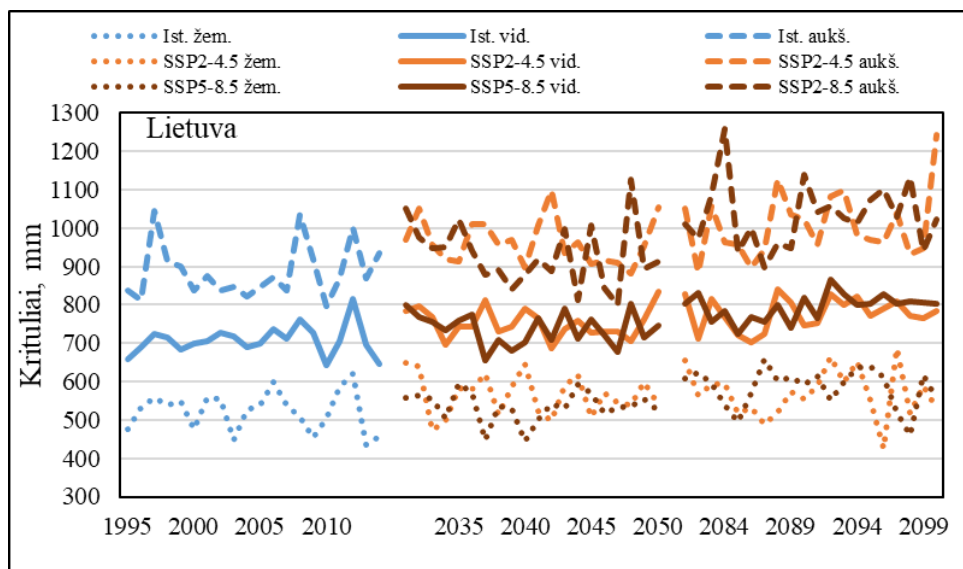
3.2.4. Kritulių projekcijos artimoje ir tolimoje perspektyvoje

Kritulių kiekio (K) pokyčiai artimoje (2031–2050 m.) ir tolimoje (2081–2100 m.) perspektyvoje vertinti naudojant 10 GKM ansamblio išvesties duomenis pagal optimistinį (SSP2-4.5) ir pesimistinį (SSP5-8.5) scenarijus. Gauti rezultatai palyginti su klimato modelių išvesties duomenimis istoriniam laikotarpiui (3.2.4.1 pav.) (4 priedo 4.3–4.10 pav.).



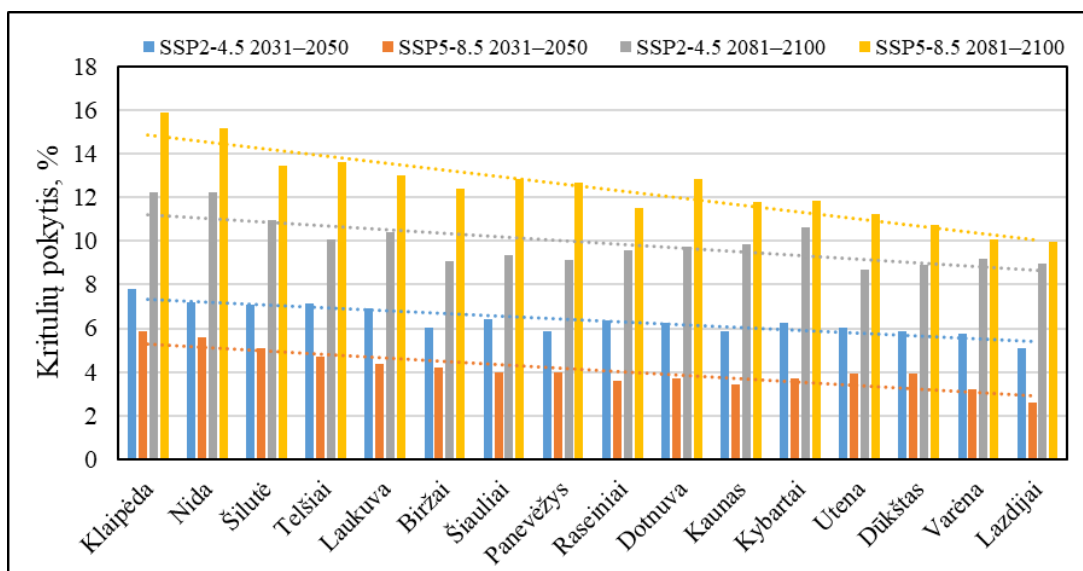
3.2.4.1 pav. Vidutinio metinio kritulių kiekio pokyčiai (%) artimoje ir tolimoje perspektyvoje lyginant su modelių istoriniu laikotarpiu

3.2.4.2 paveiksle pavaizduota metinio K vidurkio ir jo kintamumo ribų kaita Lietuvoje pagal 10 GKM duomenis. Tiek modelių istoriniu, tiek ateities laikotarpiais šie rodikliai nuosekliai pamažu auga. Didžiausias svyravimų diapazonas būdingas ribinėms vertėms; šis diapazonas laikui bėgant didės. Svarbu pastebėti, kad artimoje perspektyvoje visų prognozuojamų K rodiklių vertės turėtų būti didesnės optimistinio scenarijaus atveju, o tolimoje perspektyvoje, atvirkščiai, didesnės K vertės prognozuojamos pagal pesimistinį scenarijų (kaip ir oro temperatūros atveju) (3.2.4.1 pav.).



3.2.4.2 pav. Vidutinio metinio kritulių kiekio kaita Lietuvoje (pagal 16 MS matavimus)

Vidutinio metinio kritulių kiekio (K) augimo prognozė skirtingose šalies vietose (meteorologijos stotyse) pavaizduota 3.2.4.3 paveiksle. Kaip jau minėta, mažiausi kritulių kiekio pokyčiai 2031–2050 m. laikotarpiu prognozuojami pesimistinio SSP5-8.5 scenarijaus atveju: K didės 2,6–5,9 % skirtingose meteorologijos stotyse. Pagal optimistinį SSP2-4.5 scenarijų prognozuojamas K augimas svyruos 5,1–7,8 % ribose. Tolimoje perspektyvoje SSP2-4.5 atveju kritulių daugės nuo 9,0 iki 12,2 %, o SSP5-8.5 atveju – nuo 10,0 iki 15,9 %. Labiausiai K didės Klaipėdos MS, o mažiausiai – Lazdijų MS. Analizuojant prognozuojamo metinio kritulių kiekio augimą galima pastebėti, kad tolstant nuo pajūrio į šalies rytus šis augimas mažės.



3.2.4.3 pav. Vidutinio metinio kritulių kiekio augimo prognozė

Analizuojant pasirinktų atraminių meteorologijos stočių metinio kritulių kiekio (K) vertes, prognozuotas modelių istoriniu bei ateities laikotarpiais pagal SSP scenarijus (4 priedo 4.3–4.11 pav., 3.2.4.1 lentelė). Nustatyta, kad mažiausios P vidurkio ir jo apatinių bei viršutinių ribų vertės bus būdingos Dotnuvos MS, o didžiausios – Laukuvos MS. Tačiau vertinant kritulių kiekio pokyčio dydį (tarp modelių istorinio ir ateities laikotarpių), nustatyta, kad labiausiai K vidutinės ir apatinės vertės padidės Klaipėdos MS, o mažiausiai didės Varėnos MS. Tuo tarpu viršutinėms vidurkio riboms aiškių kitimo tendencijų nenustatyta.

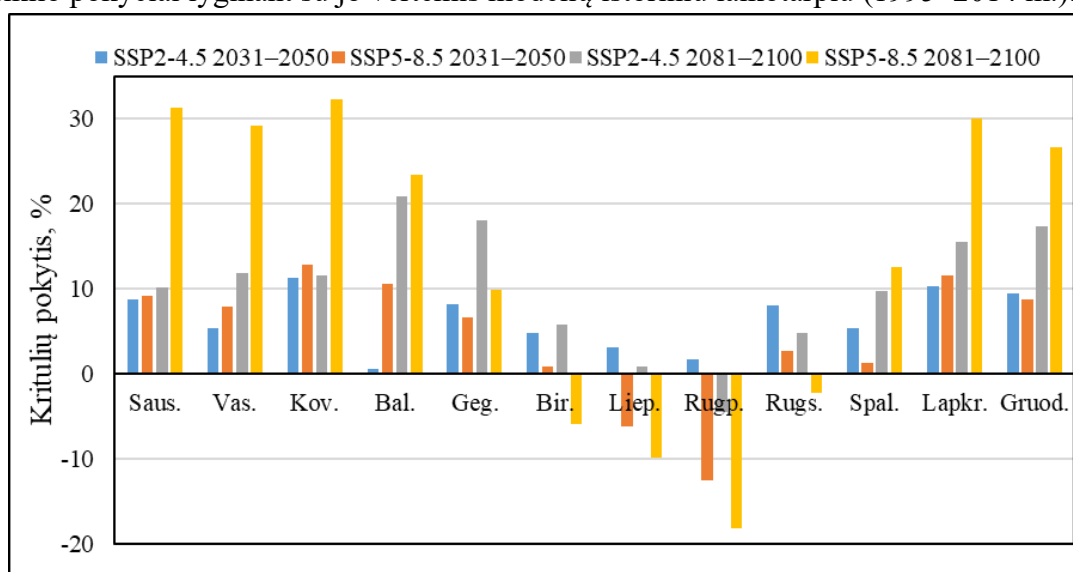
3.2.4.1 lentelė. Vidutinio metinio kritulių kiekio kaitos prognozė atraminėse meteorologijos stovyse

Rodiklis	Laikotarpis ir scenarijus		Atraminės MS				
			Dotnuva	Dūkštas	Klaipėda	Laukuva	Varėna
Ansamblio žemiausias	1995–2014*		439	459	573	591	555
	2031–2050	SSP2-4.5	477	489	638	655	577
		SSP5-8.5	451	472	603	612	543
	2081–2100	SSP2-4.5	479	484	656	662	576
		SSP5-8.5	490	498	695	688	587
Ansamblio vidurkis	1995–2014*		598	631	779	806	731
	2031–2050	SSP2-4.5	635	668	840	862	773
		SSP5-8.5	620	656	824	841	755

Ansamblio aukščiausias	2081– 2100	SSP2-4.5	656	687	874	890	798
		SSP5-8.5	675	699	902	911	805
	1995–2014*		756	797	970	1009	910
	2031– 2050	SSP2-4.5	814	871	1054	1079	1010
		SSP5-8.5	777	847	1025	1037	957
	2081– 2100	SSP2-4.5	861	898	1123	1149	1026
		SSP5-8.5	880	906	1163	1178	1058

* – modelių istorinis laikotarpis.

Mėnesinio kritulių kiekio prognozės rodo (3.2.4.4 paveikslas), kad šis rodiklis (lyginant su jo vertėmis modelių istoriniu laikotarpiu) skirtingais mėnesiais ir sezonais turės priešingas kaitos tendencijas: K labiausiai augs (iki 32,3 %) kovo mėnesį, o labiausiai mažės (iki 18,2 %) rugpjūčio mėnesį. Skirtingai negu buvo įprasta stebėjimų laikotarpiu, kai drėgniausi orai Lietuvoje būdavo vasaros mėnesiais (su maksimaliu jų kiekiu liepą), ateityje šis sezonas taps sausiausiu metuose. Visais vasaros mėnesiais tolimoje perspektyvoje pagal pesimistinį scenarijų prognozuojamas K mažėjimas. Tuo tarpu įprastai sausiausias metų sezonas – pavasaris – taps pastebimai drėgnesniu: artimoje perspektyvoje pagal SSP5-8.5 ir tolimoje perspektyvoje pagal SSP2-4.5 scenarijų prognozuojama, kad pavasario mėnesiais bus didžiausias K augimas metuose. Tolimos perspektyvos laikotarpiu (2081–2100 m.) pagal pesimistinį scenarijų žymiausiai kritulių kiekiai išaugs žiemos mėnesiais (vidutiniškai 29 %). Birželio ir rugsėjo mėnesiais prognozuojami mažiausi šio rodiklio pokyčiai lyginant su jo vertėmis modelių istoriniu laikotarpiu (1995–2014 m.).



3.2.4.4 pav. Mėnesio kritulių kiekio kaitos prognozė (pokytis (%)) lyginant su modelių istoriniu laikotarpiu)

Atraminėse meteorologijos stotyse (4 priedo 4.3–4.10 pav., 3.2.4.2 lentelė), kaip ir kitose, žymiausias mėnesinio K sumažėjimas ateityje daugumoje atvejų prognozuojamas rugpjūtį. K dydis balandžio mėnesį praktiškai nesikeis Klaipėdos, Laukuvos ir Dotnuvos meteorologijos stotyse artimuoju laikotarpiu optimistinio scenarijaus atveju. Tuo tarpu, šio rodiklio didžiausias augimas pagal skirtingus scenarijus ateities laikotarpiais vyks skirtingais mėnesiais: Klaipėdos ir Laukuvos MS lapkritį–sausį, likusiose atraminėse stotyse – dažniausiai pavasario mėnesiais. Tolimojoje

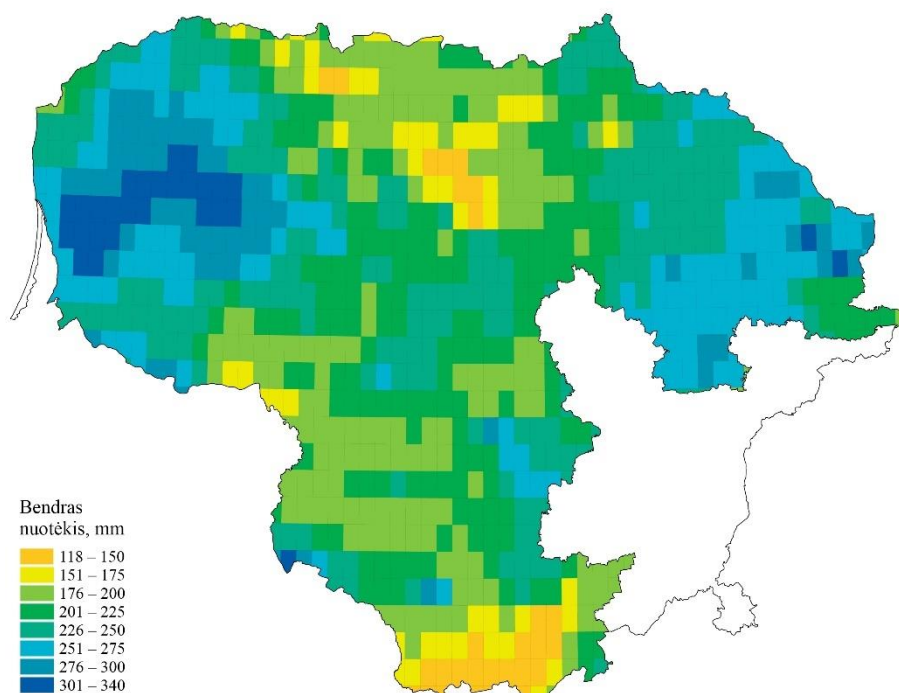
perspektyvoje pagal pesimistinį SSP5-8.5 scenarijų prognozuojama didžiausia šio rodiklio kaita ir svyravimo amplitudė: nuo sumažėjimo beveik penktadaliu (19 %) iki augimo trečdaliu (33 %).

3.2.4.2 lentelė. Mėnesio kritulių kiekio pokyčio (%) prognozė (5 atraminių MS)

MS	Laikotarpis ir scenarijus		Mėnesis												METAI
			Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis	
Klaipėda	2031–	SSP2-4.5	10,5	3,9	10,7	-0,4	7,3	8,5	7,4	2,1	7,6	6,2	12,1	12,4	7,8
	2050	SSP5-8.5	12,5	10,7	13,5	20,8	21,8	10,1	1,9	-4,3	3,0	11,5	18,7	22,4	12,2
	2081–	SSP2-4.5	10,9	5,8	11,9	12,8	7,2	1,4	-6,4	-10,4	3,0	2,9	14,3	11,3	5,9
	2100	SSP5-8.5	36,2	27,3	28,8	23,8	5,5	-1,2	-10,2	-16,9	-0,5	14,6	31,4	30,2	15,9
Laukuva	2031–	SSP2-4.5	9,1	5,6	11,4	-0,6	8,8	5,4	3,4	1,6	7,2	5,4	12,6	10,7	6,9
	2050	SSP5-8.5	11,0	11,1	13,0	20,1	20,5	7,4	-0,6	-5,2	2,4	10,9	16,2	17,6	10,4
	2081–	SSP2-4.5	10,0	7,0	12,8	11,2	6,7	-0,5	-7,9	-12,4	2,7	1,8	13,3	8,5	4,4
	2100	SSP5-8.5	33,0	28,0	31,0	23,1	8,4	-5,2	-10,9	-18,7	-1,8	12,6	29,2	25,8	13,0
Dotnuva	2031–	SSP2-4.5	8,2	5,9	11,1	0,4	7,3	4,3	3,7	2,5	10,3	5,3	9,5	8,1	6,2
	2050	SSP5-8.5	8,9	12,5	11,5	20,4	17,5	5,4	2,6	-4,5	7,7	9,9	14,2	15,1	9,8
	2081–	SSP2-4.5	8,6	9,1	12,4	8,9	5,3	0,3	-4,8	-13,6	5,3	1,5	10,8	7,5	3,7
	2100	SSP5-8.5	29,8	31,2	34,1	23,4	11,1	-5,6	-6,7	-18,0	1,8	14,2	30,2	26,0	12,8
Varėna	2031–	SSP2-4.5	7,8	4,1	12,9	1,6	7,7	3,9	0,9	2,2	9,3	6,3	7,0	8,3	5,7
	2050	SSP5-8.5	8,6	11,3	9,3	22,1	13,2	5,9	-0,7	-4,9	8,4	9,3	13,3	18,6	9,2
	2081–	SSP2-4.5	6,4	5,8	13,2	7,5	8,1	4,0	-8,2	-12,7	1,5	-0,3	8,0	9,7	3,2
	2100	SSP5-8.5	27,7	26,3	32,0	25,2	12,2	-6,6	-14,4	-18,8	-6,0	9,6	27,9	24,8	10,0
Dūkštas	2031–	SSP2-4.5	8,7	5,6	9,4	6,9	11,9	-0,3	4,6	1,5	2,9	3,6	10,1	8,9	5,9
	2050	SSP5-8.5	9,7	13,4	7,2	25,1	14,9	1,8	2,0	-3,1	3,6	7,8	15,0	16,4	8,9
	2081–	SSP2-4.5	9,4	9,5	11,7	13,1	8,4	0,9	-2,3	-12,0	-2,7	-0,2	10,5	8,5	3,9
	2100	SSP5-8.5	29,3	32,3	32,1	25,8	12,7	-10,0	-8,5	-17,7	-11,2	9,4	31,7	30,4	10,7

3.2.5. Bendro nuotėkio pasiskirstymas istoriniu laikotarpiu

Vidutinis metinis bendras nuotėkis (BN) Lietuvos teritorijoje istoriniu laikotarpiu paprastai kito nuo 118 iki 340 mm atskirose gardelėse ar upių pabaseiniuose (3.2.5.1 pav., 3.2.5.1 lentelė). Remiantis 1995–2014 m. laikotarpio ERA5-Land reanalizės duomenimis, vidutinis metinis bendras nuotėkis buvo 231 mm, o didžiausiu nuotėkiu pasižymėjo vakarinė Lietuvos dalis, kurioje vyravo 301–340 mm bendras nuotėkis. Šios reikšmės buvo stebimo centrinėje Žemaičių aukštumos dalyje, kur dėl reljefo įtakos vakariniai aukštumos šlaitai sulaiko didesnę dalį kritulių ir lemia padidėjusį bendrą nuotėkį. Tuo tarpu mažiausios reikšmės buvo fiksuojamos pietinėje Lietuvos dalyje ir Vidurio Lietuvos šiaurinėje dalyje, kur žemas nuotėkio reikšmės (iki 175 mm) nulėmė mažesni kritulių kiekiai Vidurio Lietuvoje ir lengvų gruntų dominavimas pietinėje Lietuvos dalyje.



3.2.5.1 pav. Vidutinio metinio bendro nuotėkio pasiskirstymas Lietuvos teritorijoje 1995–2014 m. laikotarpiu

Vertinant sezoninį bendro nuotėkio pasiskirstymą (5 priedo 5.1–5.2 pav.) pagrindiniuose Lietuvos upių pabaseiniuose, paaiškėjo, kad didžiausiu nuotėkiu pasižymi kovas ir balandis (vidutiniškai iki 33,1 mm), o mažiausiu – rugsėjis ir spalį (3.2.5.1 lentelė), kai vidutinis daugiamečių bendras nuotėkis šiais mėnesiais atitinkamai sudarė 9,4 ir 9,7 mm apibendrinus visus pabaseinius. Bendro nuotėkio pasiskirstymas tarp pagrindinių Lietuvos upių pabaseinių taip pat turėjo aiškiai išreikštus dėsningumus, nes didesniu už vidutinį žiemos ir pavasario sezonų nuotėkį pasižymėjo Vakarų Lietuvos (Minija, Jūra ir Bartuva) ir Šiaurės-rytų Lietuvos (Žeimenos ir Šventoji) upių pabaseiniai, kuriuose maksimalios reikšmės siekė iki 45,5 mm atskirais mėnesiais (kovo mėn. Minijos upė). Tuo tarpu Vidurio Lietuvos upių pabaseiniuose maksimalios reikšmės neviršijo 35 mm. Daugumoje upių pabaseinių mažiausias bendras nuotėkis buvo nustatytas rugsėjo mėnesį ir priklausomai nuo pabaseinio svyravo nuo vos 8,2 mm (Merkio upėje) iki 11,5 mm (Žeimenos upėje). Itin žemas nuotėkio reikšmės Merkio pabaseinyje nulemia lengvi gruntai, kurie išsausėję po vasaros laikotarpio intensyviai akumuliuoja perteklinius kritulius ir jie taip greitai nesitransformuoja į bendrą nuotėkį.

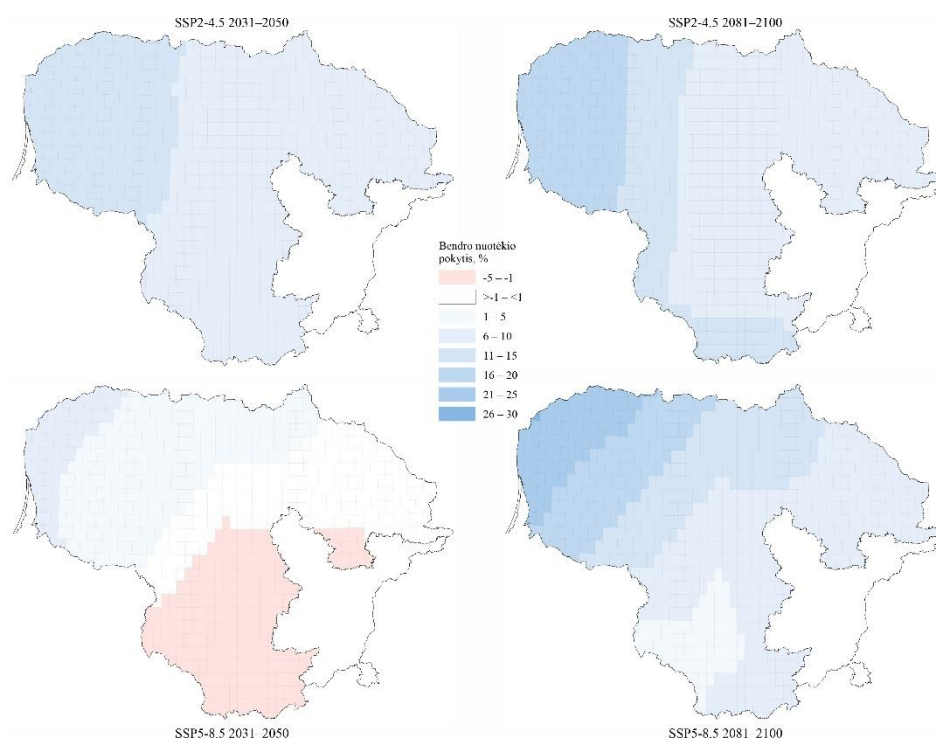
3.2.5.1 lentelė. Vidutinis metinis ir mėnesio bendras nuotėkis 1995–2014 m. Lietuvos upių pabaseiniuose

Mėnuo	Upės pabaseinis																VIDURKIS
	Nem. ir Ner. m. in.	Merkio	Žeimenos	Šventosios	Nevėžio	Dubysos	Jūros	Šešupės	Minijos	Dauguvos	Mūšos	Nemunėlio	Lielupės m. in.	Ventos	Bartuvos	Lietuvos paj. up.	
Sausis	16,8	12,6	20,8	20,2	18,1	19,8	22,9	15,6	32,1	18,9	16,0	18,4	15,3	21,0	25,5	27,9	20,1

Vasaris	21,3	16,5	24,9	24,8	21,2	23,1	28,4	19,9	37,9	22,1	19,2	22,8	17,9	24,8	31,4	34,0	24,4
Kovas	30,0	24,9	34,1	33,7	29,0	31,1	37,5	27,9	45,5	30,6	26,7	31,4	24,8	32,5	39,3	40,5	32,5
Balandis	30,6	28,2	39,4	37,2	29,8	32,4	36,2	29,0	39,6	36,2	28,1	34,1	26,0	32,6	36,1	34,5	33,1
Gegužė	25,4	24,4	35,2	33,4	24,9	27,9	28,5	24,0	29,9	33,5	24,4	29,0	23,3	27,7	27,9	26,4	27,9
Birželis	18,2	18,0	25,1	23,3	17,4	19,9	19,2	18,1	19,8	24,9	17,1	20,2	16,6	20,1	19,2	17,7	19,7
Liepa	15,9	15,3	19,2	18,6	16,8	17,7	15,9	16,2	15,9	18,5	15,7	16,9	15,3	16,6	14,9	13,8	16,5
Rugpjūtis	13,3	12,3	15,7	14,6	12,8	13,1	12,0	14,2	12,9	15,1	11,5	12,4	11,1	12,9	12,2	11,9	13,0
Rugsėjis	8,8	8,2	11,5	10,6	9,1	10,0	8,7	9,3	9,7	11,2	8,5	9,3	8,3	9,7	8,7	8,6	9,4
Spalis	8,8	7,7	11,3	10,4	9,4	10,0	8,9	9,3	11,6	11,2	8,6	9,1	8,9	10,2	9,7	10,1	9,7
Lapkritis	8,9	7,3	11,6	11,1	10,0	10,5	10,2	8,9	15,7	11,3	9,0	9,7	9,2	11,2	11,8	13,6	10,6
Gruodis	11,6	8,8	15,4	14,8	13,0	13,9	14,4	11,1	22,3	14,9	11,6	13,1	11,7	15,1	17,6	19,6	14,3
METAI	210	184	264	253	212	229	243	204	293	248	196	226	188	234	254	259	231

3.2.6. Bendro nuotėkio projekcijos artimoje ir tolimoje perspektyvoje

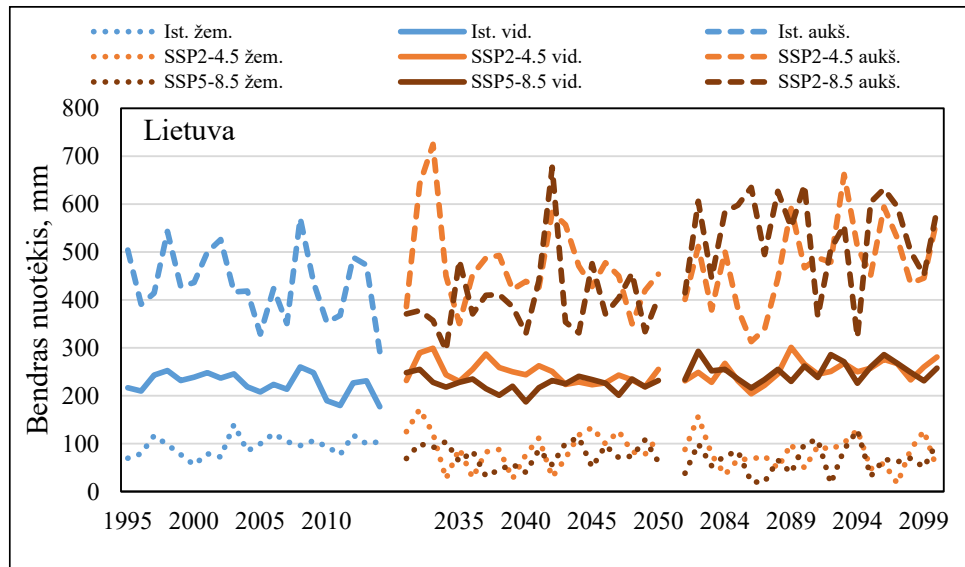
Bendro nuotėkio (BN) pokyčiai artimoje (2031–2050 m.) ir tolimoje (2081–2100 m.) perspektyvoje buvo vertinti naudojant 10 GKM ansamblio išvesties duomenis pagal optimistinį (SSP2-4.5) ir pesimistinį (SSP5-8.5) scenarijus. Vidutinio metinio bendro nuotėkio rezultatai ateities laikotarpiais buvo palyginti su klimato modelių išvesties duomenimis istoriniam laikotarpiui bei nustatytas procentinis pokytis (3.2.6.1 pav.). Taip pat buvo įvertinti ir daugiamečiai atskirų mėnesių bendro nuotėkio pokyčiai artimoje ir tolimoje perspektyvoje (5 priedo 5.3–5.10 pav.).



3.2.6.1 pav. Vidutinio metinio bendro nuotėkio pokyčiai (%) artimoje ir tolimoje perspektyvoje lyginant su modelių istoriniu laikotarpiu

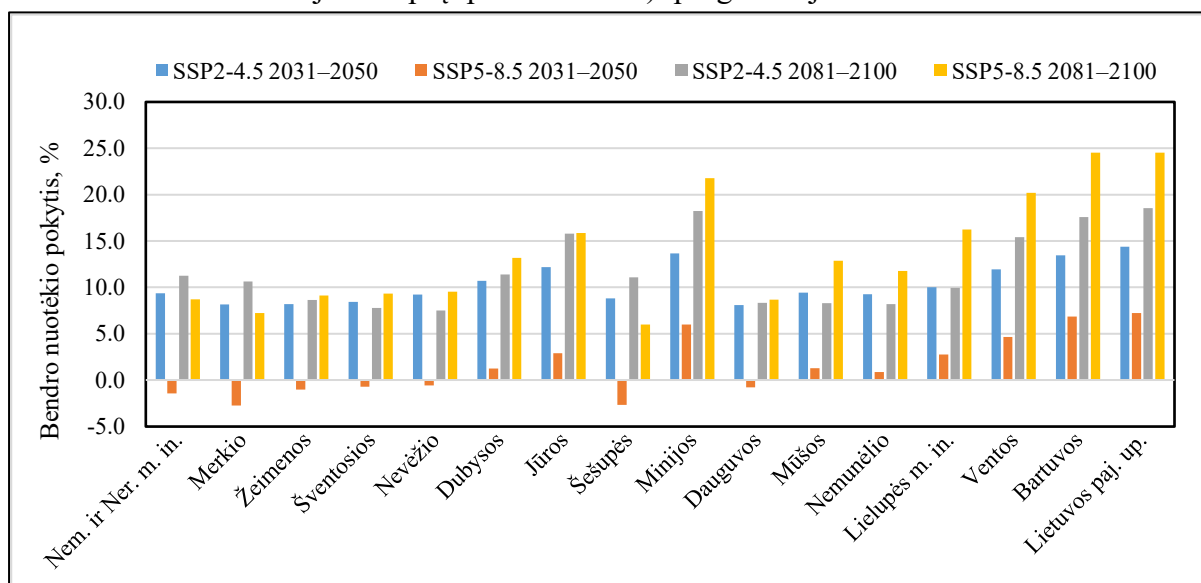
Metinio BN kintamumo ribos tirtais laikotarpiais buvo įvertintos pagal 10 GKM išvesties duomenis Lietuvos teritorijoje (3.2.6.2 pav.) ir pagrindiniuose Lietuvos upių pabaseiniuose (5

priedo 5.11 pav.). Tiek modelių istoriniu, tiek ateities laikotarpiais BN verčių amplitudė išliko pakankamai aukšta tarp atskirų GKM. Nors vidutinės reikšmės bei jų kitimo pobūdis išliko artimas istoriniam laikotarpiui, tačiau buvo nustatytas ribinių verčių amplitudės augimas, kuris labiausiai pasireiškė tolimoje perspektyvoje. Be to, skirtumai tarp atskirų modelių taip pat turėjo tendenciją didėti į amžiaus pabaigą. Lyginant klimato scenarijus tarpusavyje paaiškėjo, kad artimoje perspektyvoje tiek vidutinės, tiek ribinės vertės buvo aukštesnės optimistinio scenarijaus atveju, o tolimoje – aukštesnis BN ir didesnė jo amplitudė buvo nustatyta pagal pesimistinį scenarijų.



3.2.6.2 pav. Metinio bendro nuotėkio kaita Lietuvoje

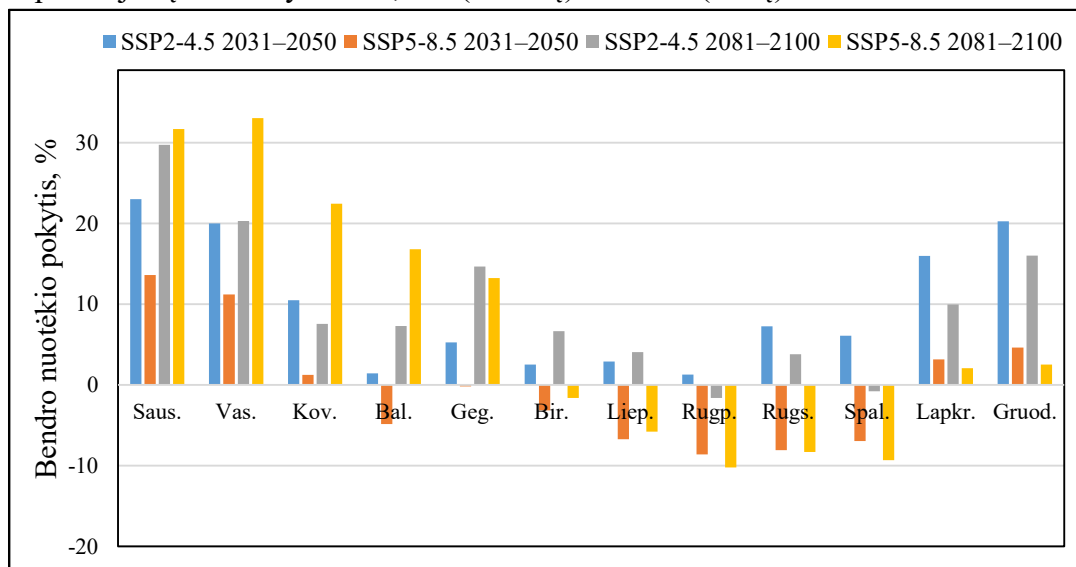
Vidutinio metinio bendro nuotėkio augimo prognozė skirtinguose Lietuvos upių pabaseiniuose pavaizduota 3.2.6.3 paveiksle. Mažiausi bendro nuotėkio pokyčiai prognozuojami 2031–2050 m. laikotarpiu pagal pesimistinį SSP5-8.5 scenarijų. Dalyje upių pabaseinių prognozuojami pasikeitimai yra vos kelių procentų ribose, o kai kuriais atvejais buvo stebimas net ir nedidelis sumažėjimas (Merkio ir Šešupės pabaseiniuose). Tuo tarpu Lietuvos šiaurės vakaruose (Bartuvos ir Lietuvos Pajūrio upių pabaseiniuose) prognozuojamas vidutiniškai 7 % bendro



3.2.6.3 pav. Vidutinio metinio bendro nuotėkio kaita Lietuvos upių pabaseiniuose

nuotėkio padidėjimas. Tolimoje perspektyvoje išryškėjo aiškesnės bendros tendencijos, kad prognozuojamas bendro nuotėkio padidėjimas (vidutiniškai 11,8 % pagal SSP2-4.5 ir 13,7 % pagal SSP5-8.5) visuose upių pabaseiniuose, tačiau keletą mėnesių iš jų nustatytas vidutiniškai virš 15 % padidėjimas (vakarų Lietuvos upių pabaseiniai – Jūros, Minijos, Ventos, Bartuvos ir Lietuvos Pajūrio upės).

Mėnesinio bendro nuotėkio prognozės pagal GKM ansamblio vidurkį lyginant su modelių istoriniu laikotarpiu atskleidė sezoninius šio rodiklio pokyčius (3.2.6.4 pav.). Didžiausias bendro nuotėkio padidėjimas prognozuojamas žiemos mėnesiais (sausį ir vasarį), kai nustatyti pokyčiai atskirais atvejais viršijo 30 %. Vasaros mėnesiais ir ankstyvą rudenį prognozuojamas bendro nuotėkio sumažėjimas, kuris vidutiniškai galėtų svyruoti nuo 6 iki 10,2 %. Visi bendro nuotėkio sumažėjimo atvejai atskirais mėnesiais buvo nustatyti pagal pesimistinį scenarijų (SSP5-8.5) tiek artimojoje, tiek ir tolimoje perspektyvoje. Kalbant apie rodiklio padidėjimą priklausomai nuo klimato scenarijaus, artimojoje perspektyvoje vidutiniškai didesnis BN padidėjimas buvo prognozuojamas pagal optimistinį SSP2-4.5 scenarijų, tačiau tolimoje perspektyvoje išryškėjo ir sezoniniai skirtumai. Nuo gegužės iki gruodžio mėnesio išliko ta pati tendencija, kaip ir artimojoje perspektyvoje, tačiau nuo sausio iki balandžio SSP5-8.5 prognozavo didesnį padidėjimą nei optimistinis scenarijus. Vienintelis SSP2-4.5 scenarijus abiem laikotarpiais prognozavo tik bendro nuotėkio padidėjimą nuo nežymaus 1,4 % (balandį) iki 23 % (sausį).



3.2.6.4 pav. Mėnesinio bendro nuotėkio kaitos prognozė (pokytis (%)) lyginant su GKM istoriniu laikotarpiu)

Tarp atraminių upių pabaseinių buvo pasirinkti Minijos, Mūšos ir Šventosios (be Vilniaus apskrities) pabaseiniai, kuriems artimojoje ir tolimoje perspektyvoje buvo detalios apskaičiuoti bendro nuotėkio kaitos dėsningumai atskirais mėnesiais pagal abu tirtus klimato scenarijus (3.2.6.1 lentelė). Šios upės puikiai atspindi regioninius skirtumus, kurie bendro nuotėkio žemėlapyje buvo aiškiai išreikšti iš vakarų į rytus. Visuose upių pabaseiniuose sausio ir vasario mėnesiais buvo prognozuojamas bendro nuotėkio padidėjimas, tik Minijos upėje jis buvo išreikštas labiausiai, nes 19,8–22,9 % viršijo Mūšos ir Šventosios upių pabaseiniuose nustatytus pokyčius tolimojo perspektyvoje. Be to, Minijoje buvo nustatytas ir absoliutus didžiausias bendro nuotėkio padidėjimas iki 53,5 % (vasario mėnesį) tolimojo perspektyvoje pagal SSP5-8.5. Tuo tarpu Mūšos

ir Šventosios pabaseiniuose buvo nustatyti tarpusavyje panašūs dėsningumai su padidėjimu nuo 31,3 iki 38,4 % sausio ir vasario mėnesiais. Liepos–spalio mėnesiais visuose pabaseiniuose SSP2-4.5 prognozavo nežymius pasikeitimus artimoje ir tolimoje perspektyvoje, tačiau pesimistinis SSP5-8.5 abiem laikotarpiais numato bendro nuotėkio sumažėjimą. Mažiausias pokytis buvo Minijos pabaseinyje – nuo -0,4 % (artimos perspektyvos spalio) iki 7,5 % (tolimos perspektyvos rugpjūtis). Mūšos ir Šventosios upių pabaseiniuose kaip ir padidėjimo atveju, sumažėjimo tendencijos pagal SSP5-8.5 buvo panašios abiejuose pabaseiniuose. Juose bendro nuotėkio prognozės rugpjūčio–spalio mėnesiais numato nuo -8,8 % (artimos perspektyvos spalio Mūšos pabaseinyje) iki -12,5 % (artimos perspektyvos rugsėjis Šventosios pabaseinyje) sumažėjimą.

3.2.6.1 lentelė. Mėnesinio bendro nuotėkio pokyčio prognozė trijų atraminių upių pabaseiniuose

Paba- seinis	Laikotarpis ir scenarijus		Mėnesis												METAI
			Sausis	Vasaris	Kovas	Balandis	Gegužė	Birželis	Liepa	Rugpjūtis	Rugsėjis	Spalis	Lapkritis	Gruodis	
Minijos	2031–	SSP2-4.5	27,5	27,3	17,5	8,3	7,9	4,3	3,1	1,5	6,4	4,1	12,0	20,2	13,7
	2050	SSP5-8.5	16,5	17,2	6,4	1,2	5,3	1,2	-2,8	-4,0	-2,5	-0,4	7,9	7,1	6,0
	2081–	SSP2-4.5	38,3	37,7	23,0	12,9	15,0	6,7	3,9	-0,9	4,4	2,1	13,7	20,2	18,2
	2100	SSP5-8.5	43,0	53,5	39,8	23,3	13,2	1,4	-2,5	-7,5	-6,3	-4,0	8,9	10,3	21,8
Mūšos	2031–	SSP2-4.5	24,5	19,7	7,4	-1,5	6,0	2,8	3,8	0,6	6,0	5,1	15,8	21,3	9,4
	2050	SSP5-8.5	17,2	11,8	-0,3	-4,1	1,8	-2,7	-4,8	-9,4	-10,0	-8,8	3,1	5,2	1,3
	2081–	SSP2-4.5	30,0	14,8	-0,9	3,5	15,0	6,4	2,7	-2,8	2,4	-3,3	6,5	15,6	8,3
	2100	SSP5-8.5	38,4	33,7	20,0	15,7	17,2	-2,6	-6,3	-11,2	-9,8	-10,6	0,2	5,4	12,9
Šventosios	2031–	SSP2-4.5	23,1	18,8	6,5	-6,1	3,1	3,8	5,6	1,8	7,2	7,3	19,9	22,4	8,4
	2050	SSP5-8.5	17,5	11,0	-0,6	-8,8	-3,5	-2,7	-6,4	-10,9	-12,5	-11,0	2,1	6,4	-0,7
	2081–	SSP2-4.5	32,5	16,9	-4,1	-0,6	11,7	7,1	4,1	-2,3	3,8	-1,9	11,0	18,2	7,8
	2100	SSP5-8.5	36,8	31,3	10,8	9,2	13,3	-0,2	-4,7	-11,6	-10,8	-12,0	1,3	5,6	9,3

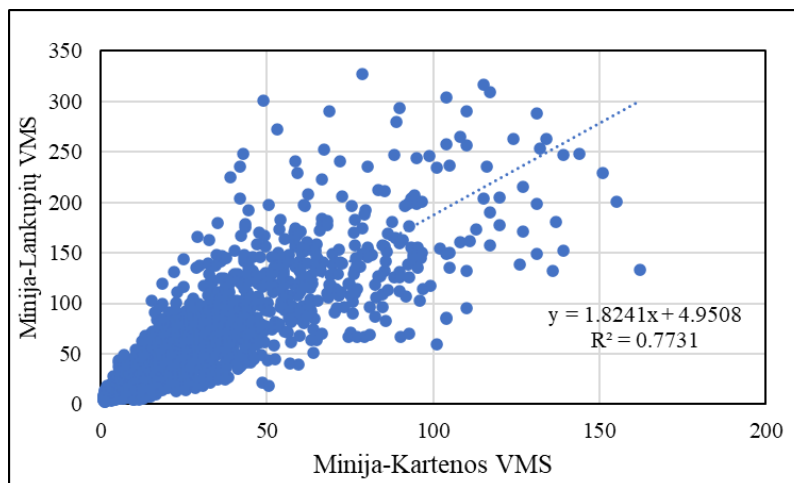
3.3. Strėvos bei Minijos (įskaitant jos intakus Salantą, Veiviržą bei Tenenį) upių hidrologinių modelių sukūrimas

3.3.1. Hidrologinių duomenų eilučių paruošimas

Modeliavimui reikėjo paruošti 5 upių 1995–2014 metų laikotarpio paros debitų eilutes. Tam reikėjo pratęsti nutrūkusias Minijos – Lankupių VMS, Veiviržo – Mikužių VMS, Tenenio – Miestalių VMS, Salanto – žiotyse bei Strėvos ties Bublių HE vandens debitų duomenų eilutes.

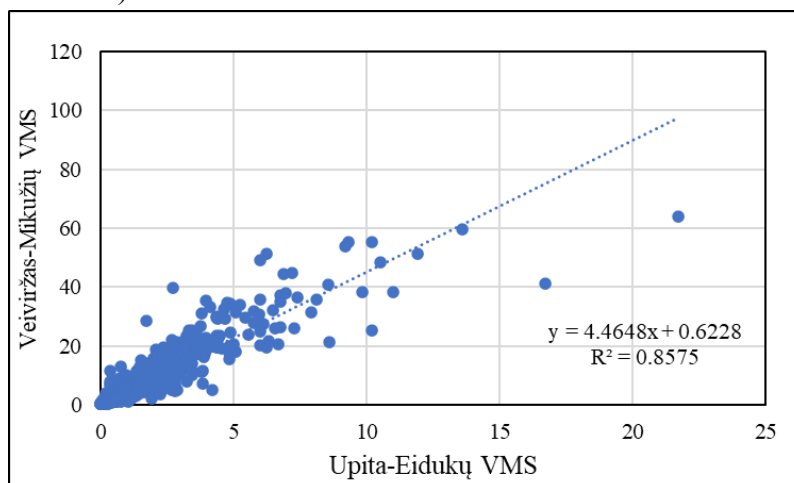
Minijos ties Lankupiais debitų duomenų eilutės pratęsimas. Buvo pratęsti 1997-12-01 – 1997-12-31 ir 2001-08-01 – 2003-12-31 laikotarpių duomenys. Minijos upėje yra 2 VMS: Kartenos ($A=1220,1 \text{ km}^2$) ir Lankupių ($A=2600 \text{ km}^2$), kuriose atliekami vandens debitų matavimai, tačiau šių VMS baseinų plotai skiriasi 53,1%, todėl perkelti Kartenos VMS debitus į Lankupių VMS naudojant baseinų plotų santykį nebuvo galimybės. Dėl šios priežasties Lankupių VMS debito duomenų eilutės pratęsimui buvo naudojamas regresinės analizės metodas. Buvo sudaryti ryšiai tarp įvairių laikotarpių Minijos Lankupių VMS ir Kartenos VMS paros debitų. Taip pat buvo parinkta keletas upių-analogų (Akmena-Danė – Kretingos VMS, Jūra – Tauragės VMS, Šešuvis – Skirgailų

VMS ir kt.) ir sudaryti ryšiai tarp įvairių laikotarpių paros debitų. Geriausias ryšys gautas tarp Minijos–Lankupių ir Minijos – Kartenos VMS 2004–2014 m. paros debitų ($R=0,88$). Šis ryšys ($y=1,8241x+4,9508$) ir panaudotas atstatant Minijos – Lankupių VMS trūkstamus paros debitus (3.3.1.1 pav.).



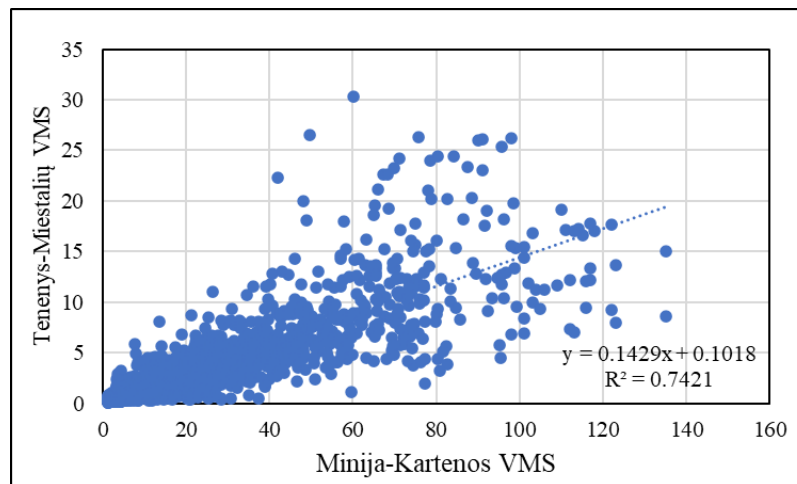
3.3.1.1 pav. Ryšys tarp Minijos – Lankupių VMS ir Minijos – Kartenos VMS vandens debitų

Veiviržo ties Mikužiais debitų duomenų eilutės pratęsimas. Veiviržo – Mikužių VMS vandens debitų duomenų eilutės pratęsimui buvo parinkta keletas upių-analogų (Minija – Kartenos VMS, Akmena-Danė – Kretingos VMS, Upita – Eidukų VMS, Jūra – Pajūrio VMS ir kt.). Stipriausias tarpusavio ryšys ($R=0,93$) nustatytas tarp Veiviržo – Mikužių VMS ir Upitos – Eidukų VMS 1995–2000 metų laikotarpio debitų duomenų eilučių (3.3.1.2 pav.). Šis ryšys ($y=4,4648x+0,6228$) ir panaudotas atstatant Veiviržo – Mikužių VMS trūkstamus paros debitus (2000-03-16 – 2013-03-04).



3.3.1.2 pav. Ryšys tarp Veiviržo – Mikužių VMS ir Upitos – Eidukų VMS debitų

Tenenio ties Miestaliais debito duomenų eilutės pratęsimas. Parinkus upes-analogus (Veiviržas – Mikužių VMS, Minija – Kartenos VMS, Upita – Eidukų VMS) geriausias ryšys ($R=0,86$) nustatytas tarp Tenenio – Miestalių VMS ir Minijos – Kartenos VMS 2013–2023 metų laikotarpio vandens debitų (3.3.1.3 pav.). Tenenio – Miestalių VMS debitų duomenų eilutė (1995–2012) pratęsta pagal ryšį su Minijos – Kartenos VMS duomenimis ($y=0,1429x+0,1018$).

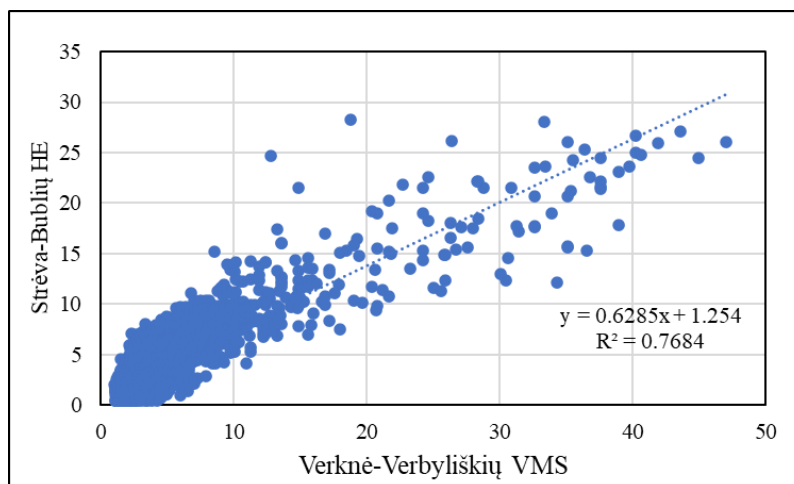


3.3.1.3 pav. Ryšys tarp Tenenio – Miestalių VMS ir Minijos – Kartenos VMS debitų

Salanto ties žiotimis debito duomenų eilutės pratęsimas. Salanto upėje vandens matavimo stoties nėra, todėl upės vandens debitų duomenų eilutė rekonstruota pagal artimiausios Minijos – Kartenos VMS duomenis. Kadangi Salantas yra Minijos intakas, įtekantis 7,4 km aukščiau Kartenos VMS, turinčios ilgą vandens debitų duomenų eilutę, Salanto debitas žiotyse buvo apskaičiuotas naudojant baseinų plotų santykį ($Q_{Salanto \, \bar{z}} = 286,5 \times Q_{Minija-Kartena} / 1220$).

Strėvos ties Bublių HE debito duomenų eilutės pratęsimas. Dabartiniu metu Strėvos upėje yra viena vandens matavimo stotis, turinti ilgą nuotėkio stebėjimo duomenų eilutę (nuo 1961 m.), tačiau reprezentuojanti tik upės aukštupį (atstumas nuo žiočių 53,0 km, $A=235,1 \text{ km}^2$). Strėvos nuotėkio įvertinimui buvo pasirinkta vandens matavimo stotis 1964–1971 m. veikusi šalia Bublių HE (atstumas nuo žiočių 8,2 km, $A=740,3 \text{ km}^2$). Semeliškių VMS debitus perkelti į Bublių HE naudojant baseinų plotų santykį nebuvo galimybės, nes baseinų plotai skiriasi 3 kartus. Be to, upės atkarpoje tarp Semeliškių ir Bublių yra didžiulis tvenkinys (Elektrėnų marios), kurio plotas – $13,87 \text{ km}^2$ (Gailiušis ir kt., 2017).

Strėvos – Bublių HE VMS nuotėkio duomenų eilutės pratęsimui buvo parinkta eilė analogų (Strėva – Semeliškių VMS, Strėva – Strėvininkų VMS, Verknė – Verbyliškių VMS, Skroblus – Dubininkų VMS ir kt.). Geriausia koreliacija ($R=0,88$) gauta tarp Strėvos – Bublių HE VMS ir Verknės – Verbyliškių VMS naudojant 1964–1971 m. vandens debitų duomenų eilutes (3.3.1.4 pav.). Šis ryšys ($y=0,6285x+1,254$) ir panaudotas atstatant Strėvos nuotėkio duomenų eilutę ties Bublių HE.



3.3.1.4 pav. Ryšys tarp Strėvos – Bublių HE VMS ir Verknės – Verbyliškių VMS debitų

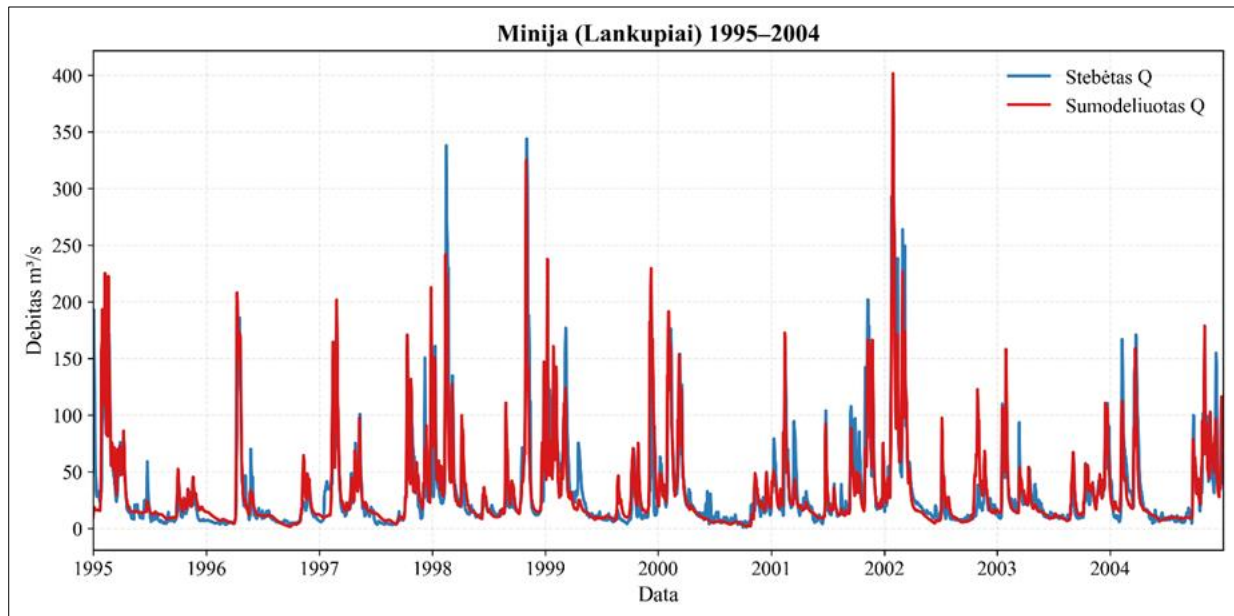
3.3.2. Hidrologinių modelių sukūrimas

Hidrologinių modelių kalibravimo ir validavimo rezultatai pateikti 3.3.2.1 lentelėje. Hidrologinių modelių kalibravimo proceso metu siekta, jog modelių kokybės vertinimo rodikliai atitiktų nustatytus reikalavimus: koreliacijos koeficiento (**R**) reikšmė didesnė nei 0,75, Nash'o–Sutcliffe'o efektyvumo koeficiento (*NSE*) reikšmė virš 0,50 (Ritter ir Muñoz-Carpena, 2013), ir suminis nuokrypis (*RelDiff*, procentinė išraiška) kuo artimesnis 0. Validavimo proceso metu siekta patikrinti modelio veikimo tinkamumą, išlaikant kuo aukštesnius minėtus modelio kokybės vertinimo rodiklius.

3.3.2.1 lentelė. HBV modelio kalibravimo ir validavimo rezultatai

Upė	Kalibravimas			Validavimas		
	R	NSE	Reldiff	R	NSE	Reldiff
Minija	0,857	0,723	1,8%	0,846	0,699	-3,0%
Salantas	0,879	0,771	2,2%	0,873	0,755	6,9%
Strėva	0,819	0,613	-7,4%	0,765	0,499	3,0%
Tenenys	0,778	0,603	-4,0%	0,818	0,610	9,2%
Veiviržas	0,795	0,631	-2,7%	0,842	0,679	3,8%

Ypač daug dėmesio skirta maksimalioms (potvynių) debitų reikšmėms, siekiant kuo tikslesnio jų atvaizdavimo. Modelių kokybė yra papildomai vertinama vizualiniu ekspertiniu būdu, analizuojant modeliuojamo potvynio hidrografo atitikimą stebėjimų duomenimis sudarytam hidrografui (3.3.2.1 pav.).



3.3.2.1 pav. Sumodeliuoto ir apskaičiuoto Minijos debito ties Lankupiais palyginimas modelio kalibravimo laikotarpiu (1995–2004 m.)

3.4. Strėvos, Smeltalės bei Minijos upių nuotėkio projekcijos pagal klimato modelių duomenis

Taikant HBV programinę įrangą sukurti Minijos, Salanto, Veiviržo, Tenenio ir Strėvos hidrologiniai modeliai, kurie panaudoti nuotėkio projekcijoms įvertinti artimoje (2031–2050 m.) ir tolimoje (2081–2100 m.) perspektyvoje. Smeltalės nuotėkio pokyčiai įvertinti taikant Minijos baseino upių nuotėkio projekcijas bei geografinio kartografavimo metodą.

Taikant 10 GCM ansamblio duomenis nustatyta, kad Minijoje vidutinis metinis nuotėkis neženkliai didės: didesni pokyčiai prognozuojami pagal SSP2-4.5 scenarijų, o mažesni pagal SSP5-8.5. Atsižvelgiant į šią prognozę nustatyta, kad artimoje perspektyvoje nuotėkis padidės nuo 3,1 % iki 6,4 %, o tolimoje perspektyvoje – nuo 0,9 iki 3,7 % lyginant su istoriniu (1995–2014 m.) laikotarpiu. Šie nuotėkio pokyčiai yra siejami su klimatiniais pokyčiais, ypač su sezoniniais kritulių pokyčiais, pastebimais Vakarų hidrologiniame rajone. Nuotėkio pokyčius Minijoje labiausiai atspindi klimatiniai pokyčiai Telšių meteorologijos stotyje: prognozuojama, kad artimoje perspektyvoje metinis kritulių kiekis šioje stotyje vidutiniškai padidės nuo 4,7 % iki 7,1 %, o tolimoje perspektyvoje – nuo 10 % iki 13,6 %. Ateityje keisis ne tik metinis, bet ir sezoninis upių nuotėkis (3.4.1 pav., a): žiemą nuotėkis didės (nuo 17,3 % iki 39,5 %), o pavasarį – mažės (nuo 8,6 % iki 37,8 %). Šie pokyčiai siejami su besikeičiančiomis sniego dangos formavimosi tendencijomis; žiemos metu, dėl bendrai vyraujančios aukštesnės temperatūros, didesnė dalis žiemos metu kritulių iškris lietaus pavidalu ir greičiau virs nuotėkiu; tai bendrai lems žiemos nuotėkio padidėjimą. Tačiau viso to pasekmė yra ta, jog mažesnė dalis kritulių akumuliuosis į sniegą. Todėl dėl mažesnių sniego atsargų pavasarį, bus stebimi mažėjantys pavasario potvyniai. Taip pat prognozuojamas nuotėkio sumažėjimas vasarą (nuo 1,4 % iki 25,3 %) bei neženklaus padidėjimas rudenį (nuo 0,9 % iki 6,4 %). Šie pokyčiai tiesiogiai siejami su prognozuojamais kritulių pokyčiais, pavyzdžiui kritulių sumažėjimu vasaros metu (nuo 0,4 % iki 11 %) bei intensyvesne evotraspiracija.



3.4.1 pav. Minijos (a), Salanto (b), Veiviržo (c), Tenenio (d), Smeltalės (e) bei Strėvos (f) nuotėkio pokyčiai (%) artimoje (2031–2050 m.) ir tolimoje (2081–2100 m.) perspektyvoje pagal optimistinį (SSP2-4.5) ir pesimistinį (SSP5-8.5) scenarijus lyginant su GKM ansamblio vidurkiu istoriniu (1995–2014 m.) laikotarpiu

Panašios debito kaitos tendencijos buvo nustatytos ir kitose Minijos baseino upėse (3.4.1 pav., b–d). Mažiausiai nuotėkis keisis Salante: žiemos nuotėkis padidės iki 25,1 %, o pavasario, vasaros bei rudens sumažės atitinkamai 38,0 %, 31,7 % ir 3,7 % lyginant su istoriniu laikotarpiu. Didesni pokyčiai prognozuojami Tenenyje: žiemos nuotėkis padidės iki 38,2%, o pavasario, vasaros ir rudens sumažės atitinkamai iki 39,4 %, 47,0 ir 9,1 % lyginant su istoriniu (1995–2014 m.) laikotarpiu. Patys didžiausi pokyčiai laukiami Veivirže: žiemos sezonu nuotėkis didės iki 44,4 %, o pavasario vasaros bei rudens sezonais sumažės atitinkamai 44,9 %, 48,0 % ir 4,3 % lyginant su istoriniu laikotarpiu. Tenenio ir Veiviržo nuotėkio formavimuisi daugiausiai įtakos turėtų turėti klimatiniai dėsningumai, atspindintys pokyčius Šilutės meteorologijos stotyje. Tačiau prognozuojami minėtų upių nuotėkio pokyčiai tiesiogiai sutampa su nuotėkio formavimosi dėsningumais, būdingais Minijai ir Salantui. Tai reiškia, kad prognozuojamas metinis kritulių kiekis ties Šilute padidės iki 13,5 % (tolimoje perspektyvoje veikiant SSP5-8.5 scenarijui), žiemos metu didės iki 28,4 %; o vasarą sumažės iki 11,5 %. Žiemos nuotėkio padidėjimas siejamas su greitesniu kritulių virsmu nuotėkiu dėl to, kad daugiau kritulių iškristų lietaus pavidalu ir mažesnė jų dalis suformuotų sniego dangą. Analogiškai, plonesnė sniego danga lems nuotėkio sumažėjimą pavasarį, nepaisant bendro kritulių padidėjimo (iki 17,1 %). Mažesnę vasaros nuotėkį tiesiogiai nulemtų sumažėjęs kritulių kiekis vasaros metu. Rudens metu, nepaisant gausesnių kritulių (padidėjimas iki 13,8 %), nenumatomas nuotėkio padidėjimas dėl sausros poveikio vasaros metu. Tad didesnė dalis rudens metu iškritusių kritulių upės baseine būtų panaudoti vandens balansui dirvožemyje

atstatymui bei suvartoti augalų, todėl reikėtų ilgesnio laiko ir gausesnių kritulių, kad nuotėkis atsistatytų upėse.

Smeltalės nuotėkio pokyčiai artimoje ir tolimoje perspektyvoje įvertinti taikant geografinės interpoliacijos metodą. Nustatyta, kad Smeltalės vidutinis metinis nuotėkis artimoje perspektyvoje bus didesnis iki 2,9 %, o tolimoje perspektyvoje mažesnis iki 5,2 % lyginant su istoriniu laikotarpiu. Žiemos sezonu nuotėkis didės (3.4.1 pav., e): artimoje perspektyvoje iki 17,5 %, o tolimoje – iki 37,9 %. Tuo tarpu pavasario ir vasaros sezonais nuotėkis atitinkamai mažės: artimoje perspektyvoje iki 11,1 % ir iki 17,1 %, o tolimoje – iki 40,3 % ir iki 38,4 %. Rudens sezonu nuotėkis bus artimas arba neženkliai didesnis nei istoriniu laikotarpiu. Nuotėkio pokyčiai Smeltalėje, kuri priklauso Pajūrio sričiai, analogiškai pokyčiams Vakarų hidrologinio rajono upėse. Prognozuojama, kad žiemos sezono kritulių ties Klaipėda artimoje perspektyvoje padidės iki 9,2 %, o tolimoje perspektyvoje – iki 31,2 %. Žiemos metu kritulių pokyčiai lems bendrą nuotėkio padidėjimą, tačiau aukštesnė temperatūra – mažesnę sniego dangos formavimąsi, kurie turės įtakos mažėjančiam pavasario nuotėkiui. Vasaros metu krituliai sumažėtų iki 9,4 %, kurie kartu su intensyvesne evapotranspiracija neigiamai veiks nuotėkio formavimąsi.

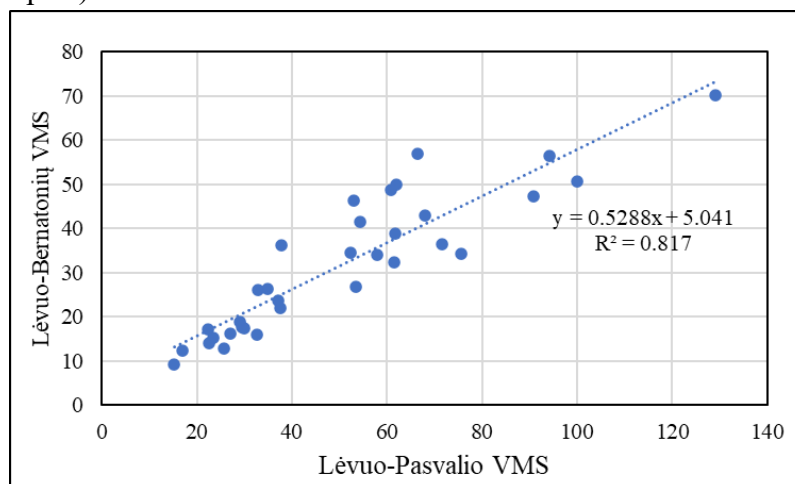
Strėvoje vidutinis metinis nuotėkis artimoje perspektyvoje bus artimas istorinio laikotarpio nuotėkiui (pagal SSP2-4.5) arba mažesnis už jį iki 5,7 % (SSP5-8.5). Kaip ir Minijos baseino upėse, taip ir Strėvoje laukiami ir sezoniniai nuotėkio pokyčiai: didėjimas žiemą ir mažėjimas pavasarį, vasarą bei rudenį (3.4.1 pav., f). Žiemos sezono metu tikėtinas nuotėkio padidėjimas nuo 8,1 % (SSP5-8.5) iki 15,3 % (SSP2-4.5) artimoje perspektyvoje, ir nuo 15,9 % (SSP2-4.5) iki 16,6 % (SSP5-8.5) tolimoje perspektyvoje. Mažiausiai neigiami pokyčiai tikėtini pavasarį (nuo 2,7 % iki 18,0 %), didesni – vasarą (nuo 5,1 % iki 24,9 %) ir didžiausi – rudenį (nuo 5,5 % iki 32,5 %) (3.4.1 pav., f). Taip pat kaip ir vakarinėje Lietuvos dalyje, Strėvos baseine numatomi gausesni krituliai žiemos sezonu. Prognozuojama, kad artimoje perspektyvoje jų padaugės nuo 6,9 % (SSP2-4.5), iki 7,9 % (SSP-8.5). Tolimoje perspektyvoje, prognozuojamas dar stipresnis kritulių pagausėjimas – nuo 12,4 % (SSP2-4.5) iki 27,8 % (SSP5-8.5). Dėl gausesnių kritulių žiemos sezonu bei aukštesnės temperatūros, didesnė žiemos kritulių dalis bus lietaus pavidalo ir virs nuotėkiu, todėl silpnesnė sniego akumuliacija nulems mažesnius pavasario potvynius. Vasaros metu prognozuojamas kritulių sumažėjimas – tolimoje perspektyvoje nuo 5,9 % (SSP2-4.5) iki 11,2 % (SSP5-8.5). Dėl intensyvių sausrų vasaros sezonu, upių nuotėkiui gali prireikti ilgesnio laiko atsistatyti. Tad rudens sezonu, nepaisant nežymiai gausesnių kritulių, jie pirmiausia stabilizuotų vandens balansą dirvožemyje. Todėl net ir padidėję krituliai nenulemtų staigios jų transformacijos į nuotėkį.

Apibendrinus nuotėkio prognozes tiriamose upėse nustatyta, kad didžiausi pokyčiai įvyks tolimoje perspektyvoje pagal pesimistinį SSP5-8.5 scenarijų, kuomet žiemos sezonu nuotėkis padidės, o pavasario ir vasaros – sumažės. Tuo tarpu rudens sezonu tikėtinas tiek neženklaus nuotėkio padidėjimas, tiek ženklus sumažėjimas lyginant su istoriniu laikotarpiu. Šie pokyčiai siejami su klimatiniais pokyčiais, kuomet dėl kritulių ir temperatūros pokyčių gali pasikeisti sniego dangos formavimosi tendencijos. Tai lemtų, jog žiemos metu iškritę krituliai greičiau virstų nuotėkiu, o plonesnė sniego danga tiesiogiai sietųsi su sumažėjusiais pavasario potvyniais. Dėl sumažėjusių kritulių bei didesnės evotranspiracijos, vasaros metu visoje Lietuvoje būtų stebimas upių nuotėkio sumažėjimas, kas turėtų įtakos upių nuotėkio formavimuisi rudens sezono metu.

3.5. Vidurio bei vakarų Lietuvos upių retų tikimybių (0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 %) potvynių debitų nustatymas

3.5.1. Duomenų eilučių paruošimas

Lėvens – Bernatonių VMS maksimalių debitų eilučių pratęsimas. Lėvens upėje veikė 3 VMS. Bernatonių VMS, esanti upės vidurupyje, įrengta 1930 m., o 1956 m. buvo uždaryta. 1967-03-28 d. toje pačioje vietoje atidaryta nauja VMS. Šios stoties baseino plotas nuo kitų stočių (Kupiškio VMS ir Pasvalio VMS) skiriasi daugiau nei 20%, todėl metų maksimalių vandens debitų eilutės pratęsimui negalime taikyti (10) lygties ir turime parinkti upę-analogą. Nustatyti ryšiai tarp Lėvens – Bernatonių VMS ir Lėvens – Pasvalio VMS, taip pat tarp Bernatonių VMS ir kitų upių-analogų (Nevėžio – Panevėžio VMS, Šušvės – Josvainių VMS ir kt.) vandens debitų. Geriausias ryšys ($R=0,90$) buvo gautas tarp 1968–2000 metų laikotarpio Bernatonių ir Pasvalio VMS maksimalių debitų duomenų eilučių ($y=0.5288x+5.041$), kuris ir buvo panaudotas duomenų eilučių pratęsimui (3.5.1.1 pav.).

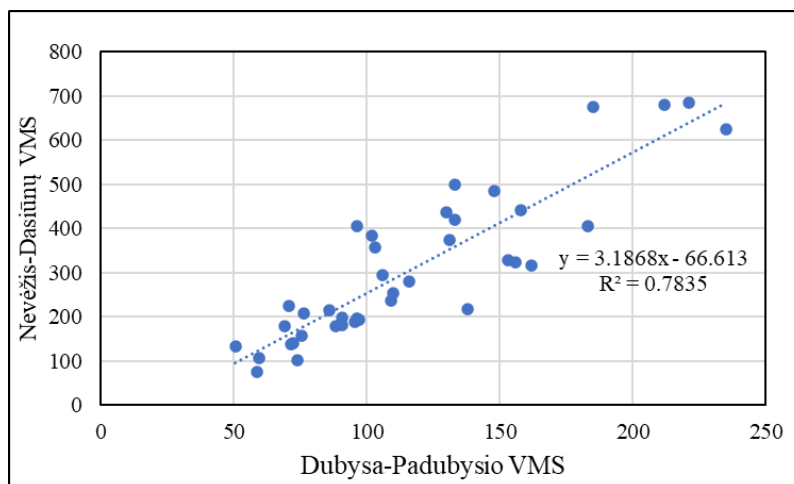


3.5.1.1 pav. Ryšys tarp Lėvens – Bernatonių VMS ir Pasvalio VMS maksimalių debitų

Nevėžio – Babtų VMS maksimalių debitų eilučių pratęsimas. Babtų VMS ($A=5784,5 \text{ km}^2$) atkurta 2006 m., o jos metų maksimalių debitų eilutė hidrologijos metraščiuose pateikiama nuo 2007 m., tačiau aukščiau Babtų (9,1 km) iki 2005 m. veikė Dasiūnų VMS ($A=5513,5 \text{ km}^2$). Šių stočių baseinų plotų skirtumas tik 4,7%, todėl Babtų VMS pavasario maksimalių debitų duomenų eilutė buvo pratęsta perkeliant duomenis iš Dasiūnų VMS pagal baseinų plotų santykį, naudojant (10) formulę.

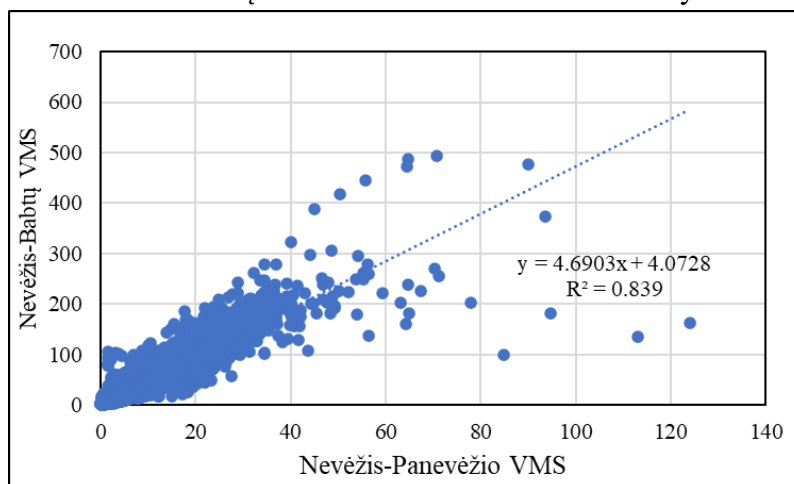
Dasiūnų VMS debitų stebėjimai buvo vykdomi 1961–2005 m., Babtų VMS – nuo 2007 m., todėl reikėjo pratęsti duomenų eilutę nustatant 1960 bei 2006 metų Babtų VMS maksimalius debitus. Tam reikėjo kito metodo nei duomenų perkėlimas pagal baseino plotą. Buvo ieškoma ryšių tarp Babtų VMS ir Panevėžio VMS bei kitų upių-analogų (Dubysos – Padubysio VMS, Šušvės – Josvainių VMS ir kt.) debitų.

1960 m. Babtų VMS maksimalus debitas buvo pratęstas pagal Dubysos – Padubysio VMS ir Nevėžio – Dasiūnų VMS 1961–2000 metų laikotarpio maksimalių debitų ryšio grafiką ($R=0,89$; $y=3,1868x-66,613$, 3.5.1.2 pav.), po to debito reikšmė perkelta į Babtų VMS pagal baseinų plotų santykį.



3.5.1.2 pav. Ryšys tarp Nevėžio – Dasiūnų VMS ir Dubysos – Padubysio VMS maksimalių debitų

2006 metų Babtų VMS maksimalaus debito nustatymui buvo tikrinti ryšiai tarp Nevėžio – Babtų VMS ir Nevėžio – Panevėžio VMS, Šušvės – Josvainių VMS bei kitų upių–analogų naudojant 2007–2024 metų maksimalius bei paros vidutinius debitus. Gauta, kad ryšiai tarp Babtų VMS ir upių–analogų maksimalių metinių debitų yra sąlyginai silpni (0,70–0,79), todėl tikrinti ryšiai tarp paros vidutinių debitų. Nustatyta, kad stipriausias ryšys yra tarp Nevėžio – Babtų VMS ir Panevėžio VMS ($R=0,92$; $y=4,6903x+4,07328$, 3.5.1.3 pav.) paros debitų, todėl jis ir buvo panaudotas 2006 m. Nevėžio – Babtų VMS maksimalaus debito nustatymui.

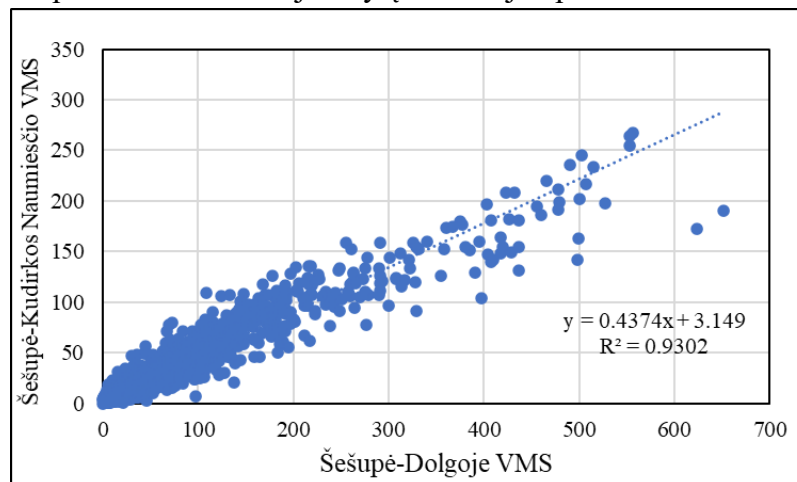


3.5.1.3 pav. Ryšys tarp Nevėžio – Babtų VMS ir Panevėžio VMS debitų

Šešupė – Kudirkos Naumiesčio VMS. Kudirkos Naumiesčio vandens matavimo stotis 1960–2024 metų laikotarpiu veikė su pertraukomis: 1976–1989 m. stotis buvo uždaryta, o nuo 1992-09-01 iki 1993-12-31 debitai nebuvo matuojami, todėl šiems metams reikėjo pratęsti maksimalių debitų duomenų eilutes.

Per visą stebėjimų laikotarpį Šešupėje veikė 5 VMS, tačiau upės nuotėkį stipriai veikė įvairiu laikotarpiu ant Šešupės įrengtos hidroelektrinės. Kudirkos Naumiesčio VMS yra paskutinė Lietuvos teritorijoje Šešupės upėje esanti stotis, tačiau tarp jos ir aukščiau jos veikusios Marijampolės VMS yra 3 hidroelektrinės, be to, jų baseinų plotai skiriasi 46%, todėl maksimalių debitų perkelti pagal baseinų plotų santykį nėra galimybės. Dėl šios priežasties metų maksimalių debitų eilutės

pratęsimui pirmiausia buvo sudaryti maksimalių ir paros debitų ryšio grafikai tarp Kudirkos Naumiesčio ir Dolgoje VMS. Taip pat buvo sudaryti ryšiai tarp Marijampolės ir Kudirkos Naumiesčio VMS bei kitų upių debitų. Geriausias ryšys ($R=0,96$) gautas tarp 1956–1975 metų laikotarpio Kudirkos Naumiesčio ir Dolgoje VMS paros debitų ($y=0,4374x+3,1486$)(3.5.1.4 pav.). Kadangi Dolgoje VMS duomenys prieinami tik iki 1991 m., tai 1993 m. Kudirkos Naumiesčio maksimalus debitas apskaičiuotas naudojant ryšį su Marijampolės VMS maksimalių debitų eilute.



3.5.1.4. pav. Ryšys tarp Šešupės – Kudirkos Naumiesčio VMS ir Šešupės – Dolgoje VMS debitų

3.6. Minijos Strėvos bei Smeltalės upių hidrodinamikos modelių kūrimas

3.6.1. Bendros nuostatos ir modelio kūrimo etapai

Kiekvieno hidrodinamikos modelio kūrime labai svarbu optimizuoti jo aprėpties, skaičiavimo tinklo gardelių dydžio ir siekiamo tikslumo optimalų santykį. Smulkios gardelės tiksliau įvertins reljefo ir žemės dangos pokyčius, tačiau drastiškai padidins skaičiavimo laiką, o kartais naudojamas kompiuteris gali visai nepajėgti dirbti su tokios apimties duomenų masyvais. Remdamiesi ilgamete patirtimi žinome, kad svarbu sutankinti skaičiavimo tinklą upės vagoje ties statiniais arba pylimais, o sąlyginai lygioje salpoje galima gardelės dydį didinti. Mūsų darbo tikslas yra kiek galima tiksliau sumodeliuoti tik potvynio vandens lygius, nedetalizuojant tėkmės parametru, tokių kaip greičiai ir kt. Tokiu atveju, kaip minėta metodikoje, galima taikyti tik difuzinės bangos lygtį (dalis pilnos masės vientisumo ir momentų lygčių narių ignoruojami). Tai leidžia pagreitinti skaičiavimus ir tinkamiau optimizuoti gardelių tinklą. Tačiau ir tokiu atveju, Minijos upės modeliuojamas ruožas yra per didelis, kad galima būtų viską aprėpti vienu HD modeliu. Todėl visas modeliuojamas ruožas sudalinamas į tris modelius. Kiekvienas modelis persidengia su gretimu apie tris kilometrus, kas leidžia tiksliau susieti vandens lygius modelių galuose, nes modelio pradžioje ir pabaigoje gaunamos didžiausios paklaidos. Modelių perdengimas leidžia jas minimizuoti.

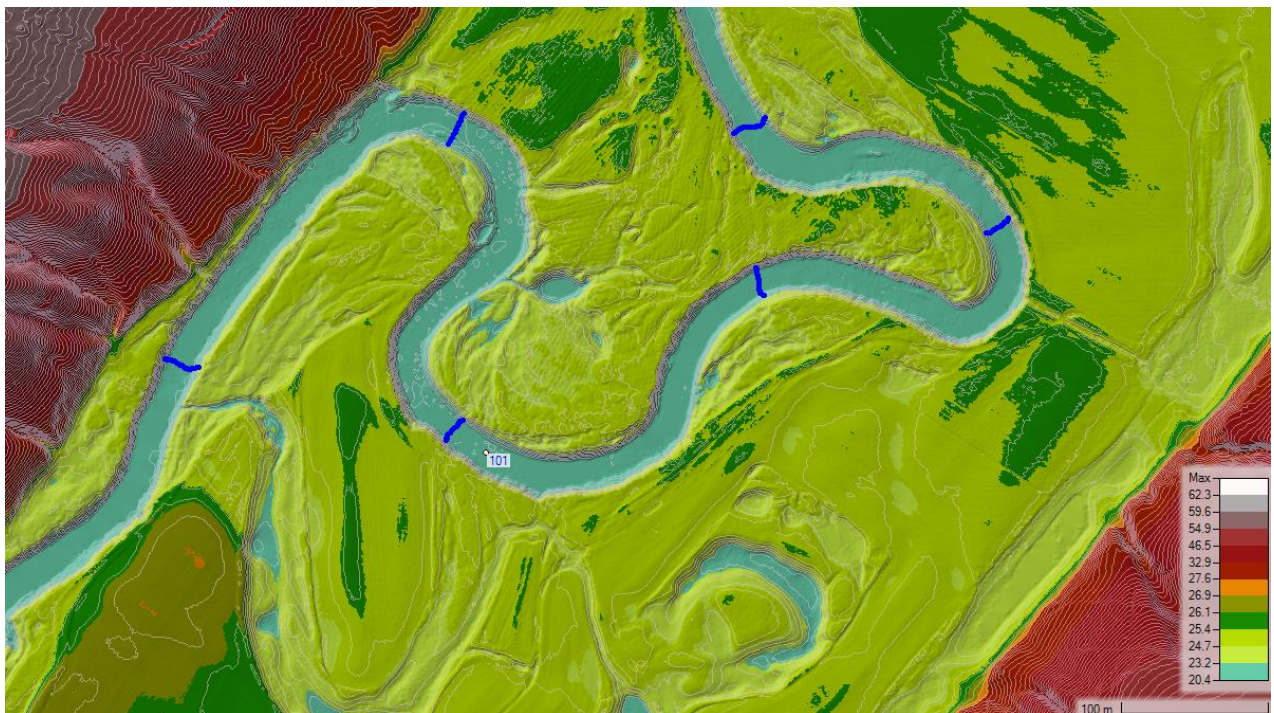
Hidrodinamikos modelio kūrimas susideda iš tokių etapų:

- Reljefo modelio adaptavimas ir perkėlimas į HEC-RAS sistemą;
- Gardelių tinklo kūrimas, integruojant upės vagą, tiltus, pylimus ir kitus tėkmei reikšmingą įtaką darančius statinius;

- Maningo šiurkštumo koeficientų sluoksnio sukūrimas pagal žemės dangos erdvinę informaciją (paprastai naudojama CORINE duomenų bazė, arba GRP žemės dangos plotų GIS sluoksnis).
- Modelio kraštinių ir pradinių sąlygų įvedimas (remiantis hidrologiniais skaičiavimais).
- Modelio derinimas (remiantis atliktais lauko matavimais arba LHMT ilgalaikiais stebėjimais).

3.6.2. 3D skaitmeninio reljefo modelio generavimas

Visą hidrodinamikos modelių aprėptį dengiantis vientisas reljefo skaitmeninis modelis (toliau SRM) parengtas naudojantis upės vagos batimetriniais duomenimis, juos integruojant taip pat į lazerinio skenavimo, atlikto 2019–2021 metais, duomenis³. SRM fragmentas pateiktas 3.6.2.1 paveiksle. Šiame SRM neatsispindi upių vagų reljefas. Pagal patvirtintą metodiką buvo sukurta modeliuojamų ruožų batimetrija, vandens gylio matavimus atliekant skersinių pjūvių būdu (3.6.2.2 ir 3.6.2.3 pav.), o pjūvių tankis buvo ne didesnis kaip 500 m tiesiuose ruožuose ir sutankinamas ties posūkiais bei statiniais (tiltais, krantinėmis ir kt.).



3.6.2.1 pav. Skaitmeninis reljefo modelis. Minijos upės fragmentas ties 101 km

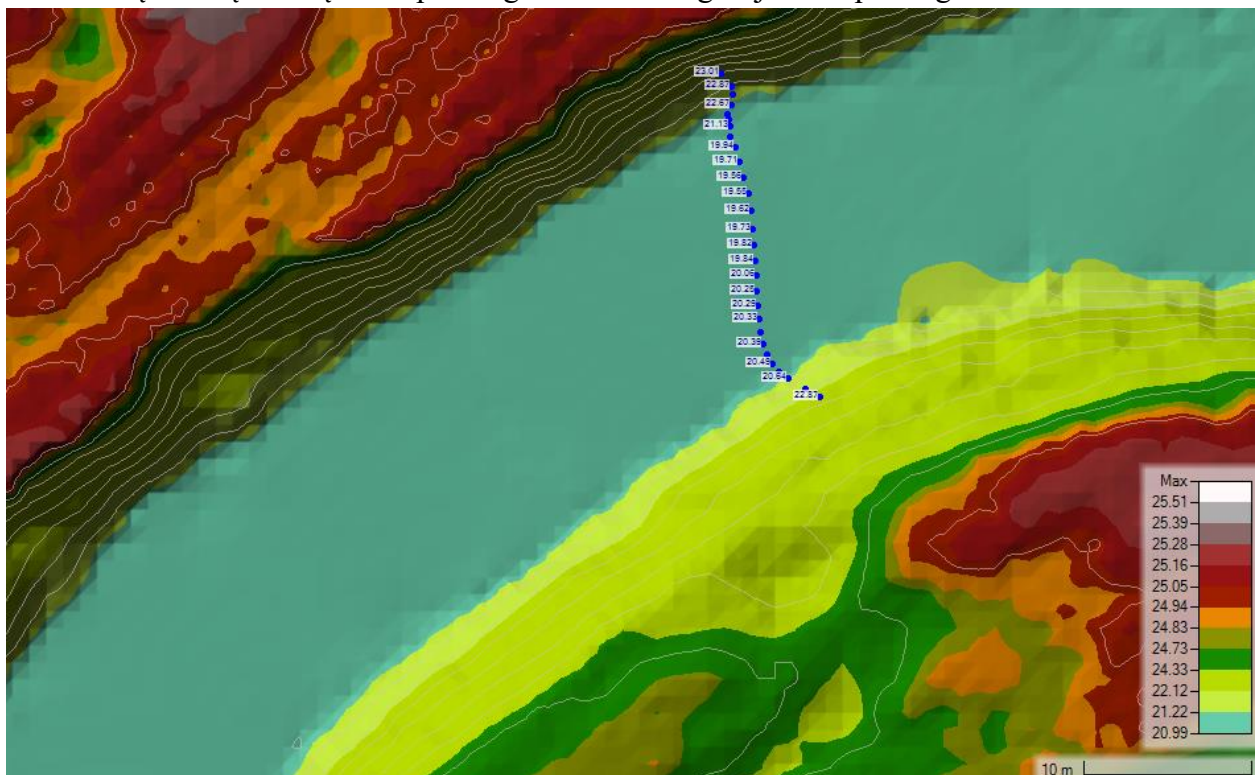
Upės vagos dugnas tarp upės vagos pjūviuose atliktų matavimų interpoliuojamas naudojant jau minėtą RasMapper, kuris turi specialiai tam pritaikytus įrankius. Suprantama, kad šiuo atveju nebus atspindėtas kiekvienas upės vagos kvadratinis metras, kaip tai atspindima naudojamame SRM. Tačiau, tokiose upėse kaip Minija ir mažesnėse, taikyti akustiniais principais veikiančius prietaisus būtų sudėtinga dėl vyraujančio vasaros metu mažo vagos gylio, didelio vingiuotumo ir įvairių gamtinių kliūčių upės vagoje, o naudoti žalio spindulio lazerį trukdo per didelis drumstumas.

³ Lidar DR_LT - skaitmeniniai erdviniai lazerinio skenavimo taškų duomenys (2019-2022 m.). Platintojas - Statybos sektoriaus vystymo agentūra, VŠĮ.

Kita vertus, modeliuojant tik potvynių vandens lygius, kai nėra labai svarbūs tėkmės greičiai ar srauto kryptys, lokaliniai dugno nelygumai nedaro labai didelės įtakos, išskyrus salas ar kitas didesnes kliūtis, bet jos šiuo atveju įvertinamos darant papildomus skersinius pjūvius. Detaliau batimetrijos atlikimo metodika aprašyta batimetriją atlikusių vykdytojų ataskaitoje.

Detaliau aptarsime tik interpoliavimo procesą ir gautos vagos dugno paviršiaus integravimą į SRM. Vagos dugno interpoliavimas tarp išmatuotų skersinių pjūvių atliekamas taip:

1. Sukuriamas 1D modelio fragmentas norimam upės ruožui. Tam reikia turėti upės vagos farvaterio liniją, krantų linijas ir skersinių pjūvių linijas ties atliktų matavimų skerspjūviais.
2. Tada į RasMapper importuojami batimetrinių matavimų taškai (ESRI shape failo pavidale).
3. Kiekvieno batimetrijos pjūvio taškai integruojami į 1D modelio skersinius pjūvius. Atliekama detali patikra ir iš pjūvių pašalinami galimai klaidingi taškai arba “spygliai” galintys iškreipti galutinį rezultatą.
4. Generuojamas upės vagos modelis atliekant interpoliaciją tarp pjūvių.
5. Gautas vagos 3D modelis eksportuojamas į tokios pačios raiškos (1 m) SRM, nurodant kad eksportuojama tik dalis tarp upės krantų, atmetant slėnių dalis.
6. Į turimą ištisinį SRM perdengimo būdu integruojamas upės vagos SRM.



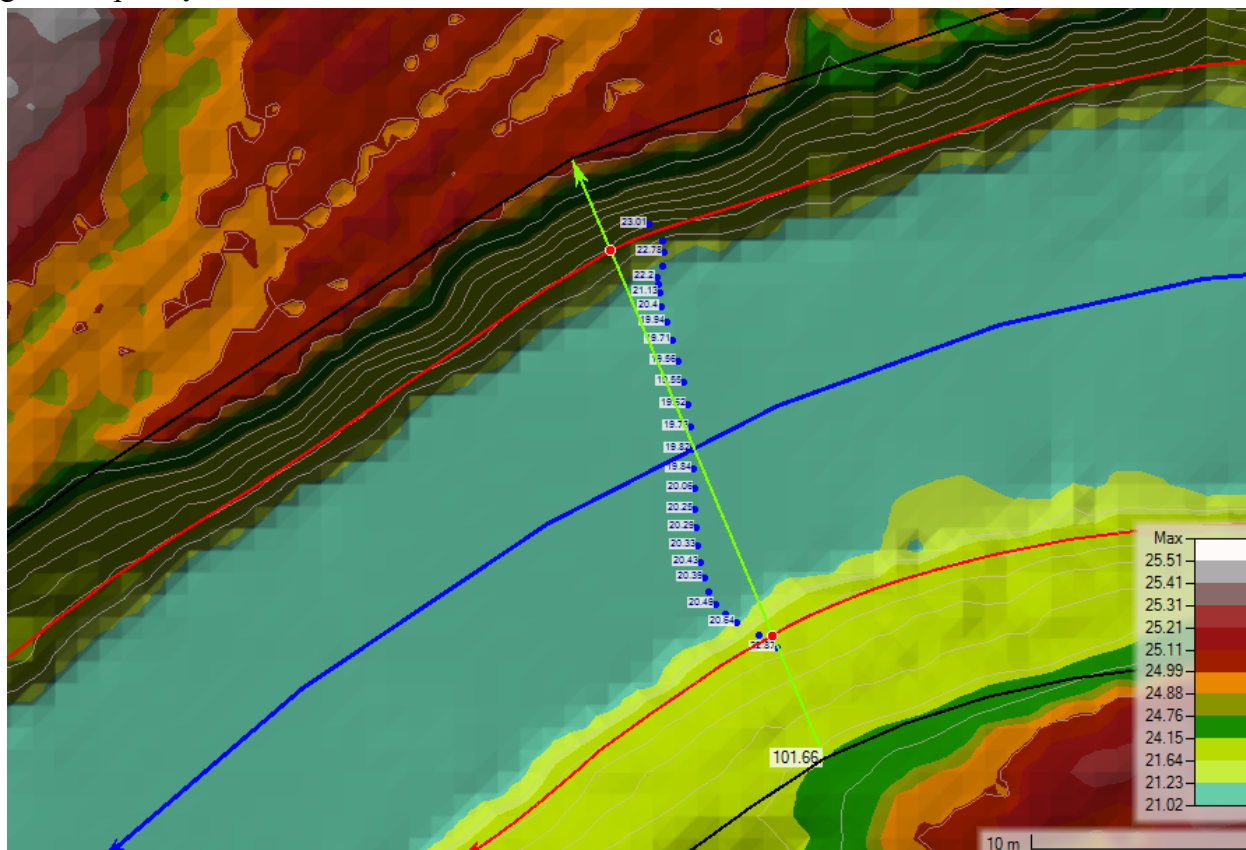
3.6.2.2 pav. SRM fragmentas su skersiniame pjūvyje atliktais vandens gylio matavimais. Upė Minija ties 101 km. Mėlyni taškai, atliktų batimetrinių matavimų skersinių pjūvių altitudės LAS07 aukščių sistemoje

Šis darbas negali būti atliktas automatizuotai (nors tokią galimybę RasMapper ir turi), nes tada neišvengiamai atsirastų klaidų, kurias jau integruotame SRM ištaisyti nebūtų galima, tad reiktų procesą kartoti. Todėl našesnis darbas pasiekiamas einant nuo skerspjūvio prie skerspjūvio ir, tik

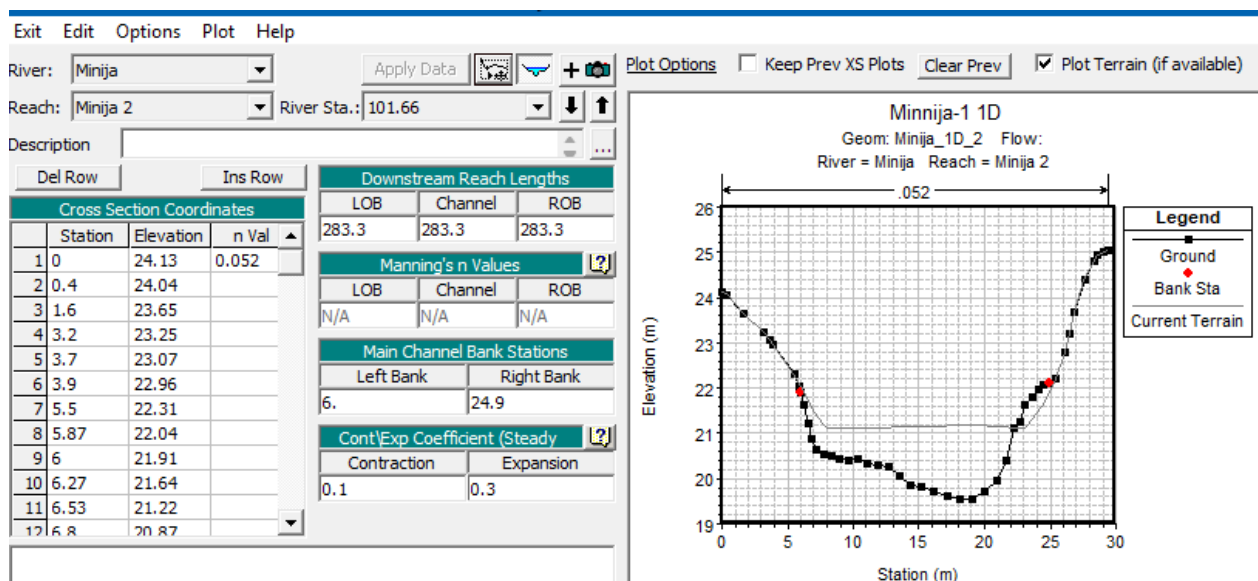
detaliai kiekvieną apdorojus, generuojama upės ruožo vaga. Ruožo ilgis nėra ribojamas, bet kuo ilgesnis ruožas tuo pajėgesnis reikalingas ir kompiuteris.

Proceso dalis iliustruota 3.6.2.3 ir 3.6.2.4 paveiksluose. Paveiksle 3.6.2.3 matome realų Minijos upės vagos SRM fragmentą be centrinės upės vagos dalies. Atliekant LIDAR skenavimą, upės vaga esanti po vandeniu nėra nuskenuojama, bet kadangi skenavimo metu vanduo buvo nusekęs, tad didesnė kranto šlaito dalis aprėpta ir SRM modelyje. Paveiksle izolinijos kas 0,5 m, tad šiuo atveju matome net 3 m šlaitą. Faktinė kranto linija šiuo atveju daug aukščiau nei vaizduoja raudona linija. Bet ir interpoliavimui reikalinga kranto linija įvedama apie 0,5 m aukščiau vandens paviršiaus, siekiant gauti maksimaliai sklandų interpoliuotos vagos dalies sujungimą su SRM. Matyti kiekvienas batimetrinių matavimų taškas su altitute ir upės vagos centrinė linija (mėlyna spalva), žalia spalva – skersinio pjūvio linija. Raudoni taškai yra mūsų norimi kranto taškai, kurie generuojami automatiškai pagal išvestos kranto linijos (raudonos) susikirtimą su skersinio pjūvio linija (žalia). Visi šie elementai iš 1D modelio. RasMapper yra vienas iš įrankių, kuris atlieka batimetrijos taškų pritraukimą prie tiesės pagal nuo taško iki tiesės keliamą statmenį.

Tokiu būdu gauname papildytą skersinį pjūvį, kuris parodytas 3.6.2.4 pav. Paveikslo dešinėje pusėje matome vertikalų upės vagos skersinį pjūvį, kuriame blyškia plona linija pavaizduotas SRM skersinis pjūvis, o žemiau jos esantys taškai iš batimetrinių matavimų papildo apatinę vagos dalį. Tie patys raudoni taškai rodo krantus, kurie atitinka raudonus taškus plane. Nežymūs skirtumai vis tiek atsiranda, kadangi nuo LIDAR skenavimo iki batimetrinių matavimų praėjo 3 metai, tad krantai gali būti pakitę.

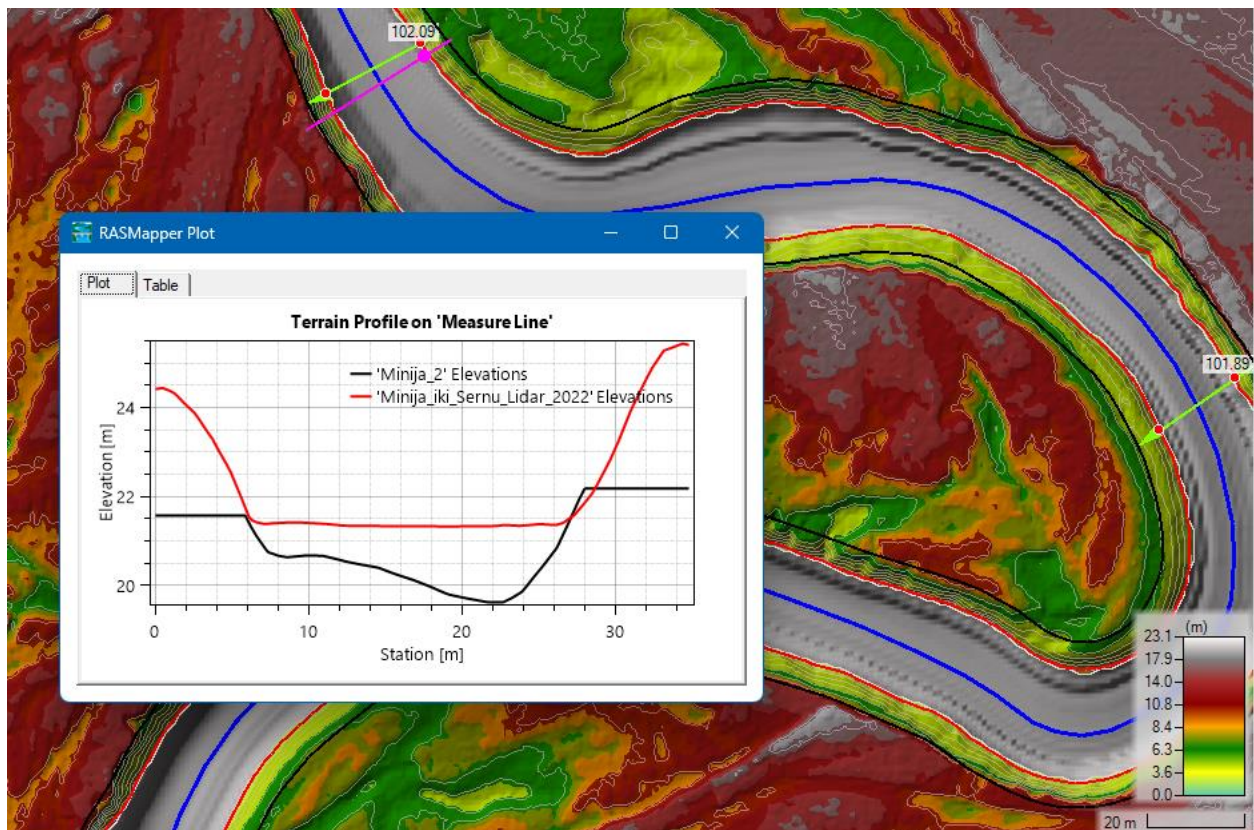


3.6.2.3 pav. Skersinio pjūvio 101,66 km planinis vaizdas

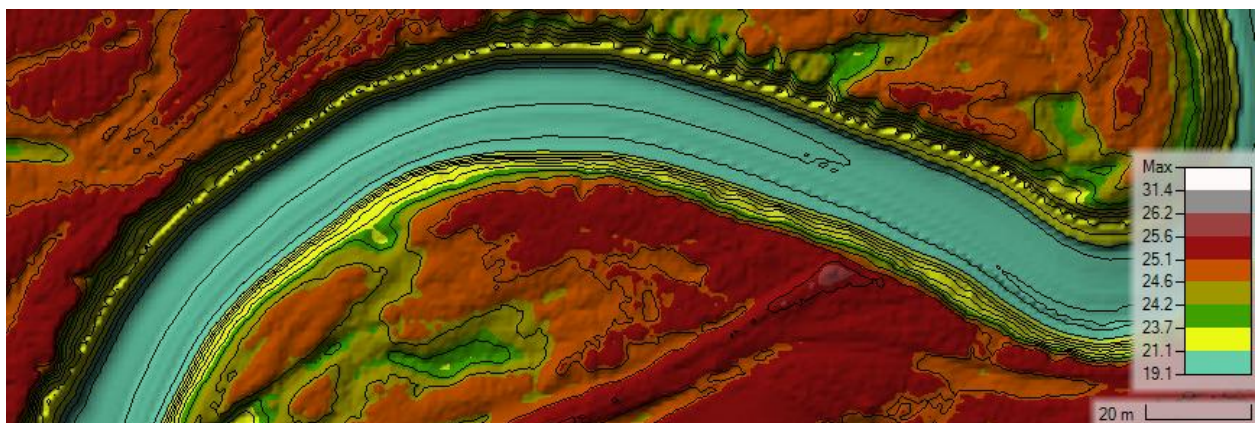


3.6.2.4 pav. Skersinio pjūvio 101,66 km vertikalus vaizdas

Iš išvardintų 6 etapų aptarėme tris. Šie trys etapai reikalauja itin daug darbo laiko ir ypatingo atidumo. Toliau procesai jau nesudėtingi ir viską atlieka programinė įranga. 1D modelio sugeneruotą vagos dugną eksportuojame į rastrinį failą (Geotif) ir iš jo kuriame upės vagos SRM. Dabar jau RasMapper darbalaukyje turime abu skaitmeninius modelius. Upės vagos SRM perdengtas virš LIDAR SRM (3.6.2.5 pav.). Skersiniame pjūvyje, padarytame dabar jau ne 1D modelio terpėje, o RasMapper, matome abu modelius ir nežymius netikslumus ties krantais. Šie nelygumai sušvelninami generuojant iš dviejų rastrų vieną, leidžiant atlikti švelnią interpoliaciją. Liko paskutinis etapas – integruoti abu modelius į vieną sluoksnį. Tą RasMapper taip pat atlieka be papildomų vartotojo pastangų, reikia tik tinkama eile nurodyti įkeliamus rastrinius sluoksnius. Upės vaga sąrašė privalo būti aukščiau. Galutinio vientiso SRM raiška 1 m, aukščių sistema – LAS07 (3.6.2.6 pav.). Tokio detalumo reljefo modelis pakankamas potvynių grėsmės žemėlapių kūrimui. Tai atlikta visiems modeliuojamiems upių ruožams.



3.6.2.5 pav. Sugeneruotas upės vagos SRM perdengtas virš LIDAR SRM. Minijos upė ties 102,9 km



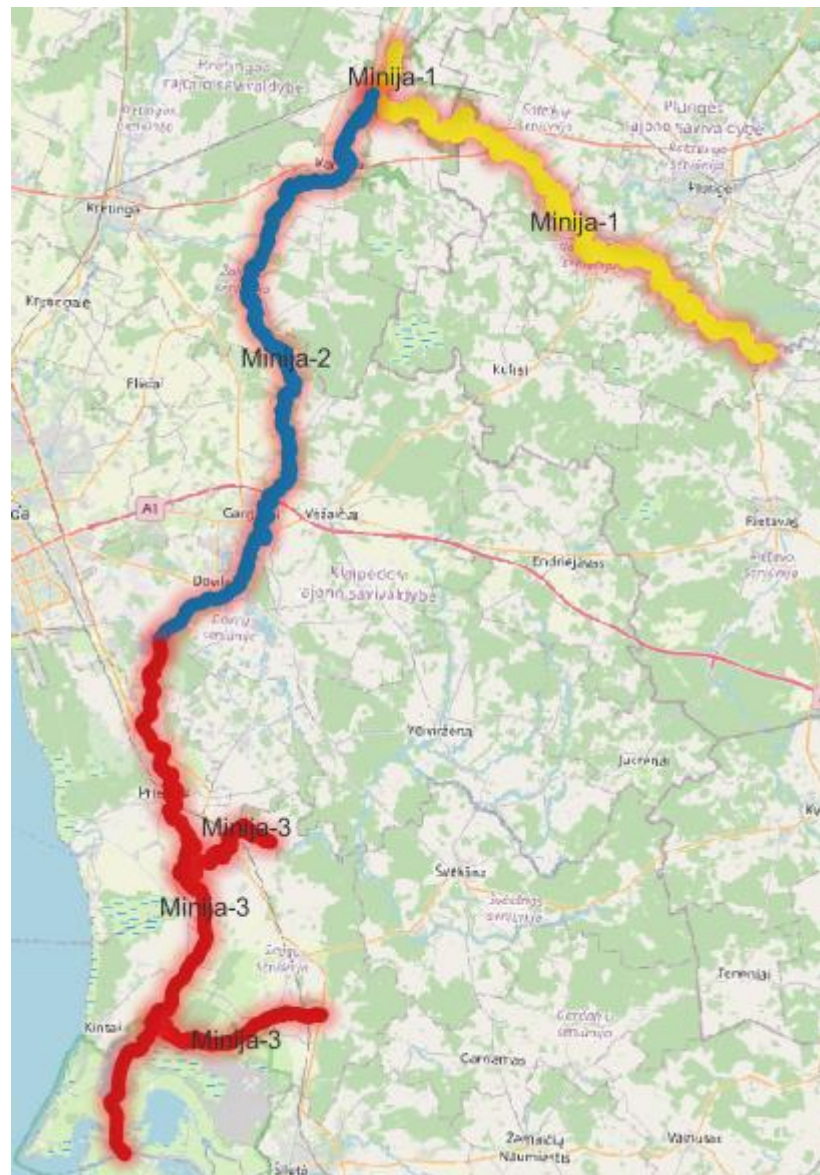
3.6.2.6 pav. Galutinio SRM fragmentas, Minijos upė ties 101 km

3.6.3. Hidrodinamikos modelių aprėptis

Jau buvo užsiminta, kad skaičiavimo greitis priklauso ne tik nuo HD modelio vidinių ypatybių, bet ir jo aprėpties. Šio projekto ilgiausias ruožas yra Minijos upė kartu su trimis intakais, tad kurti vieną modelį visai upei būtų sudėtinga ir reikėtų kompiuterio su itin produktyviu ir brangiu procesoriumi. HEC-RAS programinės įrangos kūrėjai nerekomenduoja kurti modelių su didesniu nei 100 000 skaičiavimo tinklo gardelių, o visą Minijos upės modeliuojamą ruožą sutalpinti į tokį skaičių, kad ir optimizuojant gardelių dydį, iš esmės yra neįmanoma. Be to, upės ypatybės aukštupyje ir žemupyje yra labai skirtingos, tad modelio derinimas būtų sudėtingesnis. Dėl to Minijos upės modeliuojamas ruožas dalinamas į tris HD modelius (3.6.3.1 pav.):

1. Nuo ruožo pradžios aukštupyje iki Kartenos miestelio įskaitant Salanto intaką;

2. Nuo Kartenos miestelio iki Šernų tilto kelyje 2202 (koordinatė: 330577, 6170438);
3. Nuo Šernų tilto iki žiočių.



3.6.3.1 pav. Hidrodinamikos modelių aprėptis Minijos baseine

Kiekvienas modelis su greta esančiu persidengs 2–3 km atstumu, kas leis išvengti paklaidų, susidarančių modelio pabaigoje. Atskirų modelių rezultatai bus jungiami į vieną ties tiltais, tad bus išvengta ir paklaidų derinant ištvinimo zonos ribas. Ilgiausias ruožas yra pirmas, apimantis aukštupį, su didžiausiais nuolydžiais, su gana giliai įsirėžusia vaga, kurios vidutinis plotis čia tik apie 25 m, o vidutinis slėnio plotis apie 100 m. Antras ruožas yra gerokai trumpesnis, bet čia upei pasukus į pietus, nuolydis stipriai sumažėja, o vaga išplatėja vidutiniškai iki 30–35 m, tačiau krantai išlieka pakankamai aukšti, o slėnio pločio vidurkis apie 700 m. Trečias ruožas yra sudėtingiausias, kadangi čia tik iki Priekulės upės dar turi išreikštą slėnį, kuris nuo Veiviržo žiočių labai išplatėja ir galiausiai visai išnyksta. Čia upės salpoje įrengta daug vasarinių ir žieminių polderių sistemų, tad rengiant HD modelių šių sistemų integravimas reikalauja daug atidaus darbo ir papildomos informacijos apie pylimus, siurbles ir kitus statinius.

Smeltalės ir Strėvos modeliuojami ruožai nėra tokie ilgi, tad nėra poreikio juos skaidyti dalimis. Taigi iš viso bus parengti 5 hidrodinamikos modeliai.

Modeliams rengti sugeneruoto SRM aprėptis nustatyta Minijos upei pagal 2014 metų žemėlapius su 100 m atsarga, o Smeltalei ir Strėvai – vizualiai pagal reljefą. Strėvos upei dar buvo galimybė preliminariai įvertinti galimo ištvvinimo ribas pagal stebėtus vandens lygius.

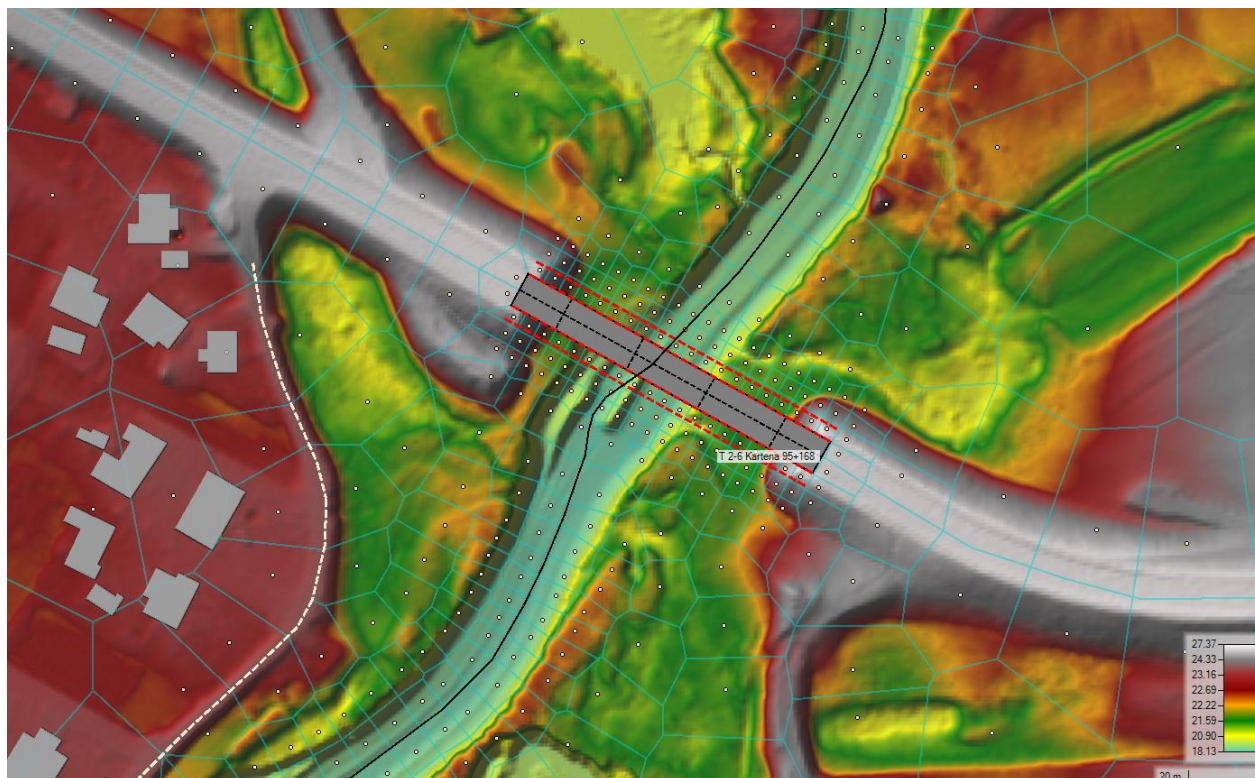
3.6.4. Modelio skaičiavimo tinklas

Modeliavimo tikslumas ir skaičiavimo laiko sąnaudos priklauso nuo tinkamai sukurto skaičiavimo tinklo (angl. „mesh“). Tinkamai optimizavus tokius parametrus, kaip skaičiavimo gardelės forma ir dydis, bei atsižvelgiant į svarbiausių ir didžiausių įtaką hidrodinamikos modeliui darančių objektų tinkamą integravimą į skaičiavimo tinklą, galima pasiekti norimą tikslumą su optimaliomis laiko sąnaudomis. Skaičiavimo tinklo fragmentas (3.6.4.1 pav.) ties Kartenos miestelio dalimi ir tiltu kelyje A11 iliustruoja, kaip modelyje teisingai atspindėtos kelių ir pylimų sankasos, kaip integruotas pats tiltas ir pylimas, apsaugantis dešiniame krante esančius pastatus.

Pirmiausia sukuriamas HD modelio perimetras. Tai poligonas, už kurio skaičiavimai nevykdomi. Poligono riba neturi niekada būti apsemta, tad jis išvedamas preliminariai pagal reljefą ar kitą turimą informaciją. Vėliau, kai gaunami preliminarūs rezultatai, perimetras gali būti koreguojamas, siekiant sumažinti gardelių skaičių. Perimetro kūrimas turi būti vykdomas prisilaikant tam tikrų taisyklių, kitaip ties modelio riba bus gaunamos netinkamos formos gardelės ir skaičiavimas nebus vykdomas. Antras žingsnis – pasirinkti gardelės formą ir dydį. Šiuo atveju pasirinktos korio formos gardelės su 50 m atstumu tarp vertikalių kraštinių. Tokios gardelės sugeneruojamos visam perimetrui. Tada žinome gardelių skaičių ir galime planuoti jų sutankinimą būtinose vietose iki tiek, kad neviršytume priimtino gardelių skaičiaus. Neturint patirties, iš pirmo karto dažniausiai to padaryti nepavyksta, tad tenka didinti pirmo žingsnio gardelių matmenis ir generuoti gardelių tinklą pakartotinai.

Turint pastovių gardelių tinklą, pereinama prie gardelių tankinimo. Pirmiausia mažesnių matmenų gardelės generuojamos upės vagai. Siekiama, kad tėkmės kryptis upės vagoje visada būtų statmena tinklo gardelių kraštinėms. Tam tikslui RasMapper sukuria taip vadinamas lūžio linijas. Jas taip pat galima importuoti iš išorinių GIS failų. Šuo atveju pasinaudojame UETK upių ašinėmis linijomis, jas atitinkamai pakoregavę (linija privalo būti vienos krypties ir be trūkių). Tuomet RasMapper generuoja stačiakampes gardeles apie šią liniją su nurodytais matmenimis ir pakartojimų skaičiumi. Šiuo atveju pakartojamos dvi nurodytų gardelių su pasirinktais matmenimis juostos iš abiejų „breakline“ pusių, o toliau laipsniškai didinant gardelių matmenis, tinklas sujungiamas su periferijoje esančiomis pradinių matmenų gardelėmis.

Šis procesas analogiškai kartojamas integruojant ir pylimus bei kelius, tik čia galima pasirinkti ir didesnius gardelės matmenis, priklausomai nuo to, kokio lygumo yra pylimo ar kelio išilginis profilis. 3.6.4.1 paveiksle matome baltą punktyrinę liniją parodytą pylimą ir abiejose jo pusėse išdėstytas gardeles taip, kad jų bendra kraštinė eina pylimo aukščiausiomis vietomis. Tokiu būdu, skaičiuojant gardelės sienelės pralaidumą, galima užtikrinti, kad srovė pratekės per pylimą tik tada, kai vandens lygis viršys pylimo aukštį. Atlikus modeliavimą, jei vanduo prateka per pylimo keterą, tai galima tiksliai nustatyti, kur yra ši vieta ir priimti atitinkamus sprendimus.

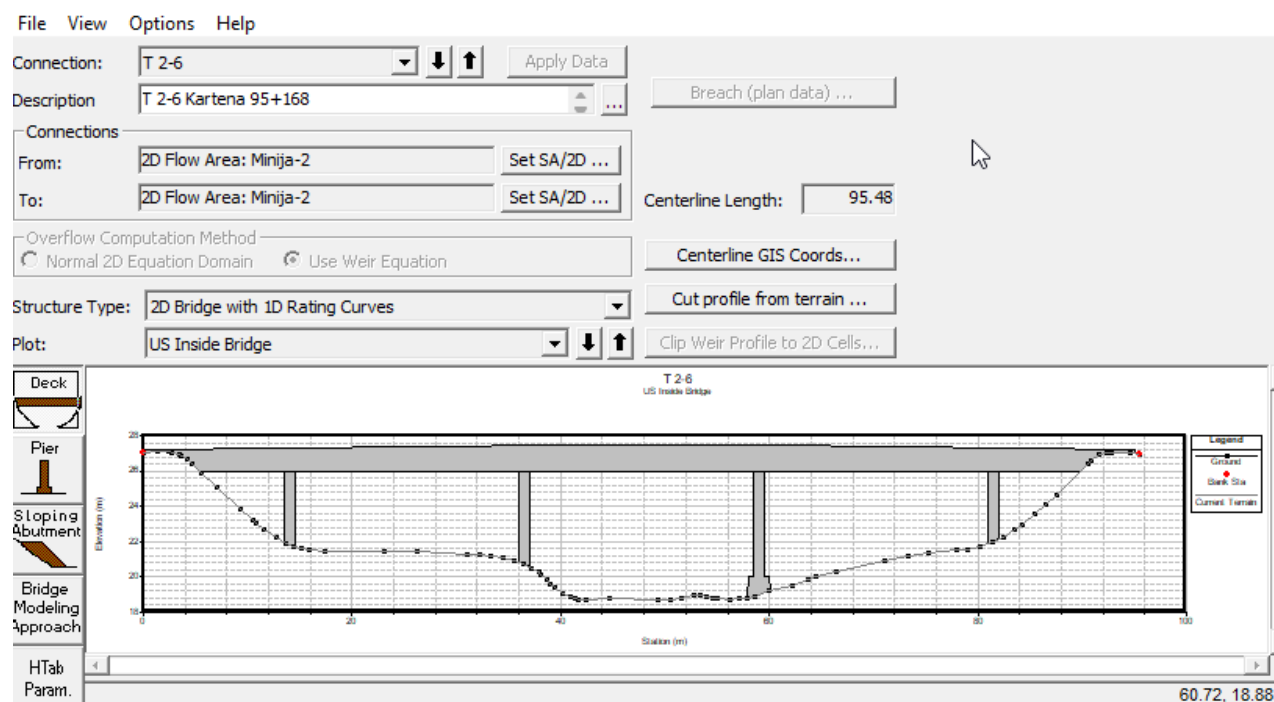


3.6.4.1 pav. Hidrodinamikos modelio skaičiavimo tinklo fragmentas ties Kartenos miestelio dalimi ir tiltu Kelyje A11

Tokiu pat būdu galima tobulinti skaičiavimo tinklą įvedant visus kelius ir pylimus bei upės krantus, kur yra didelis skardis ar kitokie reljefo nelygumai, dėl kurių gautume netikslias ištvvinimo ribas.

Tiltai ir kiti hidrotechniniai statiniai, kaip pralaidos ar siurblinės su automatiniais vartais, įvedamos kiek kitaip. Čia yra sukuriamą zona, kurioje skaičiavimai iš 2D pereina į 1D. Paveiksle 3.6.3.1 matome integruotą Kartenos tiltą. Tam reikia žinoti pakankamai tikslus matmenis. Pirmiausia įvedama tilto centrinė ašis ir nurodomas tilto plotis bei atstumas iki išorinio skersinio pjūvio, kuris jungs tilto 1D zoną su išorėje esančiu 2D gardelių tinklu. Tą RasMapper padaro automatiškai, taip pat pakeisdamas ir gardelių tinklą. Matome, kad tiltui sukurtos naujos gardelės, kurios sklandžiai įjungtos į 2D tinklą.

Kiti tilto parametrai įvedami jau ne RasMapper aplinkoje. Tam naudojamės kita duomenų rengyklės forma (3.6.4.2 pav.).



3.6.4.2 pav. Papildomų tilto parametrų įvedimo forma

Čia nurodomas tilto identifikavimo kodas T 2-6, jo aprašas ir sujungimas (Connection), kuris rodo, kad šiuo atveju statinys yra modelio „2D Flow Area:Minija-2“ viduje. Šioje formoje taip pat nurodomi perdangos matmenys (3.6.4.3 pav.), atramų matmenys (3.6.4.5 pav.) ir pasirenkamos skaičiavimo lygtys (3.6.4.4 pav.), pagal kurias bus skaičiuojami tėkmės energijos nuostoliai tilto zonoje.

Distance	Width	Weir Coef
4.	10.	1.66

Upstream				Downstream		
	Station	high chord	low chord	Station	high chord	low chord
1	0	27.2	26	0	27.2	26
2	40	27.5	26	40	27.5	26
3	60	27.5	26	60	27.5	26
4	95	27.2	26	95	27.2	26
5						
6						
7						
8						

U.S Embankment SS
 D.S Embankment SS

Weir Data
 Max Submergence:
 Min Weir Flow El:

Weir Crest Shape
☒ Broad Crested
☐ Ogee

3.6.4.3 pav. Tilto perdangos matmenų užpildymo forma

Tilto perdanga modelyje traktuojama kaip platus slenkstis, ir naudojamos atitinkamos lygtys skaičiuoti persiliejumus. Energijos nuostoliams skaičiuoti yra kelios opcijos, iš kurių galima rinktis vieną atskirą (kaip parodyta 3.6.4.4 pav.), arba naudoti visus tris metodus, nurodant, kad būtų pateikiamas rezultatas su didžiausiais energijos nuostoliais. Įvedant tilto atramas (3.6.4.5 pav.), galima nurodyti ir galimų plūduriuojančių objektų matmenis, kurie užkliūtų už atramų ir trukdytų pratekėjimą. Tai gali būti tiek nuvirtę medžiai, tiek ledo lytis.

3.6.4.4 pav. Energijos nuostolių skaičiavimo metodų parinkimo forma

	Upstream		Downstream	
	Pier Width	Elevation	Pier Width	Elevation
1	2.5	18	2.5	18
2	2	20	2	20
3	1	20	1	20
4	1	26	1	26
5				

3.6.4.5 pav. Tilto atramų matmenų įvedimo forma

Informacija apie tiltus buvo surinkta iš įvairių šaltinių, įskaitant nuotraukas (3.6.4.6 pav.). Analogiškai į 2D modelį įtraukiami ir kiti statiniai (siurblynės, tiltai, šliuzai). Jei norime žinoti ne tik persiliejo per pylimą faktą, bet ir per jį pratekėjusį vandens kiekį, tada pylimą traktuojame analogiškai kaip ir tilto atveju, kaip platų slenkstį. Bet jei nereikia didelio tikslumo, galima tiesiog įvesti taip vadinamą „Reference line“ kuri apjungia nurodytas gardeles ir suskaičiuoja per kiekvieną gardelę pratekėjusio vandens kiekio suminį rezultatą.



3.6.4.6 pav. Raguviškių tilto vaizdas. E. Martinaičio nuotrauka

3.6.5. Reljefo paviršiaus dangos įvertinimas

Modeliuojant tėkmę, vienas iš pagrindinių parametrų, įvertinantis pasipriešinimo jėgas vandens srautui kontaktuojant su dugnu, yra Maningo šiurkštumo koeficientas, žymimas simboliu “n”. Atliekant atskirų statinių (tarkim pralaidų) arba melioracijos griovių hidraulinius skaičiavimus galime remtis normatyviniuose dokumentuose siūlomomis šio koeficiento reikšmėmis, kurios nustatytos atlikus daugybę lauko ir laboratorinių eksperimentų su šiais statiniais. Deja, upės vagų ir slėnių Lietuvoje tyrimų beveik nėra, tad tenka remtis pasaulinėje literatūroje rekomenduojamomis reikšmėmis pagal žemės paviršiaus dangos pobūdį. Tarkim, kelio paviršius žvyruotas ar dengtas asfaltu, pieva apaugusi vienokia ar kitokia žole ar nušienauta, miško plotas, krūmai ir taip toliau. Kiekvienam dangos tipui lentelėse galime surasti tinkamą koeficiento n reikšmę. HEC-RAS vartotojo vadove taip pat talpinamos tokios lentelės, kuriomis ir naudojomės šiame darbe. Tačiau HD modeliai apima didelius plotus, tad čia naudojames jau surinkta ir susisteminta informacija. Projektui būtini GIS duomenys gali būti panaudoti iš dviejų šaltinių. Prieinamiausia šiuo atveju yra [CORINE](#) duomenų bazė, tačiau ji sudaryta naudojant palydovu gautas nuotraukas, o gauti rezultatai yra 10×10 m. Jie neįvertina smulkesnių objektų, tokių kaip keliai, pylimai ir kiti sąlyginai linijiniai objektai.

Todėl pasinaudojome daug detalesne žemės dangos informacija, pateikta Georeferencinio pagrindo kadastro erdvinių duomenų rinkinyje GRPK. Naudojant šį rinkinį, kiekvienam dangos tipui pagal atributą GKODAS iš HEC-RAS vartotojo vadovo ir Lietuvoje galiojančių normatyvų parinkome atitinkamas n reikšmes. Toks vektorinių duomenų sluoksnis sudarytas kiekvienam HD modeliui. RasMapper importuoja šį sluoksnį ir sukuria skaičiavimams tinkamą sluoksnį „LandCover“ vektorinius duomenis konvertuodamas į rastrinius.

Kuriant šį sluoksnį, galime pasirinkti norimą rastro pikselio dydį. Šiuo atveju parinktas 1 m, kuris atitinka naudojamo SRM pikselio dydį. Prieš konvertuojant vektorinį sluoksnį į rastrą, upės vagą reprezentuojantis plotas su atitinkamu GKODU sudalinamas į smulkesnes dalis, vietoj buvusio kodo kiekvienai upės vagos daliai suteikiant kitą kodą. RasMapper įrankiu sukurtas “LandCover” sluoksnio fragmentas parodytas 3.6.5.1 pav.



3.6.5.1 pav. „LandCover“ sluoksnis su parinktomis n reikšmėmis

Vagos poligonas sudalinamas į dalis, prieš tai atidžiai išstudijavus vagos būklę, užaugimą vandens augmeniją, nuvirtusius medžius ir kitas ypatybes, remiantis batimetrijos vykdytojų pastabomis ir pateikta vaizdine medžiaga (3.6.5.2 ir 3.6.5.3 pav.).



3.6.5.2 pav. Minija aukštupyje ties Babrungu. Vagos būklė batimetrinių matavimų metu 2025 metais. E. Martinaičio nuotrauka



3.6.5.3 pav. Minija ties Gargždais 55,2 km. Vagos būklė batimetrinių matavimų metu. E. Martinaičio nuotrauka

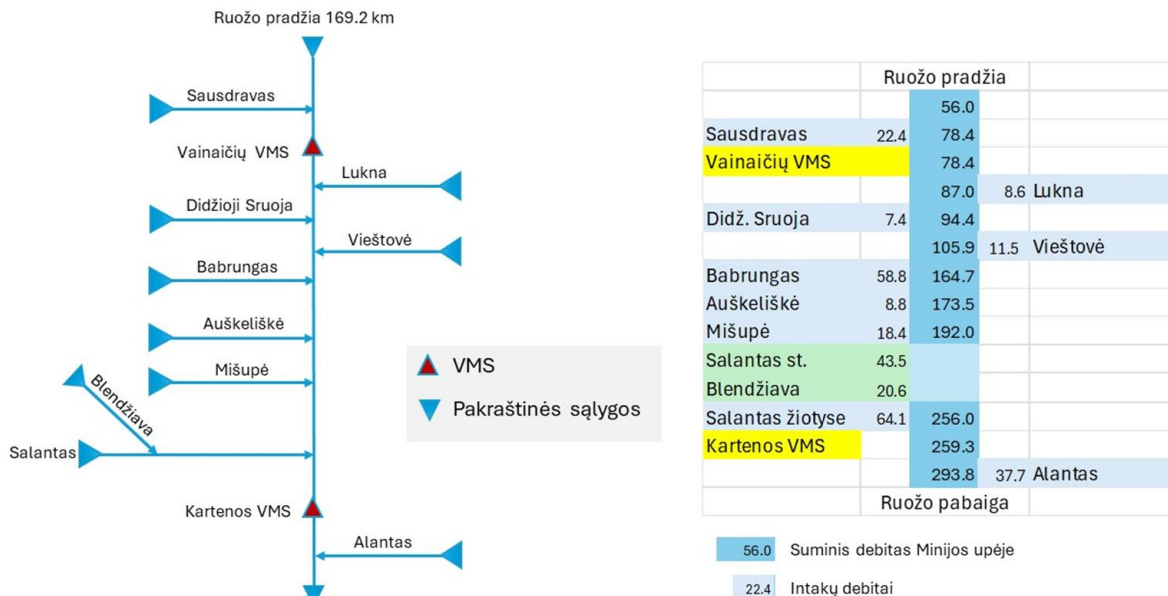
Land Cover sluoksnis turi atributų lentelę (3.6.5.4 pav.), kuri gali būti redaguojama. Lentelėje matome naujai sukurtus kodus, tokius kaip Min9 Min7 ir kitus, kurių nėra GRP duomenų rinkinyje. Jie, kaip jau minėta, atsiranda dalinant upės vagos poligoną dalimis. Modelio kalibravimo metu juos galima koreguoti. Koregavimui yra ir papildomas būdas, jei reikia naują šiurkštumo koeficientą priskirti didesniems plotams.

ID	Name	ManningsN	Percent Impervious	Spiral Intensity Source
20	hd3	0.033		
21	ms4	0.071		
22	vg2	0.2		
23	vp1	0.13		
24	ek0	0.082		
25	mj0	0.14		
26	Min6	0.026		
27	Min9	0.034		
28	T6	0.038		
29	Min8	0.036		
30	Min7	0.036		
31	T5	0.036		
32	Min2	0.036		
33	T4	0.036		
34	Min5	0.036		

3.6.5.4. pav. Maningo koeficientų n reikšmių lentelė

3.6.6. Modelio kraštinės sąlygos

Iki šiol aptarėme hidrodinamikos modelio kūrimo etapus, kurie atspindi modeliuojamo upės ruožo geometrines formas arba morfometrines savybes bei paviršiaus pasipriešinimą tėkmei įvertinančius veiksnius. Modelio kraštinės sąlygos kontroliuoja vandens masės balansą modelyje ir yra labai svarbios rezultatų tikslumui, todėl jos turi būti parinktos kiek įmanoma tiksliau. 2D hidrodinamikos modelio Minija-1 kraštinių sąlygų schema pateikta 3.6.6.1 paveiksle.



3.6.6.1 pav. Kraštinių sąlygų išdėstymo schema. HD modelis Minijs-1

Remiantis šia schema HEC-RAS atitinkamoje formoje nustatome reikiamas kraštines sąlygas „Boundary conditions“. Šioje formoje nurodyta, kokias kraštines sąlygas ir kokiais atvejais galime naudoti (3.6.6.2 pav.). Kai sąrašas pasirinkta HD modelio pradžia (įtekėjimo sąlygos), leistinos kraštinės sąlygos pajuodinamos ir modeliuotojas gali rinktis vieną iš jų. Modeliuojant potvynių vandens lygius dažniausiai pasirenkamas debitas („Flow hydrograph“). Kitos sąlygos yra galimos, bet jos naudojamos tik tada, jei neturime galimybės nustatyti debito. Debitų skaičiavimo metodika aptarta hidrologinių skaičiavimų skyriuje. Kadangi ruožas Minijs-1 pradžioje ir gale turi vandens matavimo stotis, tai čia kraštines sąlygas galima nustatyti pakankamai tiksliai. Schemoje (3.6.6.1 pav.) geltonai paryškintos VMS, kuriose debitai apskaičiuoti remiantis daugiamečių stebėjimų duomenimis. Intakų debitai tarp šių VMS nustatyti naudojant laipsninę funkciją pagal prietakos baseino plotą ir atraminių VMS debitus. Schemoje pateikti 1 procento tikimybės VMS debitai, suminis Minijos debitas ir intakų debitai.

Ruožo pabaigoje kaip kraštinė sąlyga šiuo atveju bus naudojamas vandens paviršiaus nuolydis. Taip pat galima naudoti ir vandens lygio hidrografą arba debitų kreivę, jei turime pakankamai tikslus duomenis. Kadangi, kaip jau minėta, HD modeliai persidengia, tai ir šiuo atveju HD modelis Minijs-1 baigiasi apie 3,5 km žemiau Kartenos VMS, tad derinant modelį, patogiau derinti nuolydį, tikrinant paskaičiuotą atitinkamos tikimybės vandens lygį ties Kartenos VMS. Detaliau tai bus aprašyta modelio derinimo skyrelyje.

Boundary Conditions | Initial Conditions | Meteorological Data | Observed Data

Boundary Condition Types

Stage Hydrograph	Flow Hydrograph	Stage/Flow Hydr.	Rating Curve
Normal Depth	Lateral Inflow Hydr.	Uniform Lateral Inflow	Groundwater Interflow
T.S. Gate Openings	Elev Controlled Gates	Navigation Dams	IB Stage/Flow
Rules	Precipitation		

Add Boundary Condition Location

Add RS ... Add SA/2D Flow Area ... Add Conn ... Add Pump Sta ... Add Pipe Node ...

Select Location in table then select Boundary Condition Type

	River	Reach	RS	Boundary Condition
Storage/2D Flow Areas				
				Boundary Condition
1	Minija_Kartena	BCLine: Salantas		Flow Hydrograph
2	Minija_Kartena	BCLine: Blendziava		Flow Hydrograph
3	Minija_Kartena	BCLine: Minija Start		Flow Hydrograph
4	Minija_Kartena	BCLine: Sausdravas		Flow Hydrograph
5	Minija_Kartena	BCLine: babrungas		Flow Hydrograph
6	Minija_Kartena	BCLine: Alantas		Flow Hydrograph
7	Minija_Kartena	BCLine: Lukna		Flow Hydrograph
8	Minija_Kartena	BCLine: Didzioji Sruoja		Flow Hydrograph
9	Minija_Kartena	BCLine: Viestove		Flow Hydrograph
10	Minija_Kartena	BCLine: Auskeliske		Flow Hydrograph
11	Minija_Kartena	BCLine: Misupe		Flow Hydrograph
12	Minija_Kartena	BCLine: Kartena		Normal Depth

3.6.6.2 pav. HD modelio kraštinių sąlygų įvedimo forma

Be kraštinių sąlygų, dar būtina įvesti ir pradinės sąlygas, kurios aprašo tėkmės būseną skaičiavimų pradžioje. HEC-RAS leidžia pradėti skaičiavimus nuo „sausos“ vagos. Tam naudojama procedūra „Warming up“ nurodant atitinkamą valandų skaičių. Šios procedūros metu vandens lygis pakeliamas iki nurodyto pradinės sąlygos ir per nurodytas valandas sukuria artimą nusistovėjusiai tėkmei ir šią būseną fiksuoja. Tada pereina į kitą etapą ir jau naudoja hidrografą, pateiktą kraštinių sąlygų formoje. Tai gerokai palengvina užduotį, nes ankstesnėse versijose reikėdavo gana tiksliai numatyti pradinės sąlygas, kurias parinkti nebuvo lengva, todėl dažnai modelis tik pradėjęs skaičiavimą sustodavo. Dabartinė versija to leidžia išvengti. Po pirmo skaičiavimo gautas rezultatas vėl gali būti naudojamas kaip pradinės sąlygos ir skaičiavimas tol kartojamas, kol pasiekiamas reikiamo tikslumo rezultatas.

Analogiškai kraštinės ir pradinės sąlygos aprašomos ir kituose HD modeliuose.

IŠVADOS

Tiriamuoju laikotarpiu (1960–2024 m.) ledas upes padengdavo vis vėliau, o suirdavo vis anksčiau, todėl ir ledo dangos trukmės nuosekliai mažėjo: pirmuoju klimato normos laikotarpiu (KNL) pastovi ledo danga upes dengė 65 paras, o antruoju – tik 33 paras.

Ledo sangrūdų parametrų (jų pasikartojimo dažnis ir vidutinė trukmė) analizė parodė didelę metinę kaitą. Nenustatyta aiškaus ryšio tarp stebėtų sangrūdų rodiklių ir kritinio vandens lygio viršijimo atvejų tirtose upėse. Ledo sangrūdų sukeltų potvynių skaičius (kuomet viršijamas kritinis vandens lygis) turi mažėjimo tendenciją: pirmuoju KNL tokių atvejų skaičius vidutiniškai per metus būdavo 2,4, o antruoju – 1,6. Nors ir ledo sangrūdų sukeltų potvynių skaičius yra linkęs mažėti, tačiau juos prognozuoti vis dar yra labai sunku. Todėl ateityje būtų tikslinga tęsti tyrimus, kuris leistų detalai ištirti ledo sangrūdų formavimosi mechanizmą visose Lietuvos upėse, ir sukurti statistinį modelį šių reiškinių prognozavimui.

Tiriamoje Lietuvos teritorijoje 1995–2014 m. vidutinė metinė oro temperatūra kito nuo 6,4 °C Laukuvoje iki 8,3 Nidoje °C. Šilčiausias mėnuo buvo liepa (18,7 °C), o šalčiausias – sausis (-3,5 °C). Remiantis klimato modelių duomenimis nustatyta, kad ateityje temperatūra kils. Artimoje perspektyvoje vidutinė metinė oro temperatūra pakils nuo 1,3 °C (SSP2-4.5) iki 1,9 °C (SSP5-8.5), o tolimoje perspektyvoje nuo 2,7 °C (SSP2-4.5) iki 5,6 °C (SSP5-8.5) lyginant su GKM ansamblio vidurkiu istoriniu laikotarpiu (1995–2014 m.).

1995–2014 m. laikotarpiu vidutinis metinis kritulių kiekis didžiausias buvo Telšiuose (803 mm), o mažiausias Dotnuvoje (569 mm). Daugiausiai kritulių iškrisdavo liepą (84,4 mm per mėn.), o mažiausiai – balandį (34,5 mm per mėn.). Išanalizavus 10 GKM ansamblio duomenis nustatyta, kad artimoje perspektyvoje kritulių kiekis didės nuo 4,1 % (SSP5-8.5) iki 6,4 % (SSP2-4.5), o tolimoje perspektyvoje nuo 9,9 % (SSP2-4.5) iki 12,4 % (SSP5-8.5) lyginant su GKM ansamblio vidurkiu istoriniu laikotarpiu (1995–2014 m.).

Remiantis ERA5-Land reanalizės duomenimis buvo įvertintas bendras nuotėkis Lietuvos teritorijoje. Šio rodiklio vidutinė metinė reikšmė Lietuvos teritorijoje 1995–2014 m. laikotarpiu buvo 231 mm. Tuo tarpu didžiausias bendras nuotėkis vyravo centrinėje Žemaičių aukštumos dalyje (iki 340 mm), o mažiausias pietinėje Lietuvos dalyje ir Vidurio Lietuvos šiaurėje (iki 175 mm). Didžiausias bendras nuotėkis istoriniu laikotarpiu vyravo kovo–balandžio mėnesiais (vidutiniškai 32 mm), o mažiausias rudens mėnesiais (nuo 9,3 iki 10,2 mm).

Įvertinus 10 GKM ansamblio išvesties duomenis nustatyta, kad pagal SSP2-4.5 scenarijų prognozuojamas vidutinio metinio bendro nuotėkio padidėjimas tiek artimoje (10 %), tiek ir tolimoje perspektyvoje (11,2 %). Nors pagal SSP5-8.5 vidutinis metinis bendras nuotėkis beveik nepasikeis artimoje perspektyvoje, tačiau bus ženklus persiskirstymas tarp sezonų, t. y. bendro nuotėkio padidėjimas šaltaisiais metų mėnesiais ir sumažėjimas šiltuoju laikotarpiu. Šį dėsnį patvirtino ir trijų atraminių upių pabaseinių (Minijos, Mūšos ir Šventosios) analizė, nes visuose upių pabaseiniuose sausio ir vasario mėnesiais buvo prognozuojamas bendro nuotėkio padidėjimas. Tik Minijos upėje jis buvo išreikštas labiausiai, nes tolimoje perspektyvoje prognozuojamas padidėjimas (iki 53,5 % pagal SSP5-8.5) vasario mėnesį buvo 19,8–22,9 % didesnis nei likusiuose pabaseiniuose.

Atlikus Strėvos, Smeltalės bei Minijos baseino upių nuotėkio modeliavimą nustatyta, kad artimoje perspektyvoje (2031–2050 m.) vidutinis metinis nuotėkis bus nežymiai didesnis (6,4 %) arba mažesnis (5,7 %) nei GKM ansamblio vidurkis istoriniu laikotarpiu (1995–2014 m.). Tačiau tolimoje perspektyvoje (2081–2100 m.) prognozuojamas metinio nuotėkio sumažėjimas iki 12,1 % lyginant su istoriniu laikotarpiu. Taip pat laukiami nuotėkio pokyčiai atskirais sezonais, kurie didžiausi bus tolimoje perspektyvoje pagal SSP5-8.5 scenarijų: žiemą nuotėkis didės iki 44,4 %; pavasario ir vasaros sezonų nuotėkis sumažės atitinkamai iki 44,9 % bei iki 48,0 % lyginant su istoriniu laikotarpiu. Tuo tarpu rudens sezonais nuotėkis Minijos baseino upėse bei Smeltalėje bus 9,1 % mažesnis arba 5,4 % didesnis nei istoriniu laikotarpiu, tačiau Strėvoje tikėtinas nuotėkio sumažėjimas iki 32,5 %.

LITERATŪRA

- Anderson, T. W., Darling, D. A., 1954. A Test of Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, 49(268), 765–769. <https://doi.org/10.1080/01621459.1954.10501232>
- Akstinas, V., Meilutytė-Lukauskienė, D. and Kriaučiūnienė, J., 2018. *Consequence of meteorological factors on flood formation in selected river catchments of Lithuania*. *Meteorological Applications*, 26, pp.232–244. <https://doi.org/10.1002/met.1757>
- Akstinas, V., 2019. *Lietuvos upių potvynių ir jų rizikos vertinimas klimato kaitos sąlygomis* [Daktaro disertacija, Lietuvos energetikos institutas]. <https://www.lei.lt/wp-content/uploads/2019/06/disertacija-vytautas-akstinas.pdf>
- Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P.W., Trisos, C., Romero, J., et al., 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* First Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, Switzerland. <https://10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>
- Cannon, A. J., Sobie, S. R., & Murdock, T. Q., 2015. Bias Correction of GCM Precipitation by Quantile Mapping: How Well Do Methods Preserve Changes in Quantiles and Extremes? *Journal of Climate*, 28(17), 6938–6959. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-14-00754.1>
- Copernicus Land Monitoring Service, 2018. *CORINE Land Cover*. Prieiga: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>. Tikrinta: 2026 m. balandžio 9 d.
- England, J. F., Jr., Cohn, T. A., Faber, B. G., Stedinger, J. R., Flynn, K. M., Ryberg, K. R., & Reese, R. S. (2019). *Guidelines for determining flood flow frequency—Bulletin 17C* (Techniques and Methods, report 4–B5). U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/tm4B5>
- Gailiusis, B., Jablonskis, J. and Kovalenkoviienė, M., 2001. *Lietuvos upės: Hidrografija ir nuotėkis*. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas.
- Gailiusis, B., Kinderis, Z., Lietuvninkas, G., Ruplys, B., Vaišnoras A. 2017. *Lietuvos tvenkinių žinynas*. Vilnius: Projektų analizės institutas, p. 332. ISBN 978-609-8082-28-9.
- HEC-RAS. Documentation Home Page, Release Notes, Training, Guides and Tutorials, Reference Documents, PDF Documentation Alternative. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation.aspx>. Tikrinta: 2026 m. balandžio 20 d.
- Hosking, J. R. M., Wallis, J. R. 1987. *Parameter and quantile estimation for the generalized Pareto distribution*. *Technometrics*, 29(3), 339–349. <https://doi.org/10.1080/00401706.1987.10488251>
- IPCC, 2023. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.). Geneva, Switzerland: IPCC, pp.35–115. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- Jia, Q. Y., Sun, F. H. 2012. *Modeling and forecasting process using the HBV model in Liao River Delta*. *Procedia Environmental Sciences*, 13, pp.122–128.
- Kobold, M. and Brilly, M., 2006. *The use of HBV model for flash flood forecasting*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6(3), pp.407–417.
- Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 1960–2024. *Hidrologiniai metraščiai*.
- Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 1995–2014. *Meteorologiniai metraščiai*.

- Macevičius, J. Lietuvos upių metinio nuotėkio periodiniai svyravimai. Geografinis metraštis II. Vilnius, 1959. Macevičius, J. Lietuvos upių hidrologinių charakteristikų skaičiavimo metodai. Kaunas, 1969.
- Over, T. M., Tasker, G. D., Kiang, J. E., 2015. Flood frequency analysis using generalized distributions and bootstrap confidence intervals. *Journal of Hydrology*, 529, 1187–1199. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.09.019>
- Ritter, A., Muñoz-Carpena, R., 2013. Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *J. Hydrol.* 480, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.12.004>
- Singh, V. P., Jaromi, A., Rathnayake, U., 2021. Some best-fit probability distributions for at-site flood frequency analysis of the Ume River. *Journal of Flood Risk Management*, 14(4), e12768. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12640>
- SMHI, 2005. *Integrated Hydrological Modelling System: Manual. Version 5.8.*
- Sunyer, M. A., Madsen, H., Ang, P. H., 2012. A comparison of different regional climate models and statistical downscaling methods for extreme rainfall estimation under climate change. *Atmospheric Research*, 103, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.06.011>
- Šarauskienė, D., Akstinas, V., Kriaučiūnienė, J., Jakimavičius, D., Bukantis, A., Kažys, J., Povilaitis, A., Ložys, L., Kesminas, V. and Virbickas, T., 2018. *Projection of Lithuanian river runoff, temperature and their extremes under climate change*. *Hydrology Research*, 49(2), pp.344–362. <https://doi.org/10.2166/nh.2017.007>
- Urnėžiūtė, D. (2012). *Minijos upės baseino hidrologinių charakteristikų tyrimas* [Magistro darbas, Vytauto Didžiojo universitetas]. <https://portalcris.vdu.lt/server/api/core/bitstreams/0c5e83b1-ad5c-4d8b-9bdd-750e8e3bf176/content>

PRIEDAI

PRIEDAS NR. 1
PRIE PAPILDOMO SUSITARIMO PRIE 2024-12-02 JUNGTINĖS VEIKLOS
(PARTNERYSTĖS) SUTARTIES NR. CS 75
POTVYNIŲ GRĖSMĖS MODELIAVIMO TECHNINĖ UŽDUOTIS

1. SĄVOKOS IR SUTRUMPINIMAI

- 1.1. Projekto vykdytojas – biudžetinė įstaiga **Aplinkos apsaugos agentūra**;
- 1.2. Projekto partneris – viešoji įstaiga **Lietuvos energetikos institutas**;
- 1.3. LHMT – biudžetinė įstaiga Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba prie Aplinkos ministerijos.
- 1.4. Maksimalus debitas – didžiausias metinis debitas ($Q_{\max}$), nepriklausomai nuo to ar jį sukėlė sniego tirpsmas ar lietus;
- 1.5. Išoriniai duomenų teikėjai – fiziniai ar juridiniai asmenys, su kuriais sudaryti susitarimai, pagal kuriuos jie įsipareigoja teikti šiam tyrimui reikalingus duomenis (hidrometeorologinius, batimetrinius) pagal su jais suderintą tvarką;

2. TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

2.1. **Tikslas** – taikant hidrologinį ir hidrodinaminį modelius bei įvertinant klimato kaitą atlikti Strėvos (upės ruožas 28,6 km nuo žiočių), Smeltalės (upės ruožas 15,1 km nuo žiočių), Minijos (upės ruožas 169,3 km nuo žiočių), Salanto (upės ruožas 5,5 km nuo žiočių), Veiviržo (upės ruožas 10,2 km nuo žiočių), Tenenio (upės ruožas 9,7 km nuo žiočių) potvynių modeliavimą bei prognozavimą ir remiantis gautais rezultatais parengti ir (ar) atnaujinti potvynių grėsmės žemėlapius.

2.2. Pagrindiniai uždaviniai ir jų veiklos:

2.2.1. Ledo reiškinių vertinimas.

2.2.1.1. Ledo dangos ir jos įtakos potvyniams Lietuvos upėse analizė taikant vandens matavimo stočių (VMS) istorinių stebėjimų duomenis (nuo 1960 iki 2023 m.).

2.2.2. Pagrindiniai reikalavimai ir užduotys klimato kaitos įtakos sezoniniam upių nuotėkiui įvertinti.

2.2.2.1. Taikant statistinius metodus paruošti ne mažiau kaip 10 globalaus ir (ar) regioninio klimato modelių oro temperatūros (T , °C), kritulių (P , mm) bei bendro nuotėkio (angl. total runoff (mrro)) duomenis pagal optimistinį (SSP2-4.5) bei pesimistinį (SSP5-8.5) scenarijus artimoje (2031–2050 m.) ir tolimoje (2081–2100 m.) perspektyvoje adaptuojant juos Lietuvos sąlygoms.

2.2.2.2. Taikant Lietuvos sąlygomis adaptuotus klimato modelių duomenis įvertinti oro temperatūros (T, °C), kritulių (P, mm) bei bendro nuotėkio (mm) mėnesinių bei metinių reikšmių pokyčius artimoje ir tolimoje perspektyvoje pagal optimistinį ir pesimistinį scenarijus. Šie rezultatai bus gauti atlikus globalaus klimato modelių duomenų analizę netaikant hidrologinio modeliavimo.

2.2.3. Reikalavimai ir užduotys hidrologinių modelių parengimui:

2.2.3.1. Parengti Strėvos, Minijos, Salanto, Veiviržo bei Tenenio upių nuotėkio duomenų seką (1995–2014 m.);

2.2.3.2. Naudojant oficialius meteorologijos bei vandens matavimo stočių duomenis paruošti oro temperatūros (T, °C), kritulių (P, mm), debito (Q, m³/s) ir fizinius-geografinius duomenis modelių kūrimui;

2.2.3.3. Taikant HBV programinę įrangą sukurti Strėvos, ir Minijos upių hidrologinius modelius, juos suderinti (sukalibruoti) ir patikrinti (validuoti) taikant 1995–2014 m. stebėjimų duomenis (laikotarpis pasirinktas vadovaujantis IPCC AR6 rekomendacijomis).

2.2.4. Reikalavimai ir užduotys upių nuotėkio modeliavimui taikant klimato modelių duomenis:

2.2.4.1. Taikant paruoštus hidrologinius modelius bei klimato scenarijų duomenis atlikti Strėvos bei Minijos upių nuotėkio modeliavimą, skiriant ypatingą dėmesį maksimalių debitų kalibravimui. Rezultatai kiekvienai iš upių bus pateikiami kaip klimato modelių ansamblio vidurkis pagal optimistinį bei pesimistinį scenarijų dviem tiriamiesiems laikotarpiams.

2.2.4.2. Smeltalės upės nuotėkio pokyčiai klimato kaitos fone bus įvertinti į retų (mažai tikėtinų) tikimybių debitus (apskaičiuotus pagal geografinės interpoliacijos metodą) įvedant pataisas, kurios bus perkeltos iš Minijos baseino nuotėkio modeliavimo taikant klimato scenarijų duomenis. T. y. bus įvedamas procentinis pokytis, kuris bus gautas palyginus retų tikimybių debitus Minijos upei, apskaičiuotus taikant stebėjimų duomenis, su retų tikimybių debita, apskaičiuotais taikant modeliavimo rezultatus pagal klimato scenarijus.

2.2.5. Reikalavimai ir užduotys potvynių tikimybių debitų nustatymui:

2.2.5.1. Naudojant istorinius vandens matavimo stočių duomenis (1960–2023 m.) nustatyti vidurio bei vakarų Lietuvos upių, kurioms sudaromi Potvynių grėsmės ir rizikos žemėlapiai, 0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 % tikimybės maksimalius potvynių debitus. Retų tikimybių (0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 %) maksimalių potvynių debitai bus apskaičiuojami tik toms upėms, kuriose nepertraukiami hidrologiniai (vandens debito) stebėjimai vykdyti nuo 1960 iki 2023 m. laikotarpiu, arba kurių debito eilučių trūkiai (iki 5 m.) galima bus atstatyti taikant analogų metodą;

2.2.5.2. Taikant nuotėkio modeliavimo rezultatus apskaičiuoti Strėvos, Smeltalės (taikant metodiką, aprašytą 2.2.4.2 punkte) ir Minijos ir jos intakų artimos (2031–2050 m.) ir tolimos (2081–2100 m.) perspektyvos 0,1 %, 0,5 %, 1 % ir 10 % tikimybės maksimalius potvynių debitus;

2.2.6. Reikalavimai ir užduotys hidrodinaminių modelių parengimui:

2.2.6.1. Lauko tyrimų vykdymas Minijos, Strėvos ir Smeltalės upėse (debito matavimai prieš ir už didesnių intakų ir/arba jų intakų žiotyse (tokių, kur baseino ploto prieaugis ne mažesnis, nei 10%) ir vandens paviršiaus išilginio profilio sudarymas), kurių metu bus surenkami duomenys reikalingi pasirinktų upių hidrodinaminių modelių kūrimui ir kalibravimui;

2.2.6.2. Skaitmeninio reljefo modelio, Corine žemės dangos, LULC bei lauko tyrimo metu surinktų duomenų analizavimas ir paruošimas hidrodinaminiam modeliavimui;

2.2.6.3. Taikant HEC-RAS 1D/2D programinę įrangą sukurti Strėvos, Smeltalės ir Minijos upių hidrodinaminius modelius (modeliuojamų ruožų pradžios bei pabaigos koordinatės pateiktos 1 lentelėje);

2.2.6.4. 2D modeliai bus kuriami pagal poreikį ruožams, kurie bus suderinti Techninės užduoties įgyvendinimo metu su projekto vykdytoju Aplinkos apsaugos agentūra.

1 lentelė. Tiriamų upių ruožai, kuriems atliekamas hidrodinaminis modeliavimas.

Upė	Intakas	Ruožo pradžia (reikšmingas intakas ar koordinatės, x, y)	Ruožo pabaiga (reikšmingas intakas ar koordinatės, x, y)
Strėva	—	537078, 6071450	516237, 6074122
Smeltalė	—	326774, 6176799	321420, 6173622
Minija		Nuo Alkupio (369703, 6189295)	Žiotys (328265, 6137950)
Minija	Salantas	Nuo Bubino (350741, 6218928)	Žiotys (344253, 6205840)
Minija	Veiviržas	Nuo Šalpės (345778, 6163512)	Žiotys (332401, 6155225)
Minija	Tenenis	Žiotys	9,7 km aukščiau žiočių

2.2.7. Potvynių grėsmės žemėlapių duomenų atnaujinimas.

2.2.7.1. Taikant hidrologinio bei hidrodinaminio modeliavimo rezultatus atlikti Strėvos, Smeltalės bei Minijos upių 0,1 %, 1 % bei 10 % tikimybės potvynių užliejamų teritorijų modeliavimą esamomis ir klimato kaitos sąlygomis. Gautų rezultatų pagrindu atnaujinti tiriamų upių potvynių grėsmės žemėlapius.

2.2.7.2. Duomenų parengimas potvynių grėsmės žemėlapių sudarymui.

2.2.8. Galutinės ataskaitos su metodinės medžiagos ir rezultatų aprašymu parengimas.

3. IŠORINIŲ TIEKĖJŲ TEIKIAMŲ PAPILDOMI DUOMENYS IR JŲ PATEIKIMO TERMINAI

3.1. Atliekamai studijai ir projekto veiklų vykdymui reikalingi šie papildomi duomenys, kurių kokybė priklauso nuo išorinių tiekėjų:

3.1.1. Tiriamų Lietuvos upių baseinų paros vidutiniai bei maksimalūs metiniai debitai ir vandens lygiai 1960–2023 m. laikotarpiu (LHMT);

3.1.2. Tiriamų upių vagų batimetriniai duomenys, išmatuoti profiliuose su ne didesniu, kaip 500 m. tarp profilių atstumu, taip pat prieš kiekvieną upės vingį ir už jo bei prieš kiekvieną tiltą ir už jo (Paslaugos vykdytojas MB „Povandeniai“);

3.1.3. Tiriamų upių baseinų skaitmeninis žemės reljefo modelis (savininkas - SSVA);

3.2. Duomenys minimi 3.1.1.–3.1.3. punktuose pateikiami per 1 mėn. nuo Papildomo susitarimo prie 2024-12-02 Jungtinės veiklos (partnerystės) sutarties Nr. CS-75 įsigaliojimo dienos (toliau – Techninės užduoties vykdymo pradžia). Jei minimi duomenys pateikiami vėliau, tai atitinkamai vėlavimui, bus pavėlinimas užduočių atlikimas, kurioms šie duomenys buvo reikalingi.

3.3. Išorinių tiekėjų pateikiami duomenys turi būti pateikiami iš anksto su LEI suderinta forma, o patys duomenys turi atitikti tokiems duomenims keliamus kokybės reikalavimus.

4. VEIKLŲ ATLIKIMO TERMINAI

4.1. Veiklų atlikimo terminai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Veiklų atlikimo terminai.

Punktas	Veiklų atlikimo terminas
2.2.1.	Veiklos bus atliktos per 3 mėn. nuo Techninės užduoties vykdymo pradžios
2.2.2.	Veiklos bus atliktos per 5 mėn. nuo Techninės užduoties vykdymo pradžios
2.2.3.	Veiklos bus atliktos per 6 mėn. nuo Techninės užduoties vykdymo pradžios
2.2.4.	Veiklos bus atliktos per 7 mėn. nuo Techninės užduoties vykdymo pradžios
2.2.5.	Veiklos bus atliktos per 9 mėn. nuo Techninės užduoties vykdymo pradžios
2.2.6.	Veiklos bus atliktos per 10 mėn. nuo Techninės užduoties vykdymo pradžios
2.2.7.	Veiklos bus atliktos per 11 mėn. nuo Techninės užduoties vykdymo pradžios
2.2.8.	Veiklos bus atliktos per 12 mėn. nuo Techninės užduoties vykdymo pradžios

5. ATASKAITOS RENGIMAS, PATEIKIMAS IR DERINIMAS

5.1. Vykdytojas įsipareigoja paruošti **vieną galutinę ataskaitą**;

5.2. Galutinė ataskaita turi susidėti iš įvado, naudotų duomenų, taikytos metodikos, gautų rezultatų, išvadų ir rekomendacijų. Ši ataskaita turi būti paruošta per 12 (dvylika) mėn. nuo Papildomo susitarimo prie 2024-12-02 Jungtinės veiklos (partnerystės) sutarties Nr. CS-75 įsigaliojimo dienos

jei visi duomenys, minimi 3.1.1.–3.1.3. punktuose buvo pateikti laiku. Jei duomenų pateikimas vėlavo, atitinkamai tiek pat laiko bus pratęstas terminas veiklų atlikimui bei galutinės ataskaitos pateikimui;

5.3. Galutinės ataskaitos teikimo terminai gali būti keičiami šalių rašytiniu susitarimu;

5.4. Ataskaita teikiama lietuvių kalba;

5.5. Ataskaita teikiama elektronine forma (*.docx ir *.pdf formatais), o su jomis susiję duomenys (įskaitant pačią ataskaitą) siunčiamos elektroniniu paštu (aaa@gamta.lt);

5.6. Projekto vykdytojo (Aplinkos apsaugos agentūra) paskirtas specialistas, susipažinęs su ataskaitos turiniu, ne vėliau kaip per 20 (dvidešimt) darbo dienų priima ataskaitą, arba pateikia argumentuotus komentarus ir esant poreikiui kreipiasi į Projekto partnerį LEI dėl patikslinimų ir/ar pataisymų.

5.7. Pagal Potvynių direktyvos reikalavimus parengti dokumentai turi būti viešinami Projekto vykdytojo nemažiau 6 mėn. nuo visuomenei ir suinteresuotoms institucijoms pristatymo. Projekto vykdytojo kvietimu Projekto partneris dalyvauja projekto rezultatų pristatymuose viešuose renginiuose ir pristato tyrimų rezultatus bei pagal kompetenciją atsako į suinteresuotų asmenų pateiktus klausimus. Gavus pastabas iš suinteresuotų asmenų projekto rezultatams, projekto partneris LEI jas įvertina, šalina trukumus ar esant poreikiui koreguoja ataskaitą, jos dokumentus ar žemėlapių projektą.

5.8. Projekto partneris LEI, teikdamas pataisytą/patikslintą ataskaitą, kartu turi pateikti pataisytos ataskaitos skaitmeninę kopiją su nurodytais pakeitimais (angl. „Track change“) ir esant poreikiui pridėti trumpą informaciją, kaip buvo atsižvelgta į pastabas.

PRIEDAS NR. 2. Skirstinių formulės.

Gamma (<https://doi.org/10.1002/9780470627242>)

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(k)\theta^k} x^{k-1} e^{-x/\theta}, x > 0, k > 0, \theta > 0$$

Čia: k – formos parametras, θ – mastelio parametras, $\Gamma(k)$ – gama funkcija, naudojama normalizacijai, x^{k-1} – narys, valdantis kreivės formą prie mažų x reikšmių, $e^{-x/\theta}$ – eksponentinis slopimo narys.

Gamma 3P (<https://doi.org/10.1002/9780470627242>)

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(k)\theta^k} (x - \gamma)^{k-1} e^{-(x-\gamma)/\theta}, x > \gamma$$

Čia: k – formos parametras, θ – mastelio parametras, γ – vietos parametras, $x - \gamma$ – transformuota reikšmė po poslinkio.

Gen. Extreme Value (<https://doi.org/10.3150/13-BEJ538>)

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}, 1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) > 0$$

Čia: μ – vietos parametras, $\sigma > 0$ – mastelio parametras, ξ – formos parametras, nusakantis uodegos tipą, $\frac{x - \mu}{\sigma}$ – standartizuota reikšmė.

Gen. Gamma (<https://doi.org/10.1214/aoms/1177703299>)

$$f(x) = \frac{p}{a^d \Gamma(d/p)} x^{d-1} \exp \left[- \left(\frac{x}{a} \right)^p \right], x > 0$$

Čia: $a > 0$ – mastelio parametras, $d > 0$ – formos parametras, $p > 0$ – papildomas formos parametras, $\Gamma(d/p)$ – normalizuojantis narys, $\left(\frac{x}{a} \right)^p$ – transformacija, valdanti skirstinio uodegą ir asimetriją.

Gen. Gamma 4P (<https://doi.org/10.1002/9780470627242>)

$$f(x) = \frac{p}{a^d \Gamma(d/p)} (x - \gamma)^{d-1} \exp \left[- \left(\frac{x - \gamma}{a} \right)^p \right], x > \gamma$$

Čia: γ – vietos parametras, a – mastelio parametras, d ir p – formos parametrai, $x - \gamma$ – poslinkiu pakoreguota reikšmė.

Gumbel Max (<https://doi.org/10.1017/CBO9781139175081.013>)

$$f(x) = \frac{1}{\beta} \exp \left[- \frac{x - \mu}{\beta} - \exp \left(- \frac{x - \mu}{\beta} \right) \right]$$

Čia: μ – vietos parametras, $\beta > 0$ – mastelio parametras, $\frac{x - \mu}{\beta}$ – standartizuota reikšmė.

Log-Pearson 3 (<https://doi.org/10.1029/WR011i005p00681>)

$$f_Y(y) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (y - \tau)^{\alpha-1} e^{-\beta(y-\tau)}, y > \tau$$

Čia: y – logaritmuota kintamojo reikšmė, α – formos parametras, β – mastelio arba dažnio parametras, priklausomai nuo parametrizacijos, τ – vietos parametras logaritmų erdvėje.

Lognormal (https://doi.org/10.1007/978-3-319-65112-5_9)

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[- \frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2} \right], x > 0, \sigma > 0$$

Čia: μ – logaritmuoto kintamojo $\ln X$ vidurkis, σ – logaritmuoto kintamojo standartinis nuokrypis, x – pirminio kintamojo reikšmė, $\ln x$ – natūralus logaritmas iš x , $x\sigma\sqrt{2\pi}$ – normalizuojantis vardiklis.

Lognormal 3P (<https://doi.org/10.1002/9780470627242>)

$$f(x) = \frac{1}{(x - \gamma)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(\ln(x - \gamma) - \mu)^2}{2\sigma^2} \right], x > \gamma$$

Čia: γ – vietos parametras, μ – logaritmuoto poslinkiu pakoreguoto kintamojo vidurkis, σ – logaritmuoto poslinkiu pakoreguoto kintamojo standartinis nuokrypis, $x - \gamma$ – reikšmė po vietos poslinkio.

Pearson 5 3P (<https://doi.org/10.1002/9780470627242>)

$$f(x) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (x - \gamma)^{-\alpha-1} \exp \left(-\frac{\beta}{x - \gamma} \right), x > \gamma$$

Čia: α – formos parametras, β – mastelio parametras, γ – vietos parametras, $(x - \gamma)^{-\alpha-1}$ – laipsninis narys, atsakingas už kreivės formą, $\exp [-\beta/(x - \gamma)]$ – eksponentinis narys, valdantis uodegos elgseną.

Wakeby (<https://doi.org/10.1113/matematika.v29.n.358>)

$$Q(F) = \xi + \frac{\alpha}{\beta} [1 - (1 - F)^\beta] - \frac{\gamma}{\delta} [1 - (1 - F)^{-\delta}]$$

Čia: $Q(F)$ – kvantilis tikimybei F , F – kaupiamoji tikimybė, kur $0 < F < 1$, ξ – vietos parametras, $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ – formos ir mastelio parametrai, valdantys apatinę ir viršutinę uodegas, Wakeby skirstinys ypač lankstus hidrologiniuose dažnių analizės taikymuose.

Weibull (<https://doi.org/10.1061/A1981LD32400001>)

$$f(x) = \frac{\gamma}{\alpha} \left(\frac{x}{\alpha} \right)^{\gamma-1} \exp \left[-\left(\frac{x}{\alpha} \right)^\gamma \right], x \geq 0$$

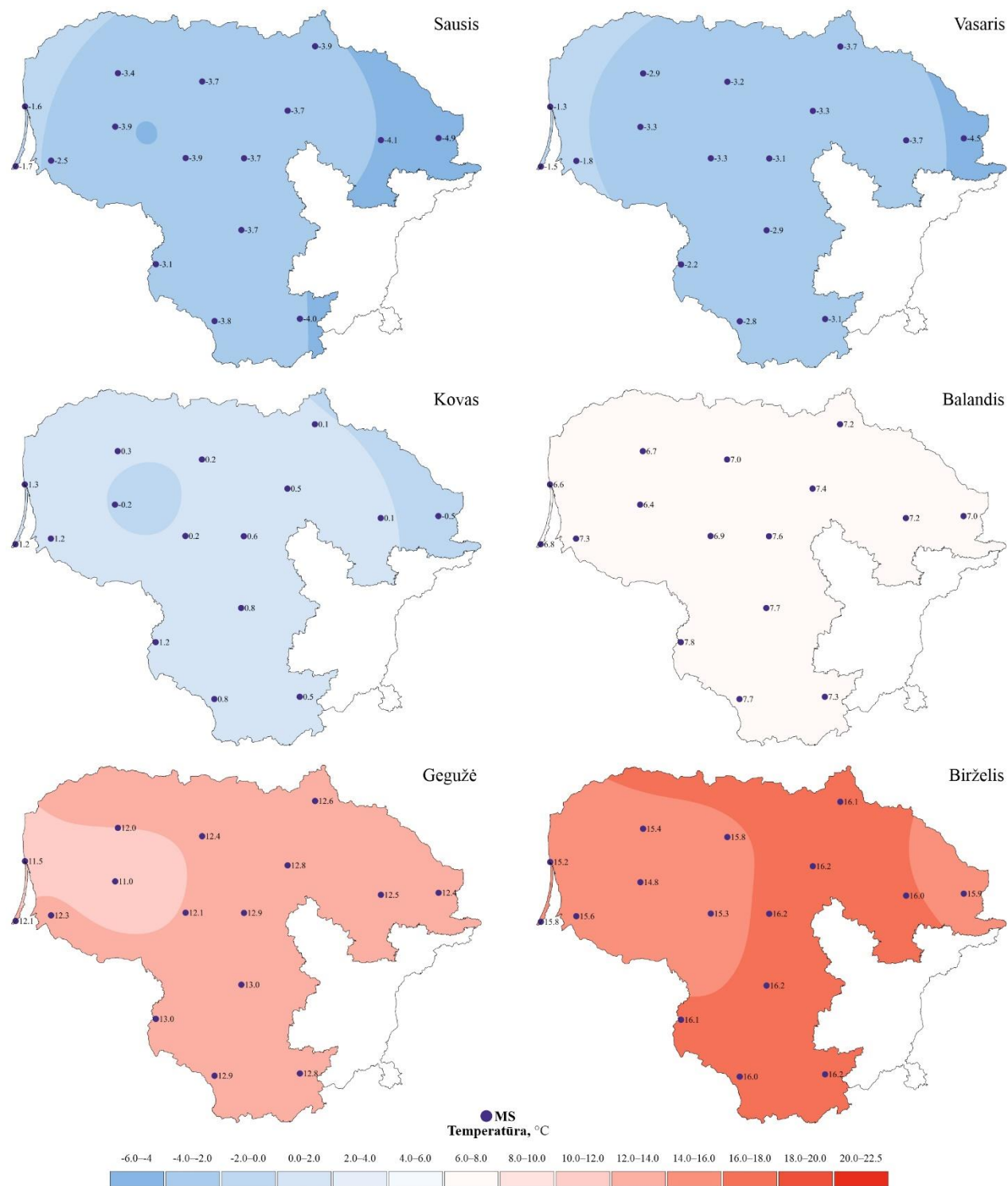
Čia: $\gamma > 0$ – formos parametras, $\alpha > 0$ – mastelio parametras, $\left(\frac{x}{\alpha} \right)^{\gamma-1}$ – narys, lemiantis tankio formą, $\exp [-(x/\alpha)^\gamma]$ – eksponentinis mažėjimo narys.

Weibull 3P (<https://doi.org/10.1002/9780470627242>)

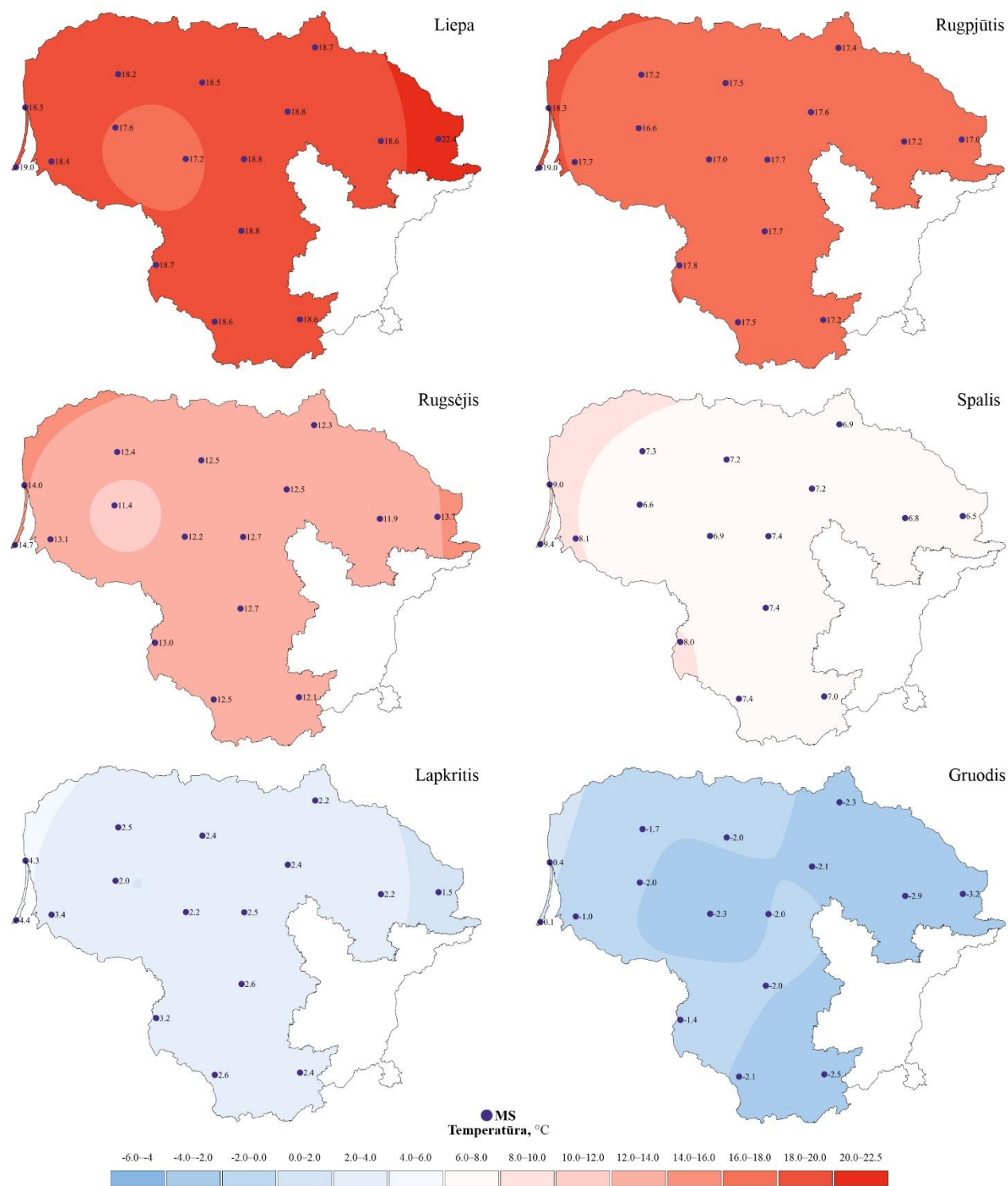
$$f(x) = \frac{\gamma}{\alpha} \left(\frac{x - \mu}{\alpha} \right)^{\gamma-1} \exp \left[-\left(\frac{x - \mu}{\alpha} \right)^\gamma \right], x \geq \mu$$

Čia: μ – vietos parametras, α – mastelio parametras, γ – formos parametras, $x - \mu$ – nuo vietos parametro paslinkta reikšmė.

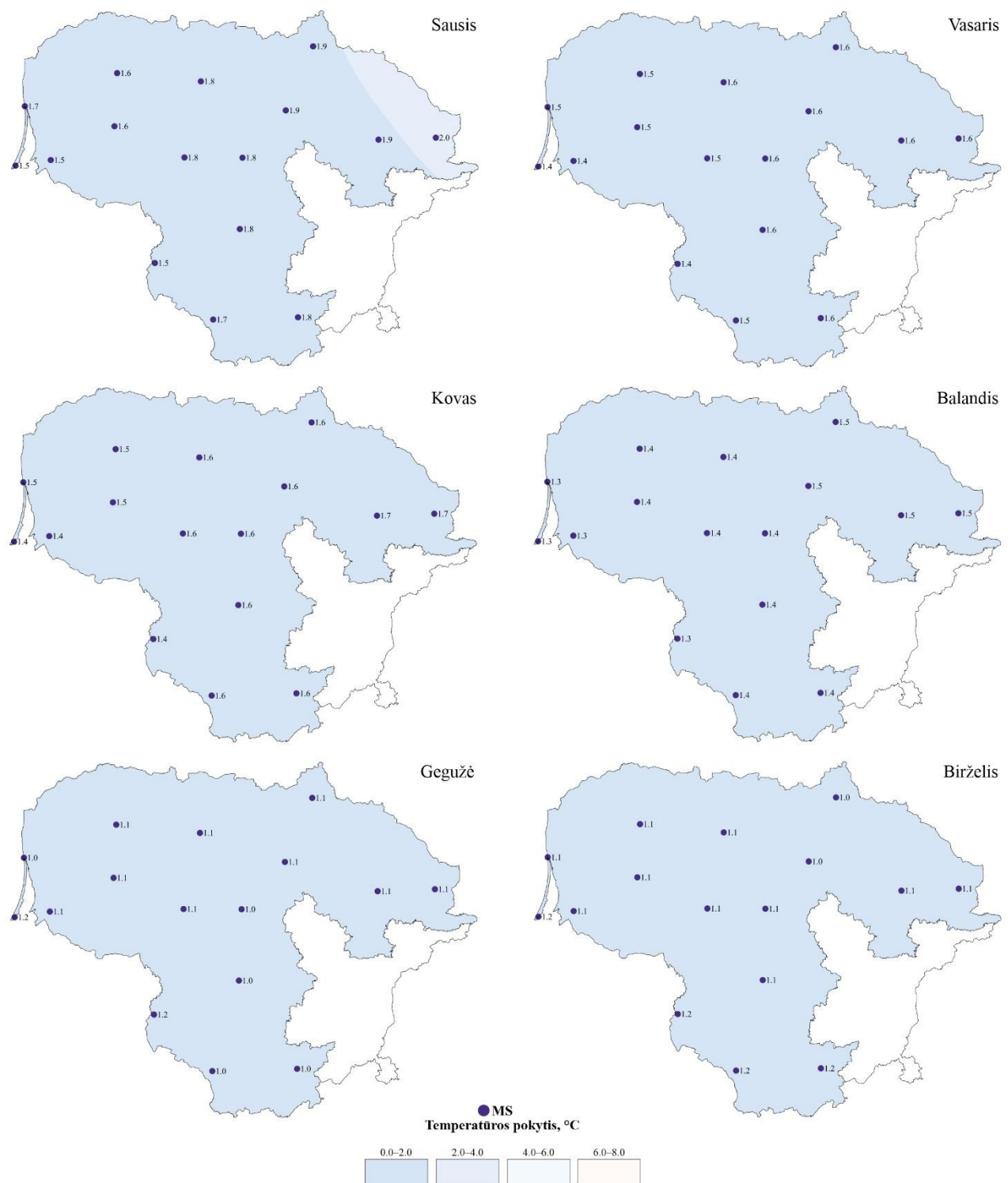
3 priedas. Oro temperatūros pokyčiai artimoje ir tolimoje perspektyvoje lyginant su modelių istoriniu laikotarpiu.



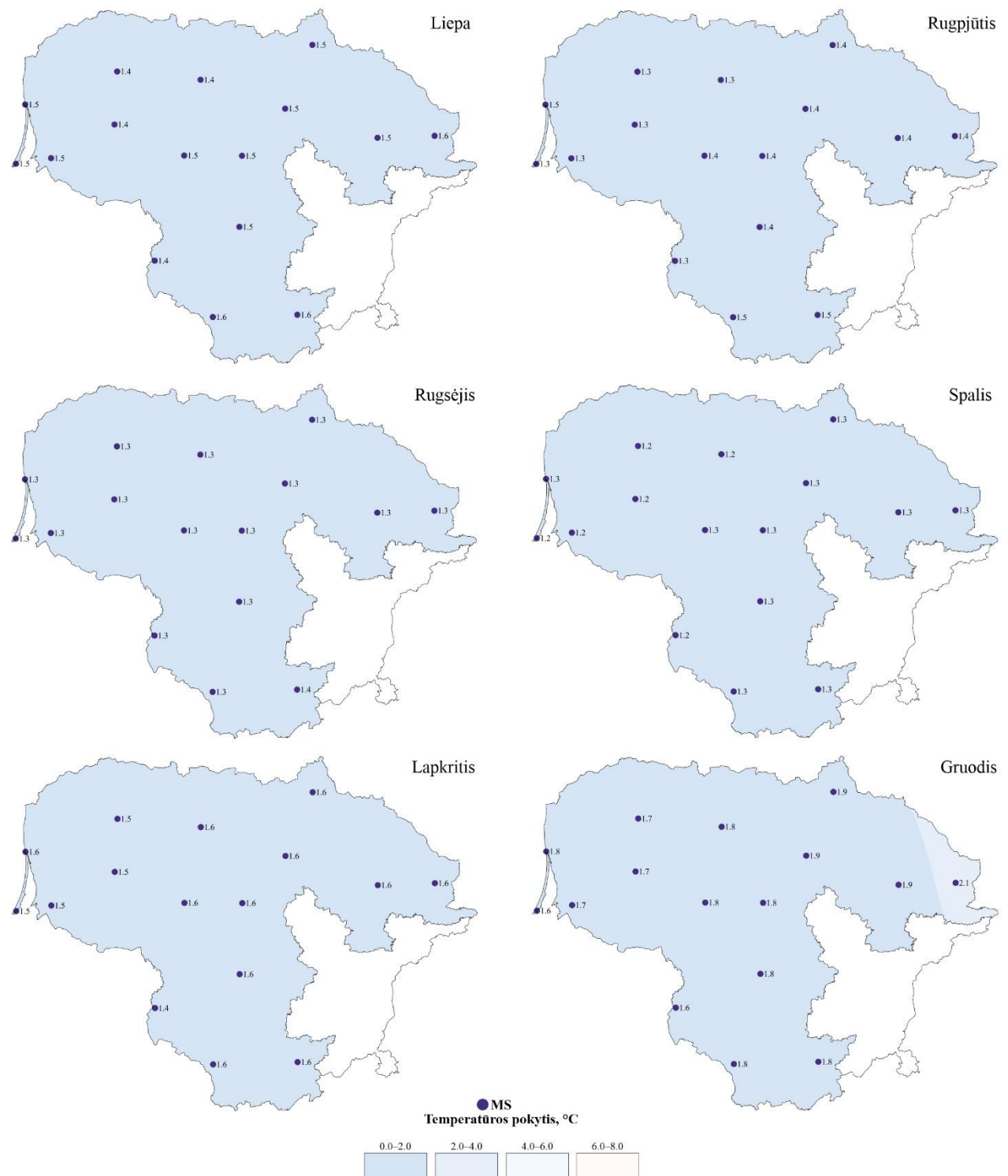
3.1 pav. Oro temperatūra (°C) Lietuvoje 1995–2014 m. sausio-birželio mėn.



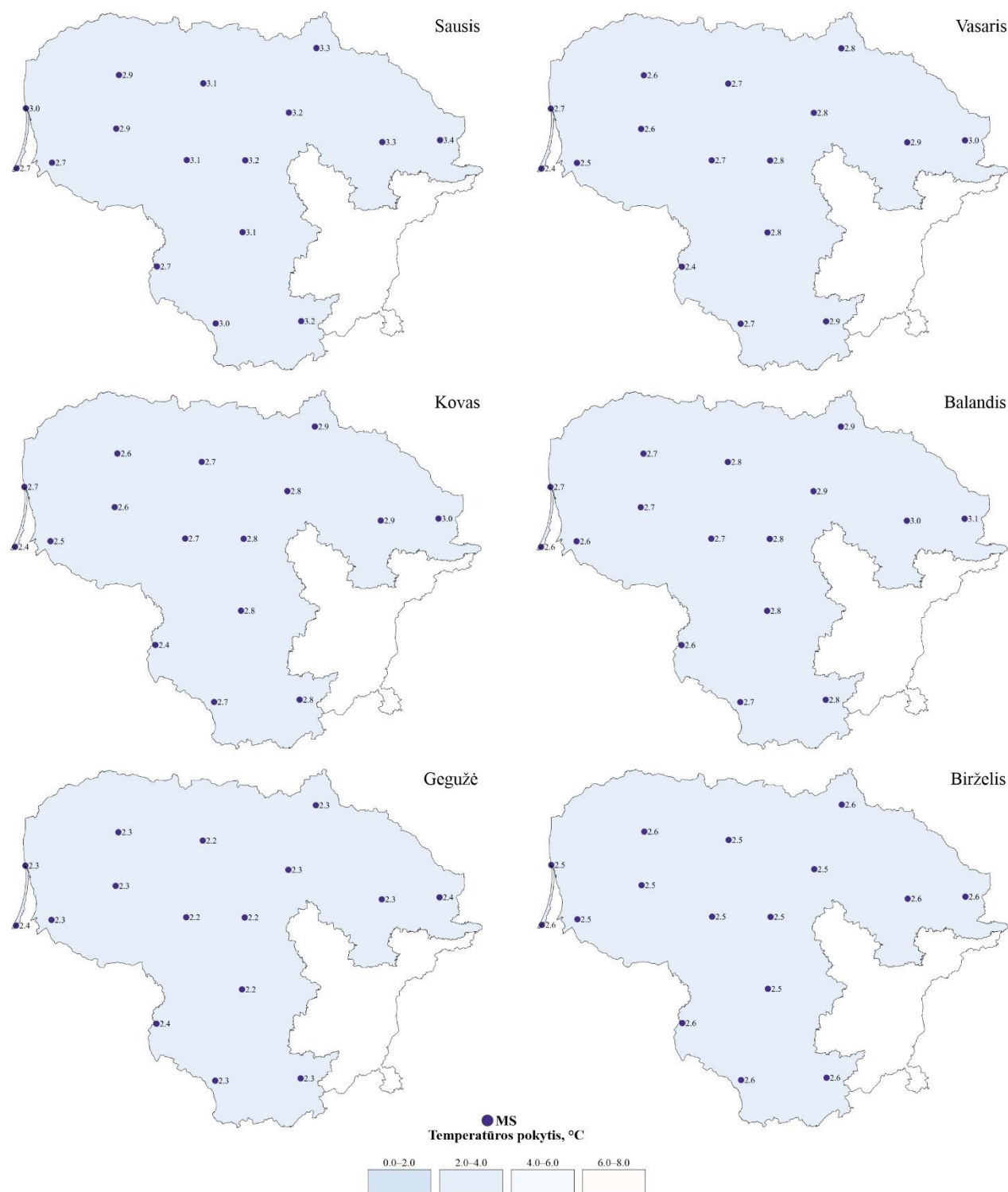
3.2 pav. Oro temperatūra (°C) Lietuvoje 1995–2014 m. liepos–gruodžio mėn.



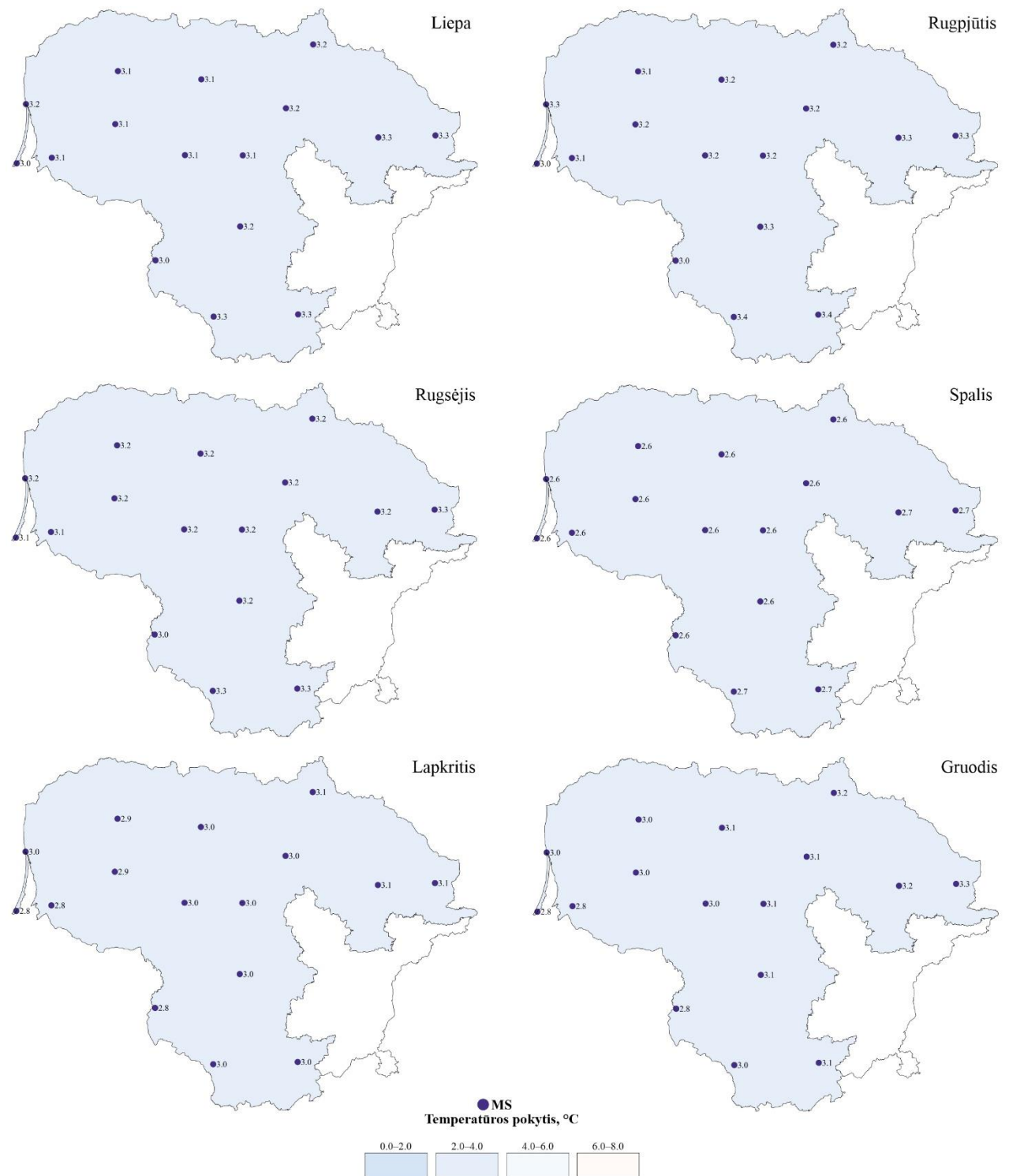
3.3 pav. Prognozuojami oro temperatūros pokyčiai (°C) Lietuvoje 2031–2050 m. sausio–birželio mėn. pagal SSP2-4.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



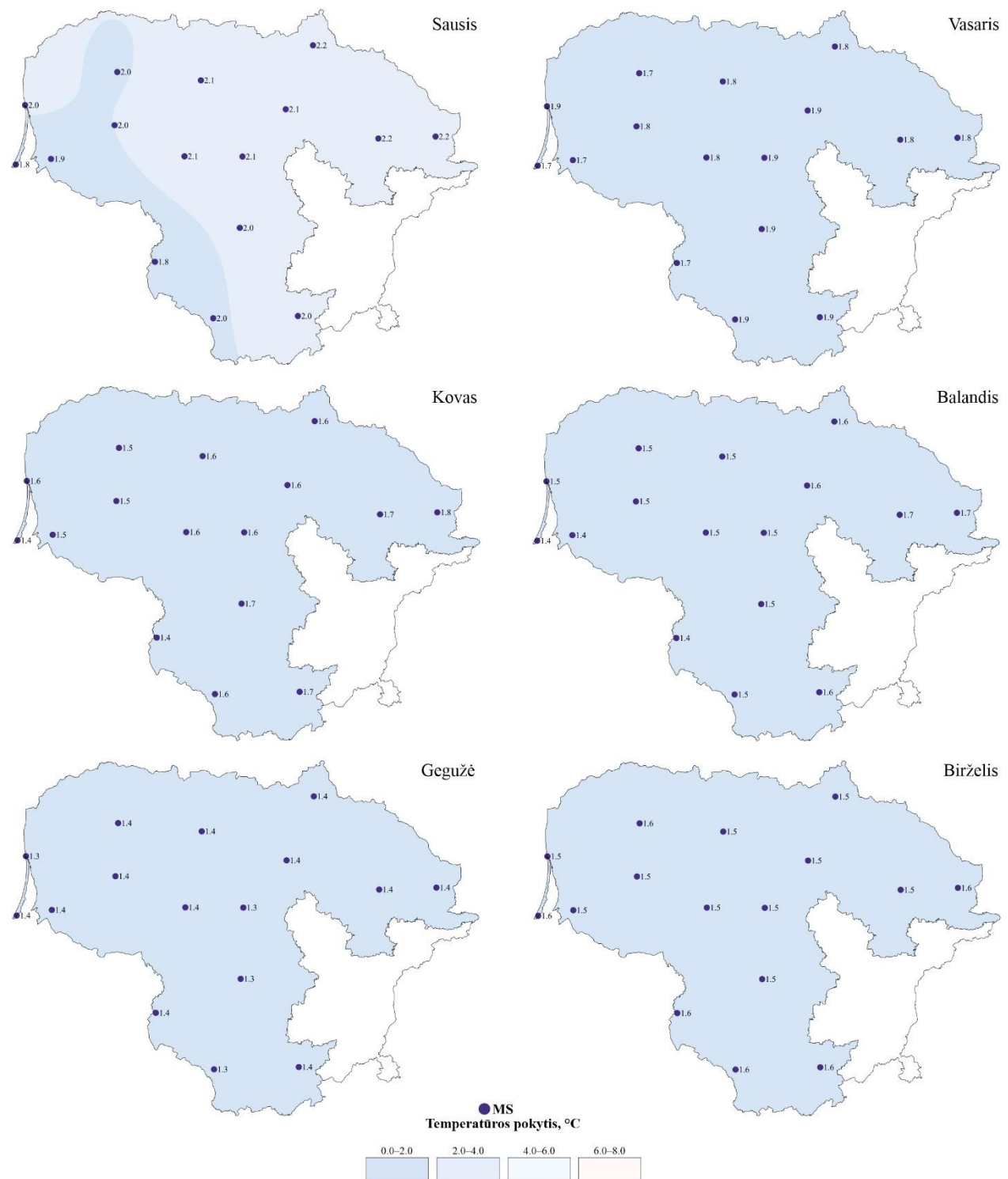
3.4 pav. Prognozuojami oro temperatūros pokyčiai (°C) Lietuvoje 2031–2050 m. liepos–rugpjūčio mėn. pagal SSP2-4.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



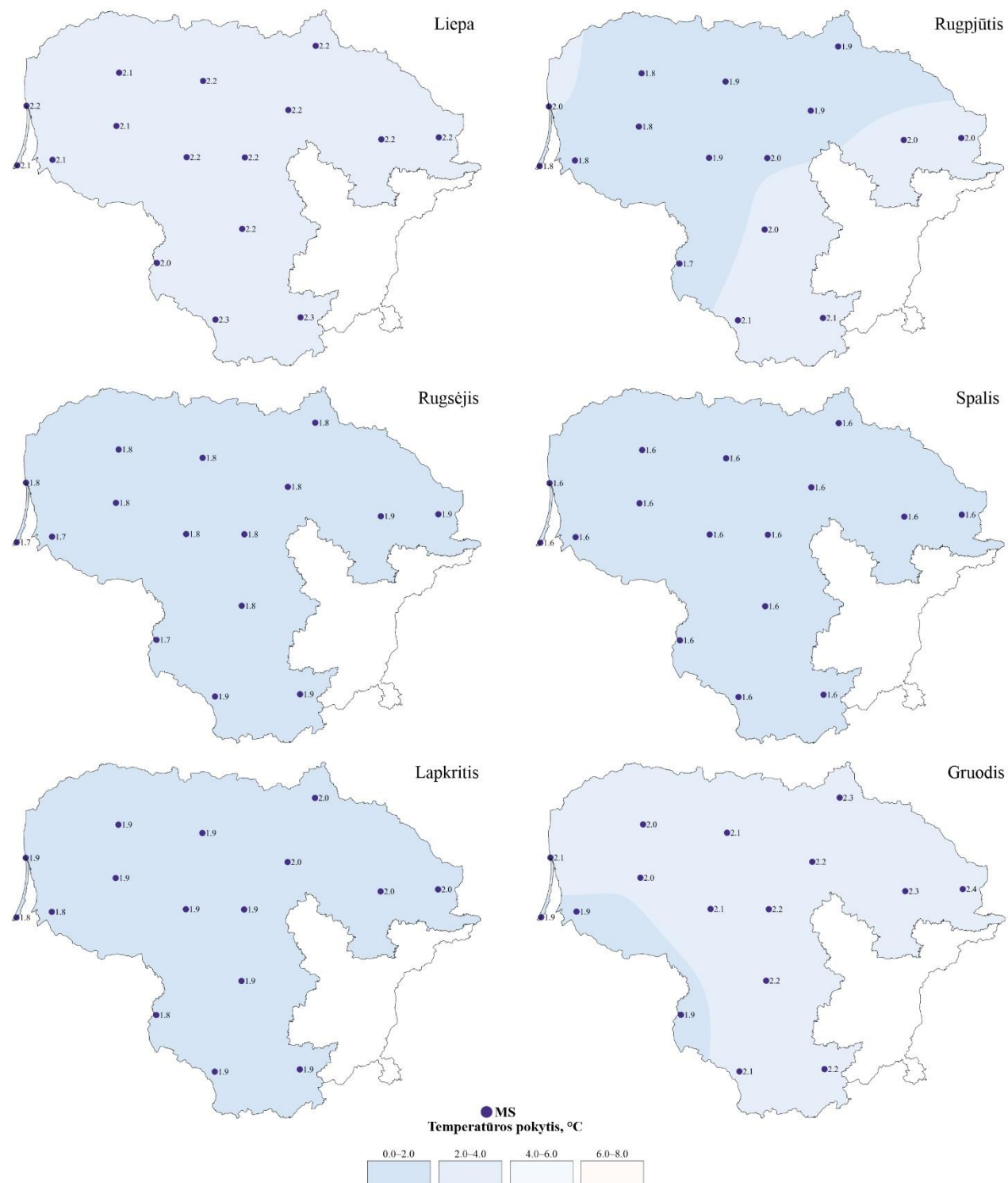
3.5 pav. Prognozuojami oro temperatūros pokyčiai (°C) Lietuvoje 2081–2100 m. sausio–birželio mėn. pagal SSP2-4.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



3.6 pav. Prognozuojami oro temperatūros pokyčiai (°C) Lietuvoje 2081–2100 m. liepos–rugpjūčio mėn. pagal SSP2-4.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



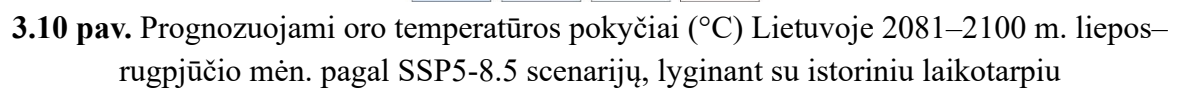
3.7 pav. Prognozuojami oro temperatūros pokyčiai (°C) Lietuvoje 2031–2050 m. sausio–birželio mėn. pagal SSP5-8.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu

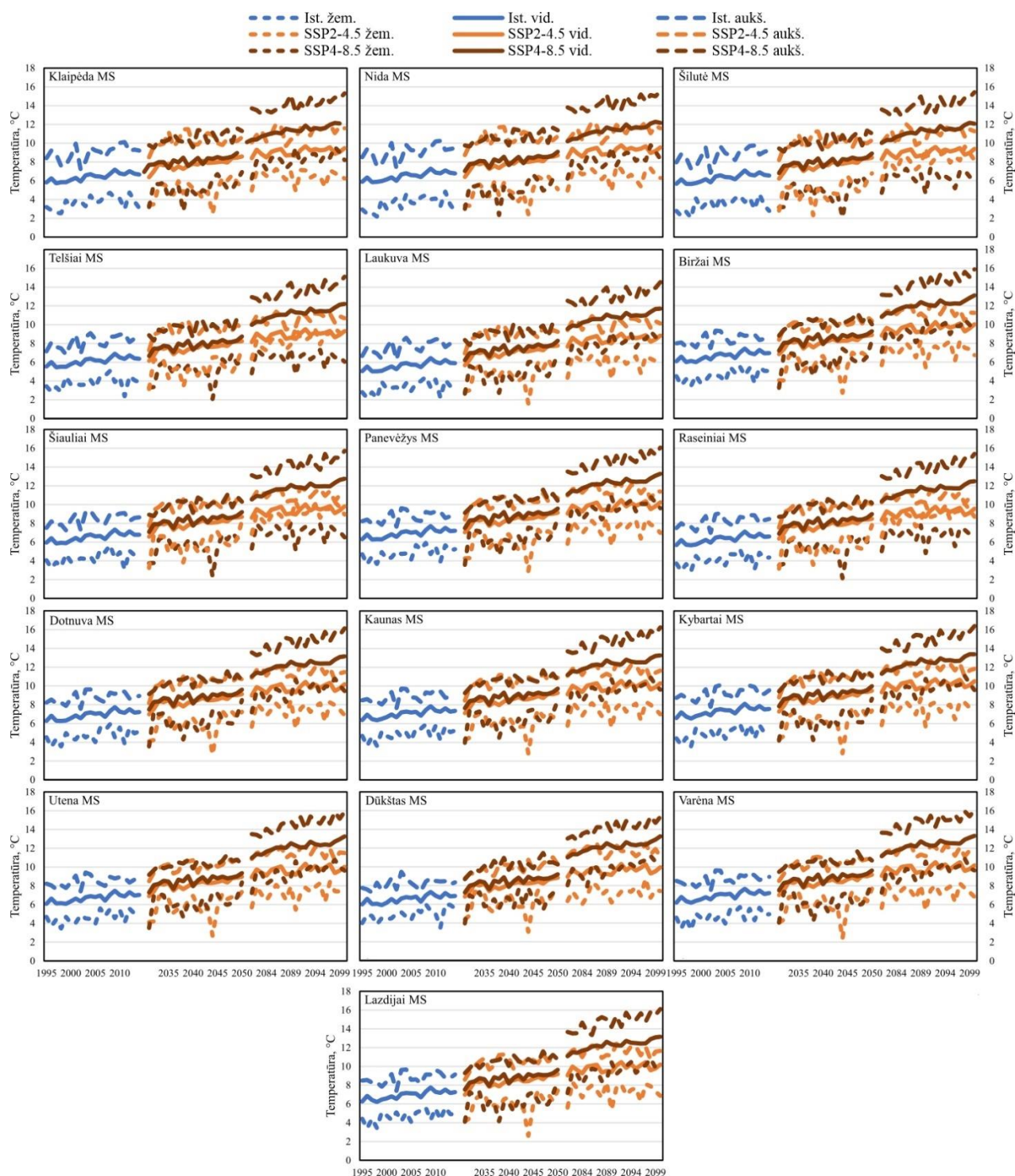


3.8 pav. Prognozuojami oro temperatūros pokyčiai (°C) Lietuvoje 2031–2050 m. liepos–rugpjūčio mėn. pagal SSP5-8.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



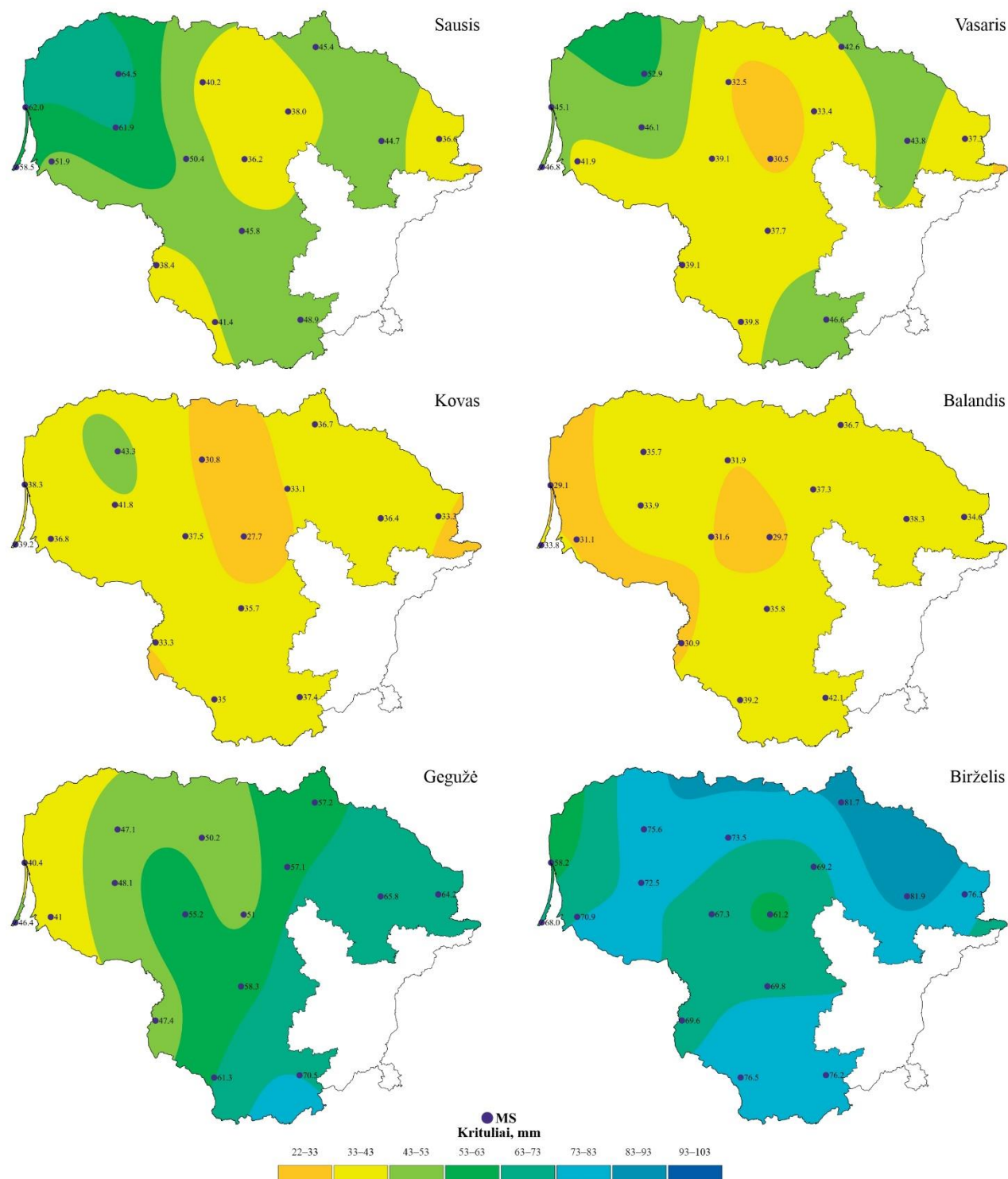
3.9 pav. Prognozuojami oro temperatūros pokyčiai (°C) Lietuvoje 2081–2100 m. sausio–birželio mėn. pagal SSP5-8.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



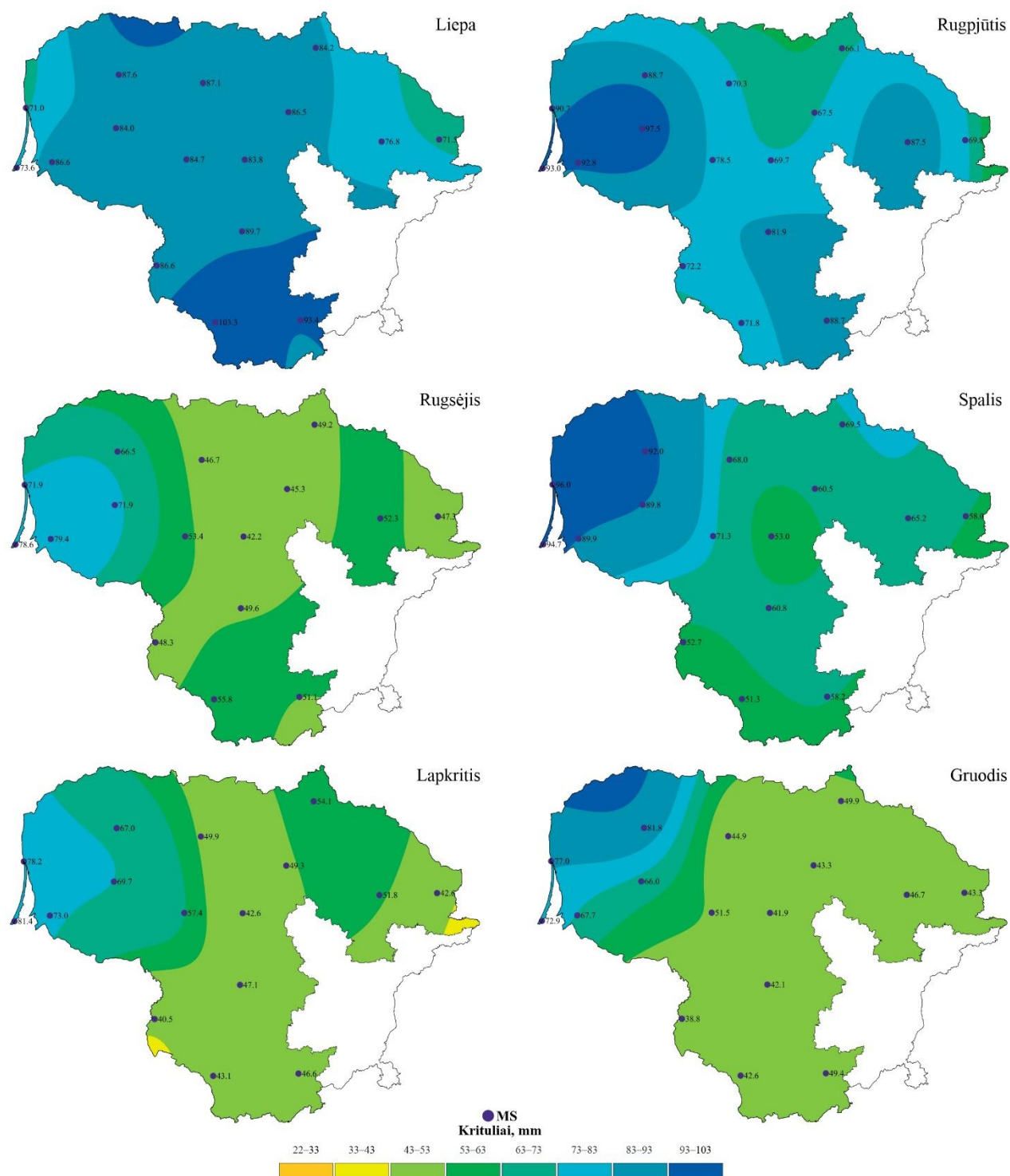


3.11 pav. Oro temperatūros (°C) prognozė Lietuvos meteorologijos stotyse 1995–2014, 2031–2050 ir 2081–2100 m. laikotarpiais.

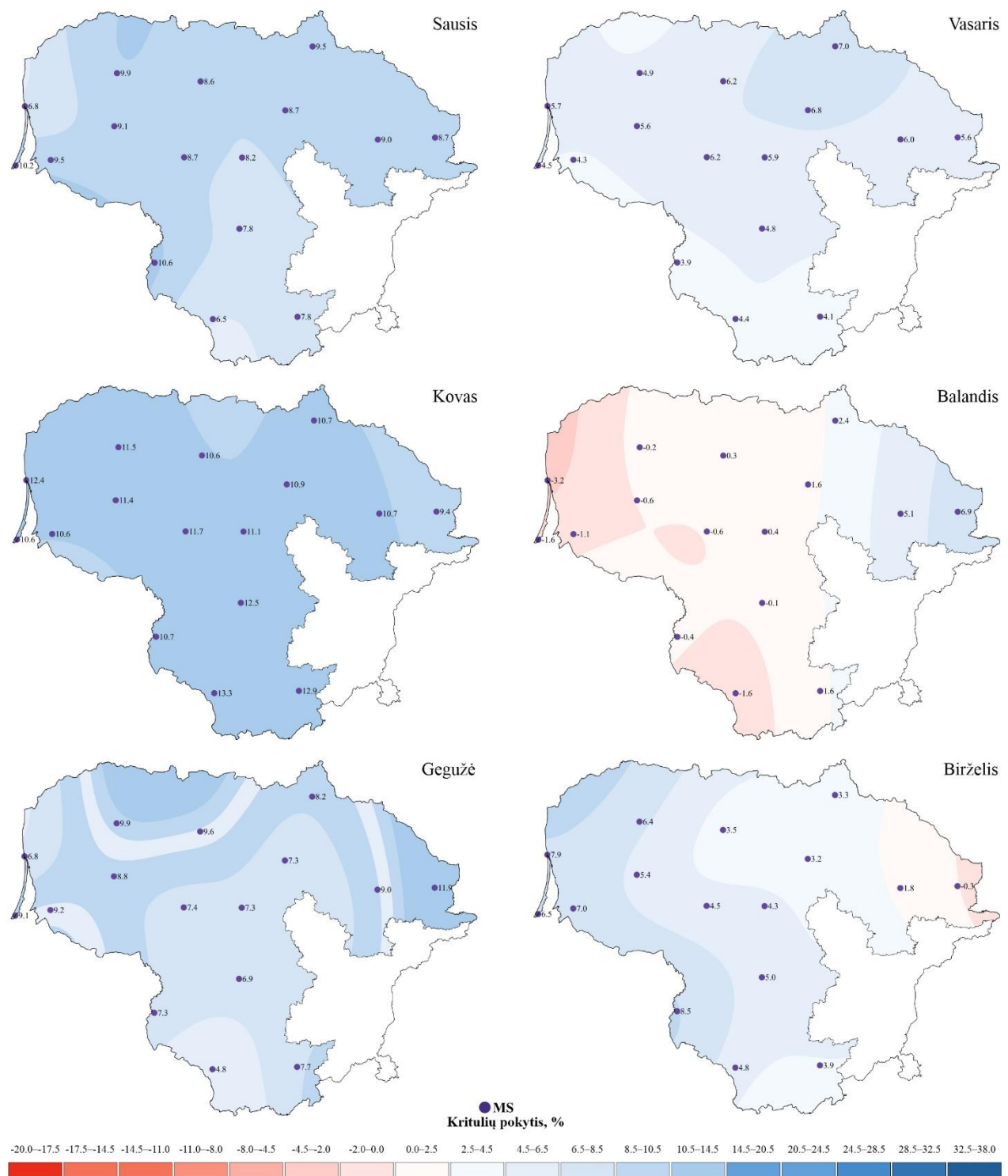
4 priedas. Kritulių pokyčiai artimoje ir tolimoje perspektyvoje lyginant su modelių istoriniu laikotarpiu.



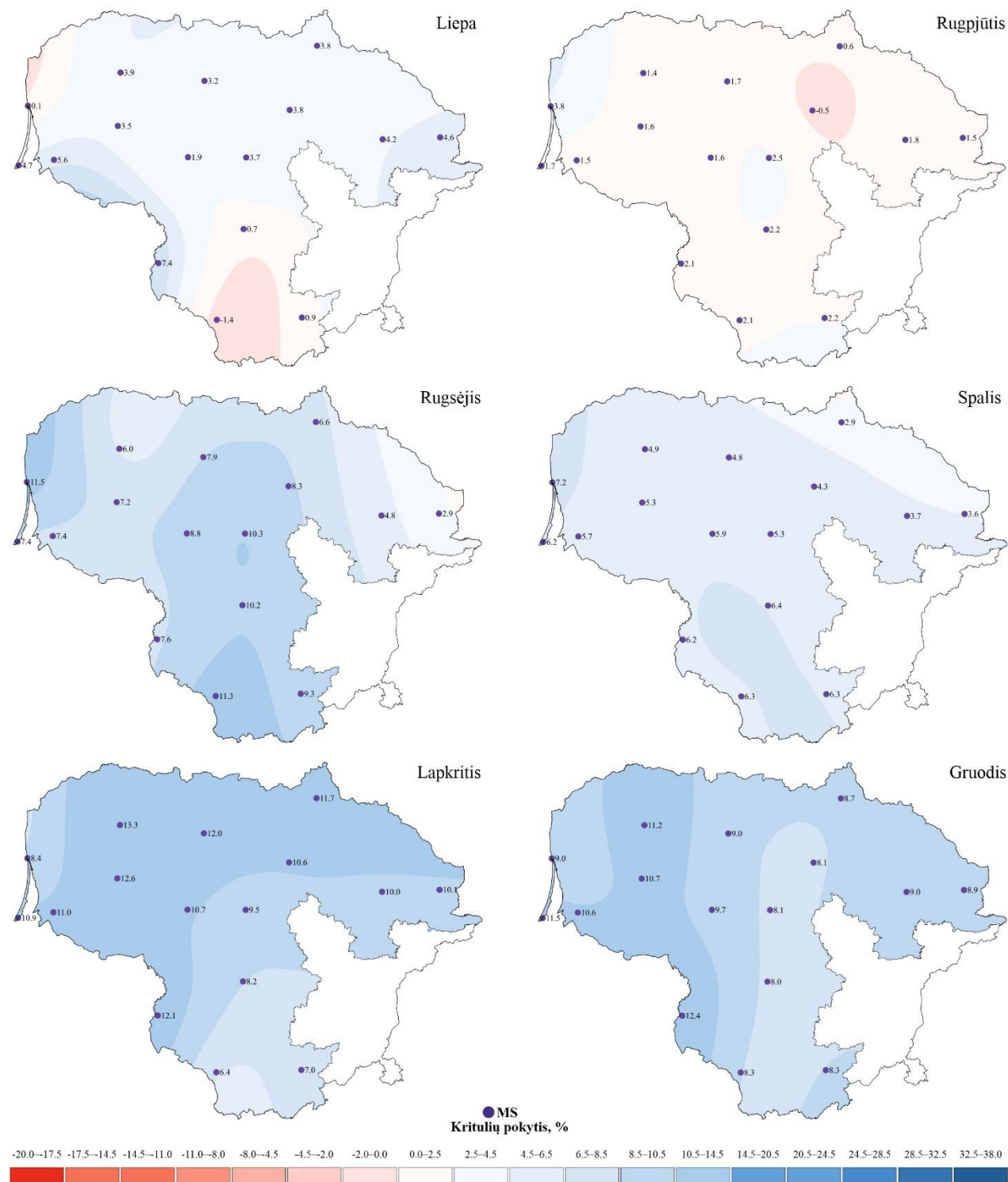
4.1 pav. Mėnesinis kritulių kiekis (mm) Lietuvoje 1995–2014 m. sausio–birželio mėn.



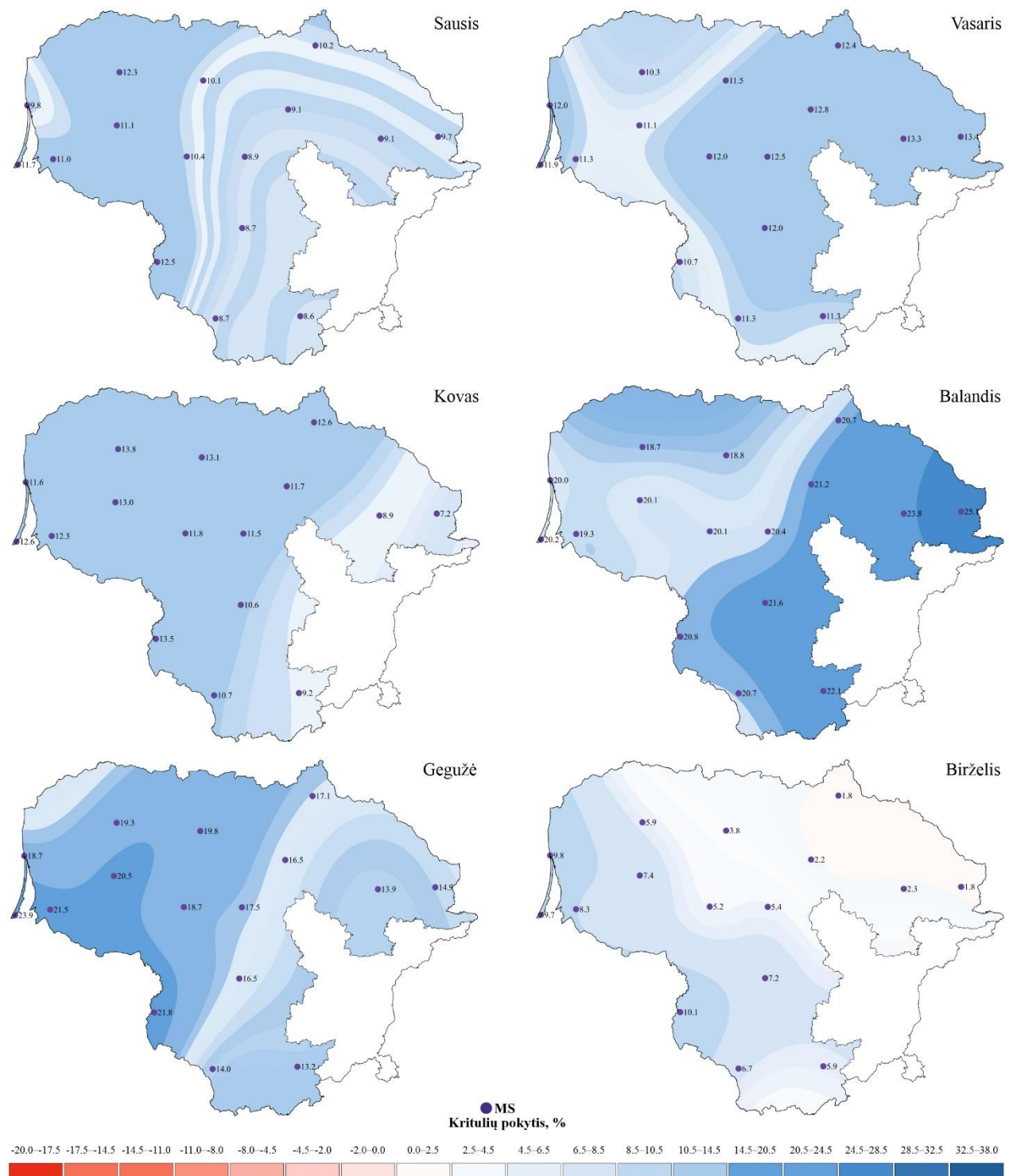
4.2 pav. Mėnesinis kritulių kiekis (mm) Lietuvoje 1995–2014 m. liepos–gruodžio mėn.



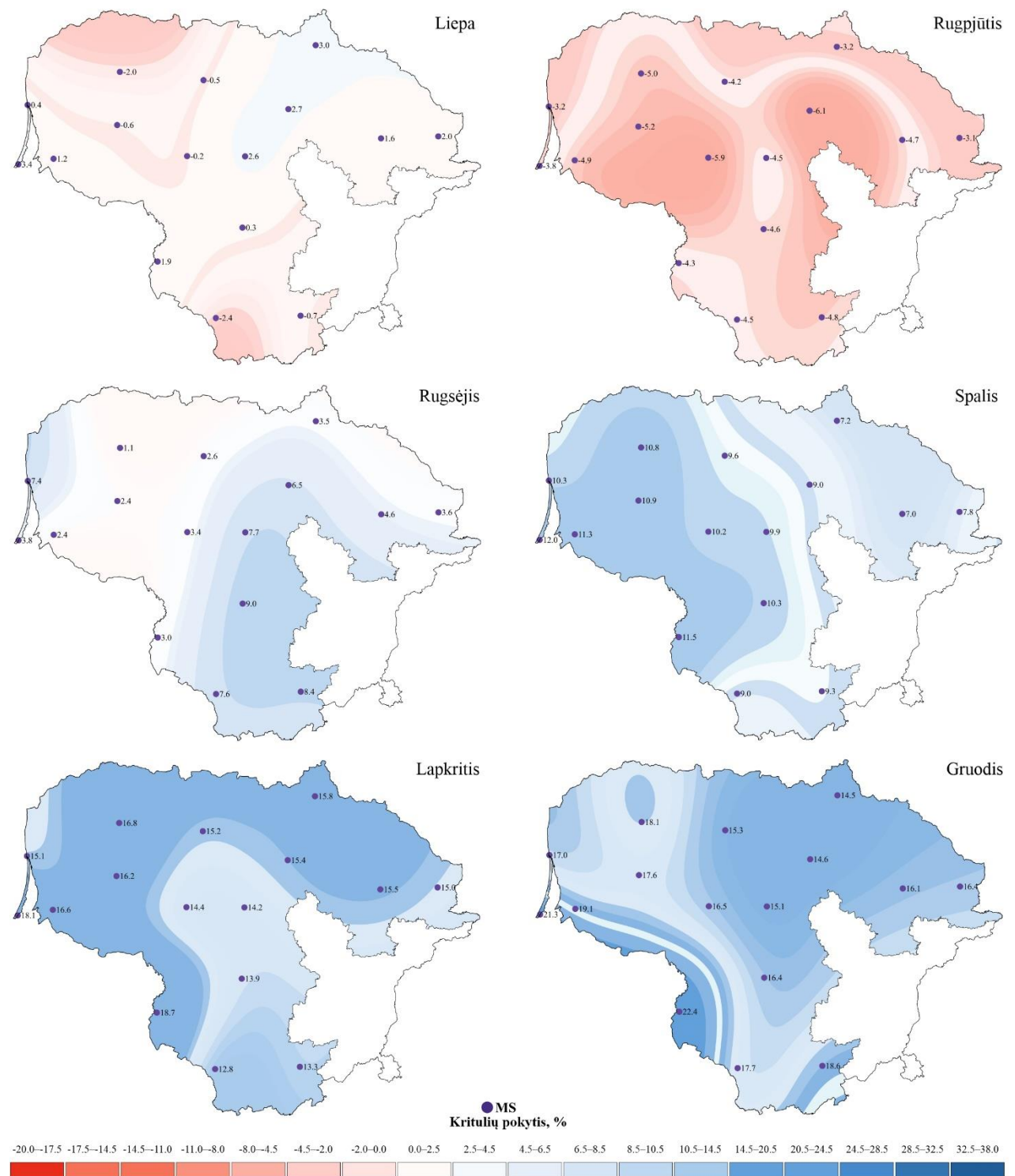
4.3 pav. Prognozuojami kritulių pokyčiai (%) Lietuvoje 2031–2050 m. sausio–birželio mėn. pagal SSP2-4.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



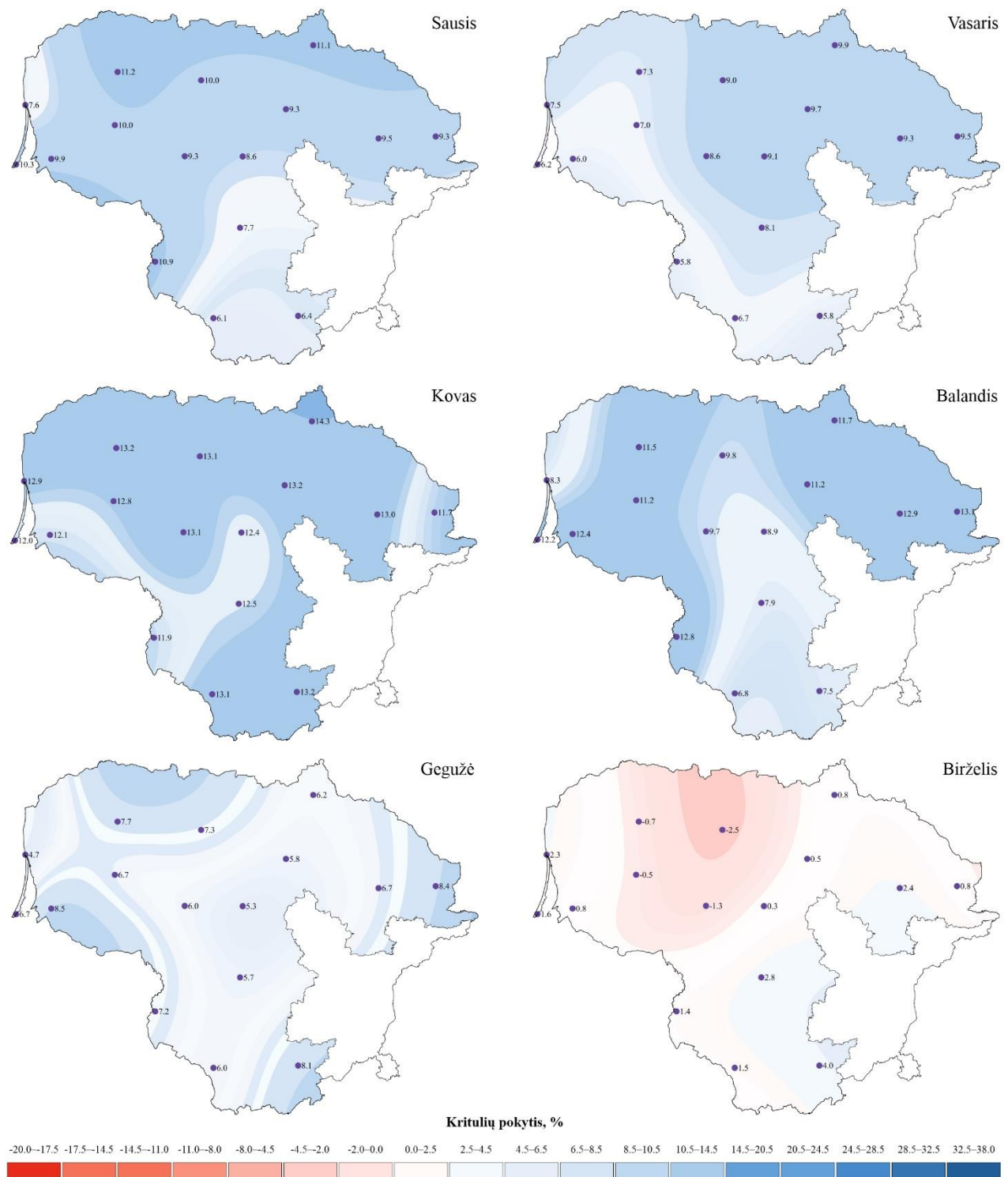
4.4 pav. Prognozuojami kritulių pokyčiai (%) Lietuvoje 2031–2050 m. liepos–rugpjūčio mėn. pagal SSP2-4.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



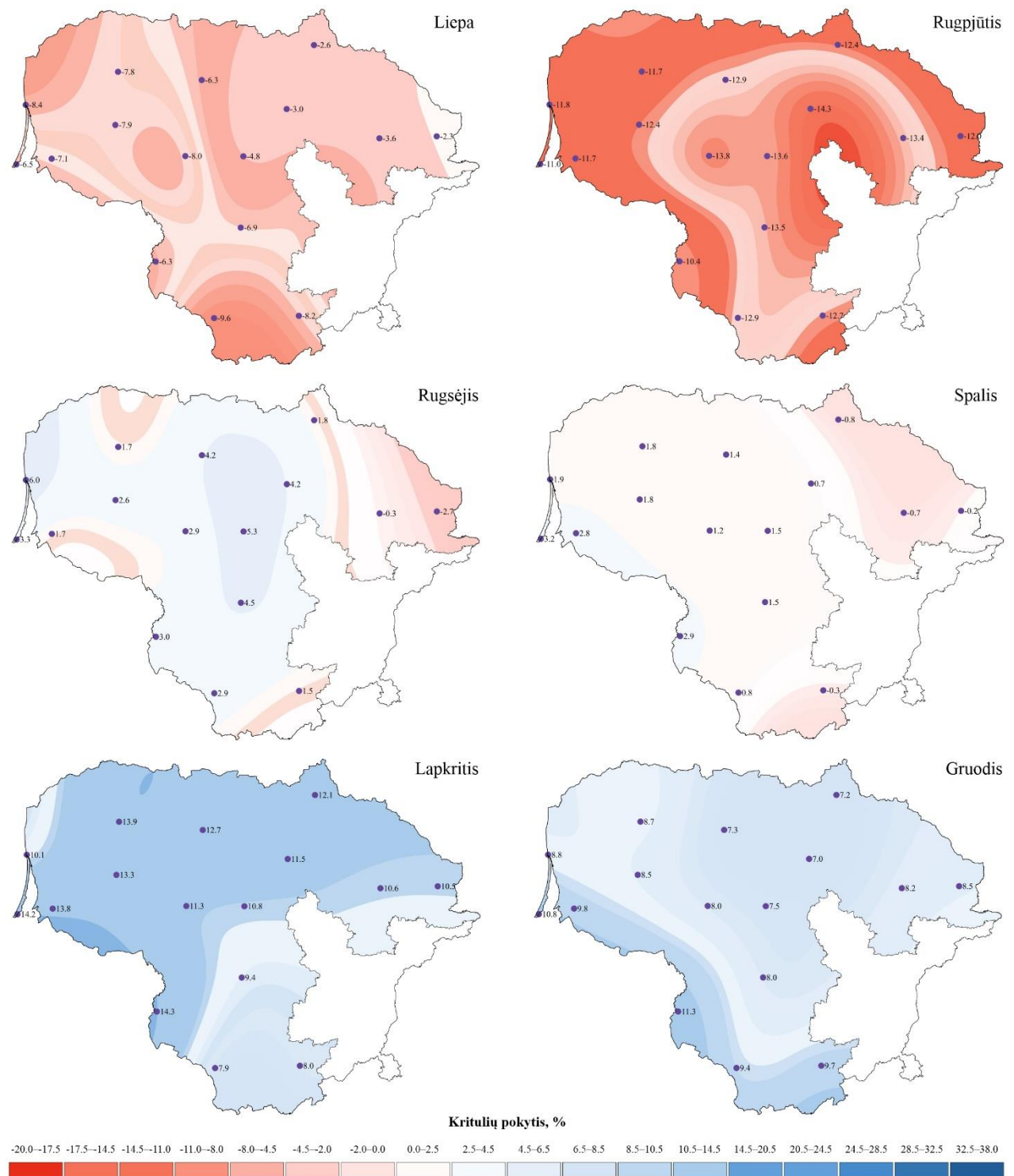
4.5 pav. Prognozuojami kritulių pokyčiai (%) Lietuvoje 2081–2100 m. sausio–birželio mėn. pagal SSP2-4.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



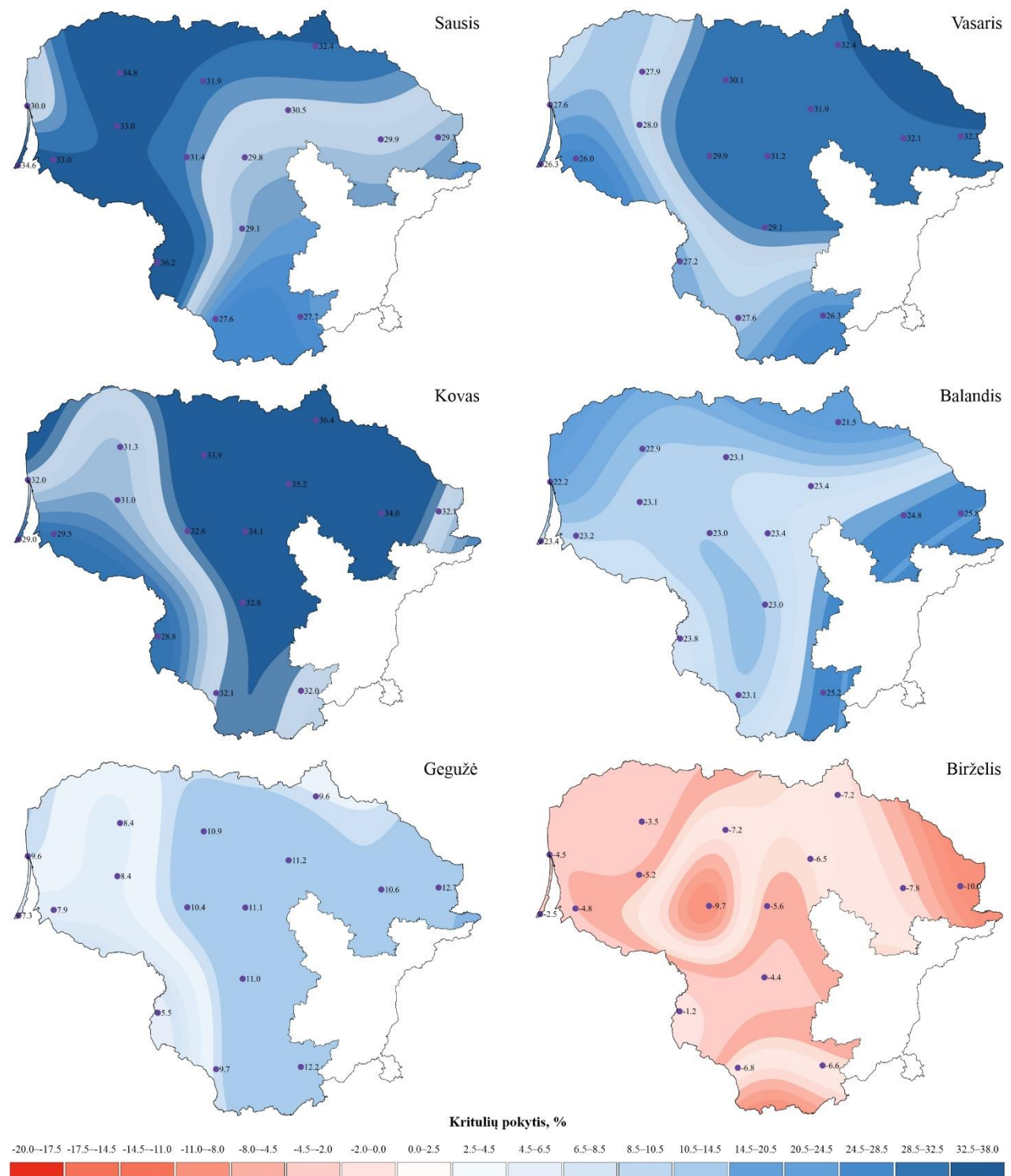
4.6 pav. Prognozuojami kritulių pokyčiai (%) Lietuvoje 2081–2100 m. liepos–rugpjūčio mėn. pagal SSP2-4.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



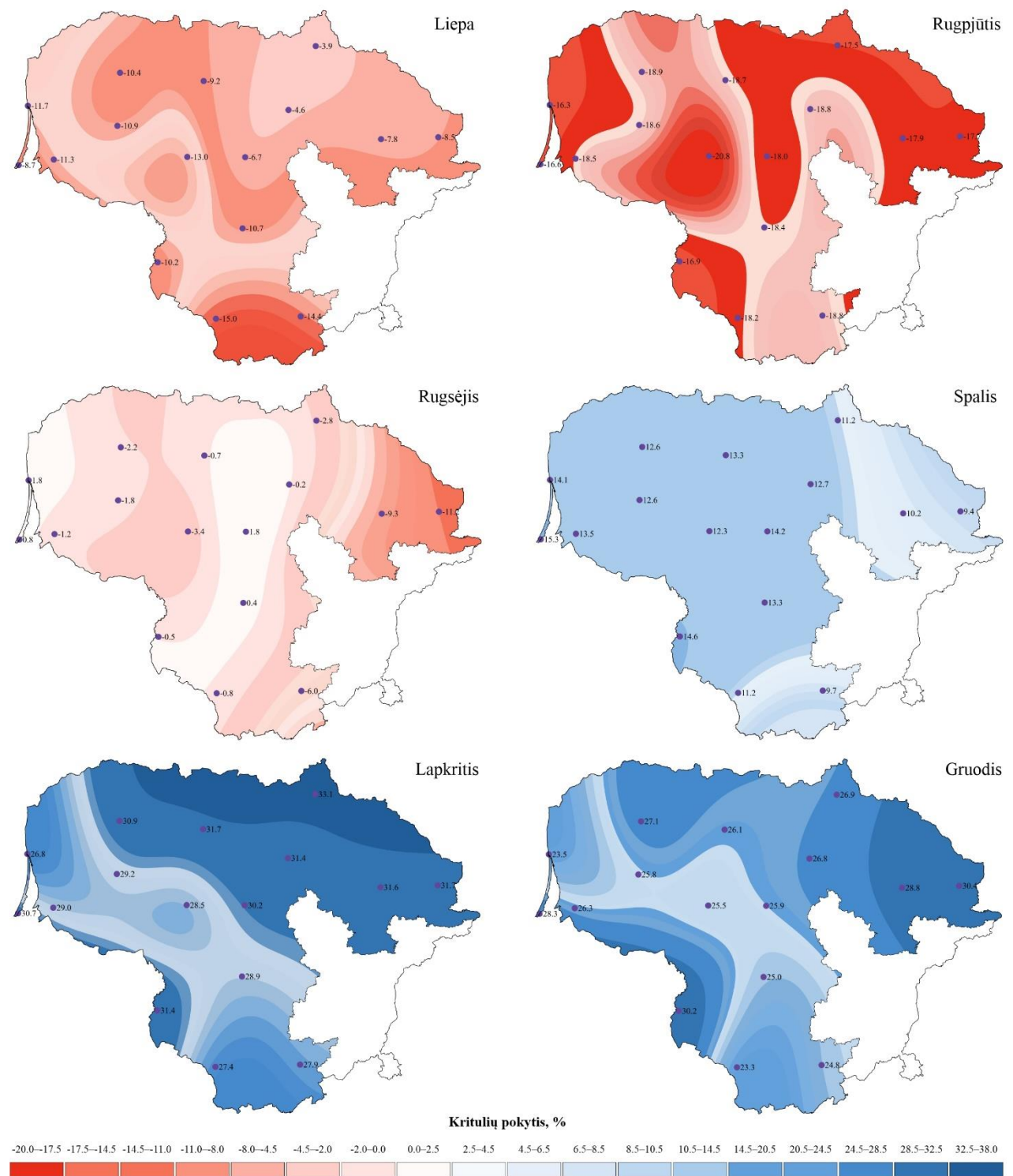
4.7 pav. Prognozuojami kritulių pokyčiai (%) Lietuvoje 2031–2050 m. sausio–birželio mėn. pagal SSP5-8.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



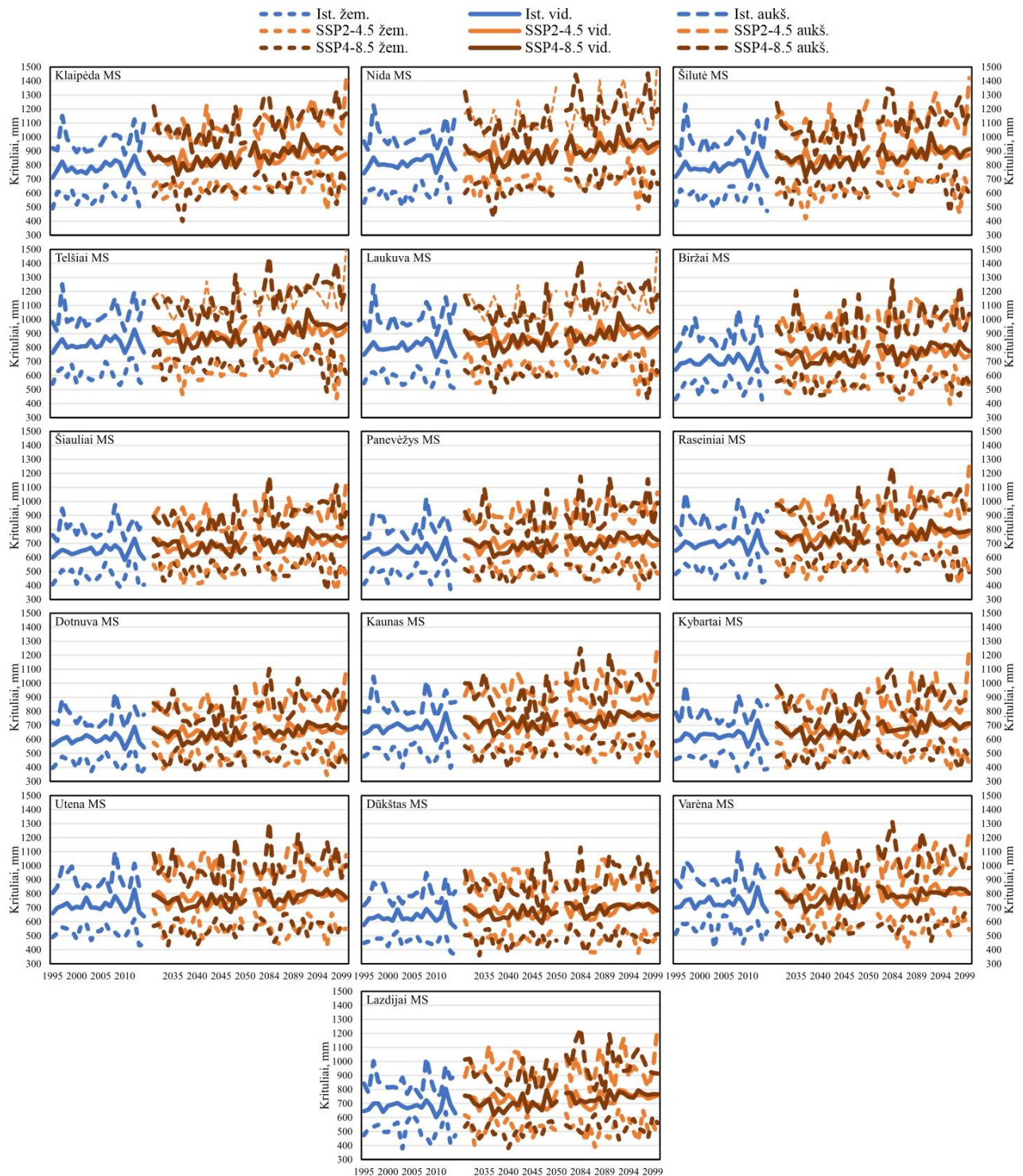
4.8 pav. Prognozuojami kritulių pokyčiai (%) Lietuvoje 2031–2050 m. liepos–rugspjūčio mėn. pagal SSP5-8.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



4.9 pav. Prognozuojami kritulių pokyčiai (%) Lietuvoje 2081–2100 m. sausio–birželio mėn. pagal SSP5-8.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu

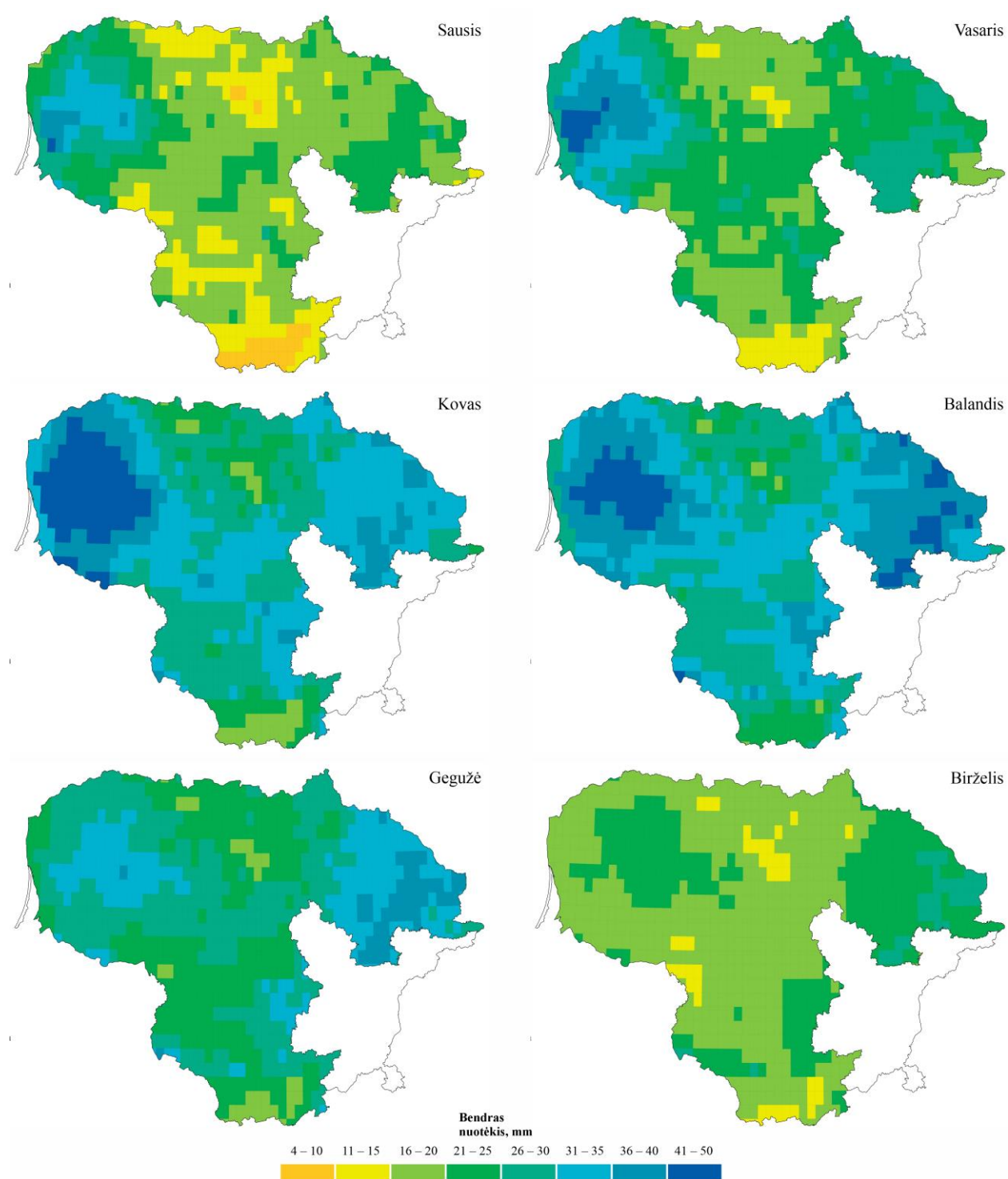


4.10 pav. Prognozuojami kritulių pokyčiai (%) Lietuvoje 2081–2100 m. liepos–rugspjūčio mėn. pagal SSP5-8.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu

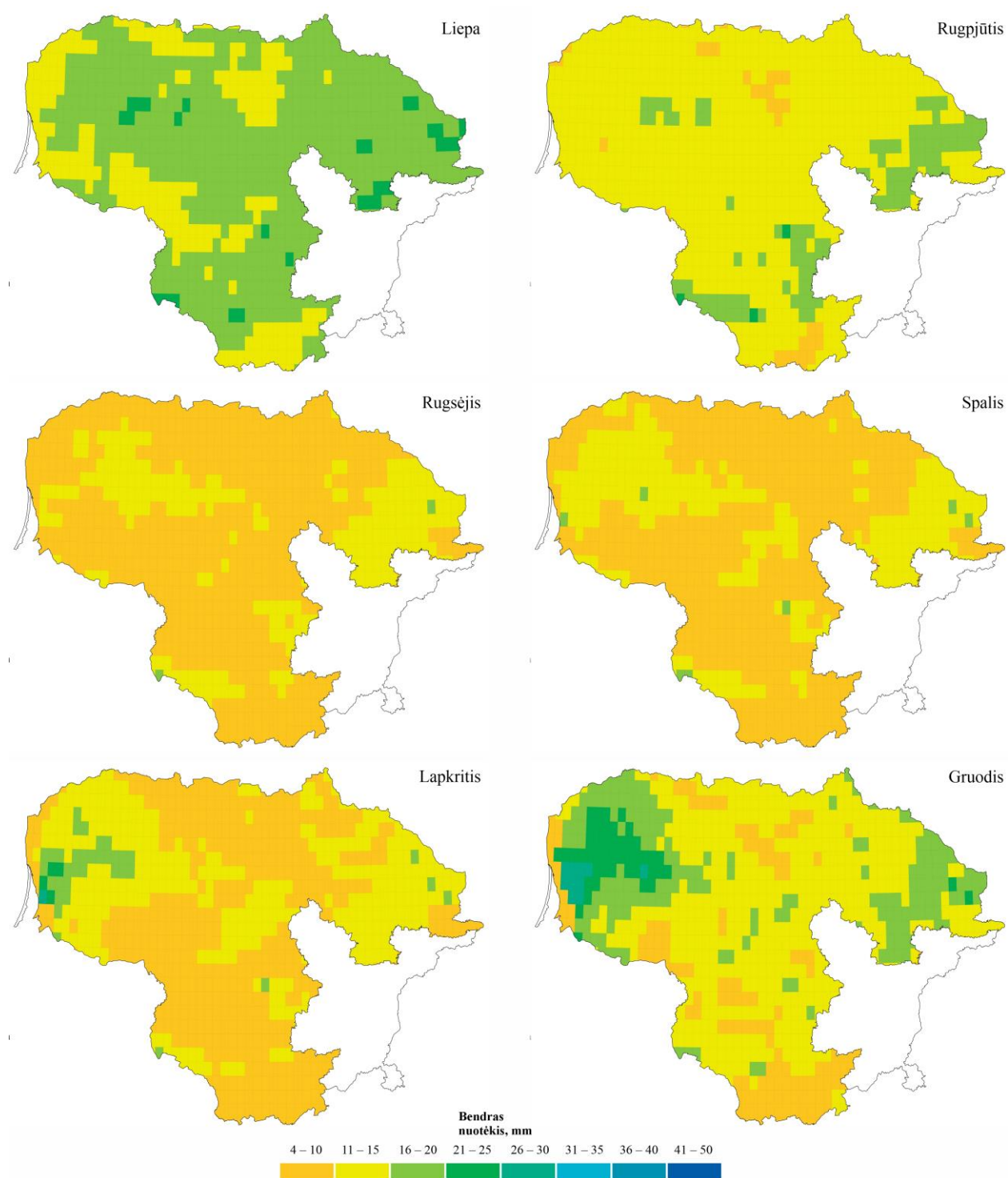


4.11 pav. Kritulių kiekio (mm) prognozė Lietuvos meteorologijos stotyse 1995–2014, 2031–2050 ir 2081–2100 m. laikotarpiais.

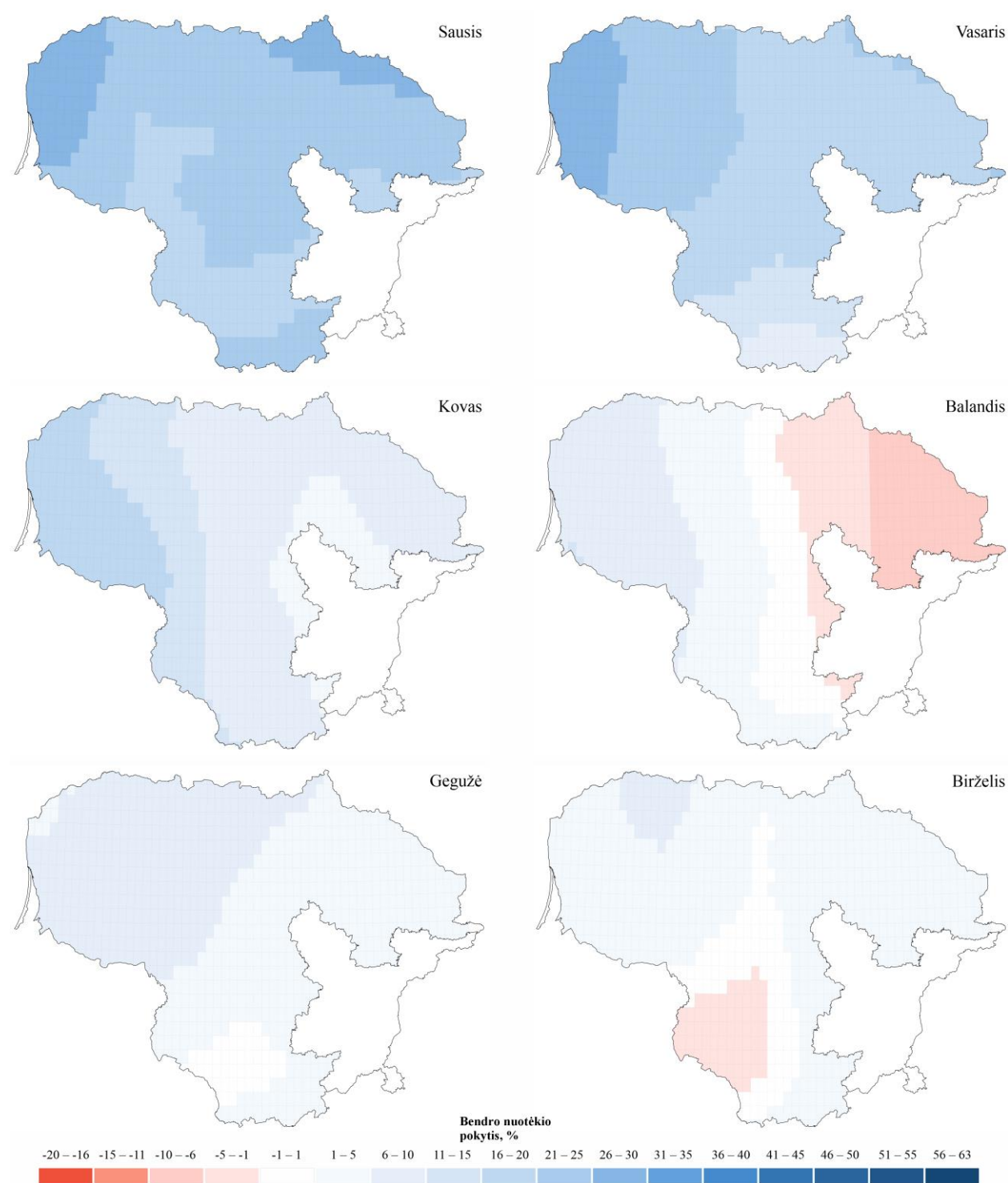
5 priedas. Bendro nuotėkio pokyčiai artimoje ir tolimoje perspektyvoje lyginant su modelių istoriniu laikotarpiu.



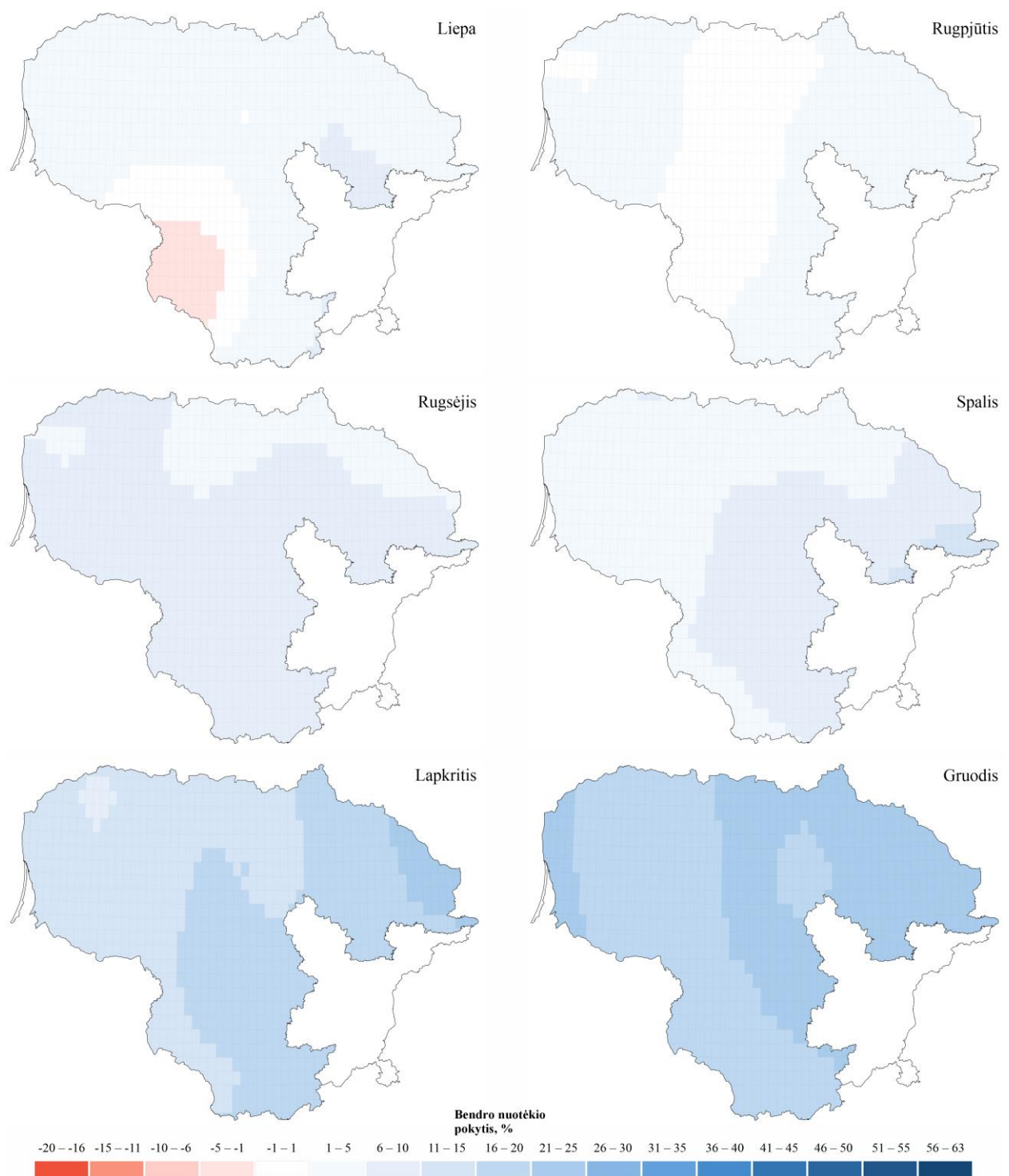
5.1 pav. Mėnesinis bendras nuotėkis (mm) Lietuvoje 1995–2014 m. sausio–birželio mėn.



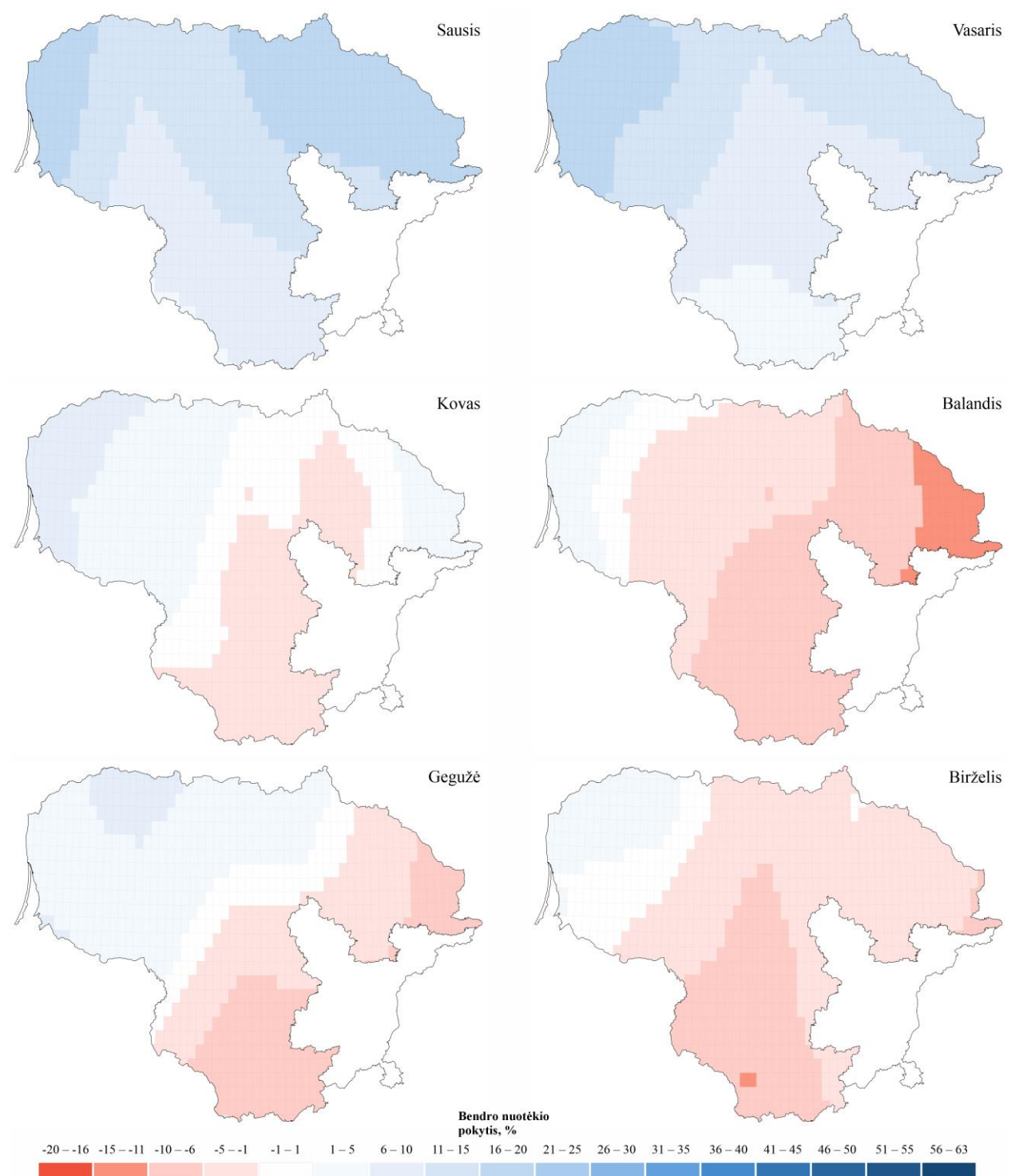
5.2 pav. Mėnesinis bendras nuotėkis (mm) Lietuvoje 1995–2014 m. liepos–gruodžio mėn.



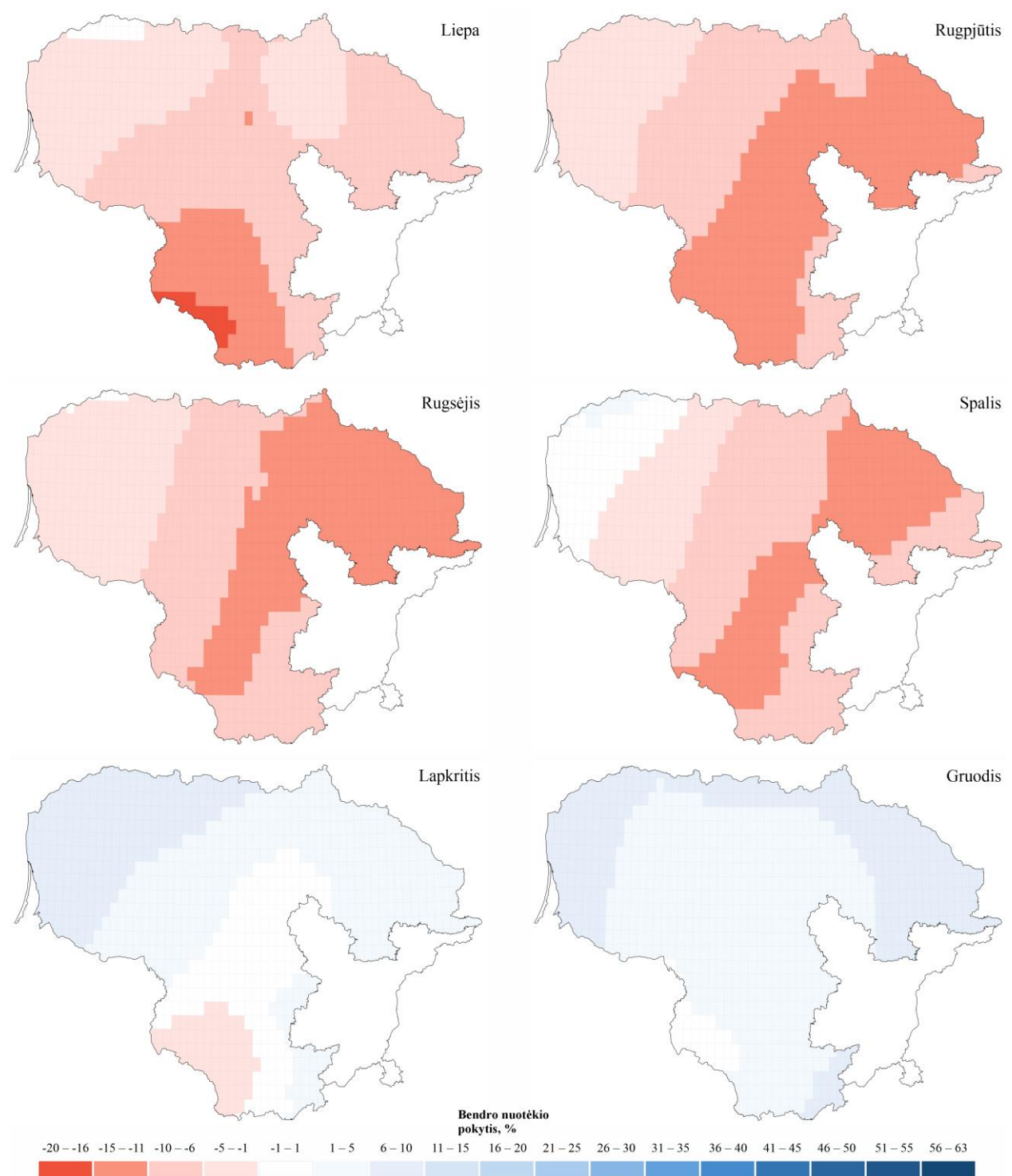
5.3 pav. Prognozuojami bendro nuotėkio pokyčiai (%) Lietuvoje 2031–2050 m. sausio–birželio mėn. pagal SSP2-4.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



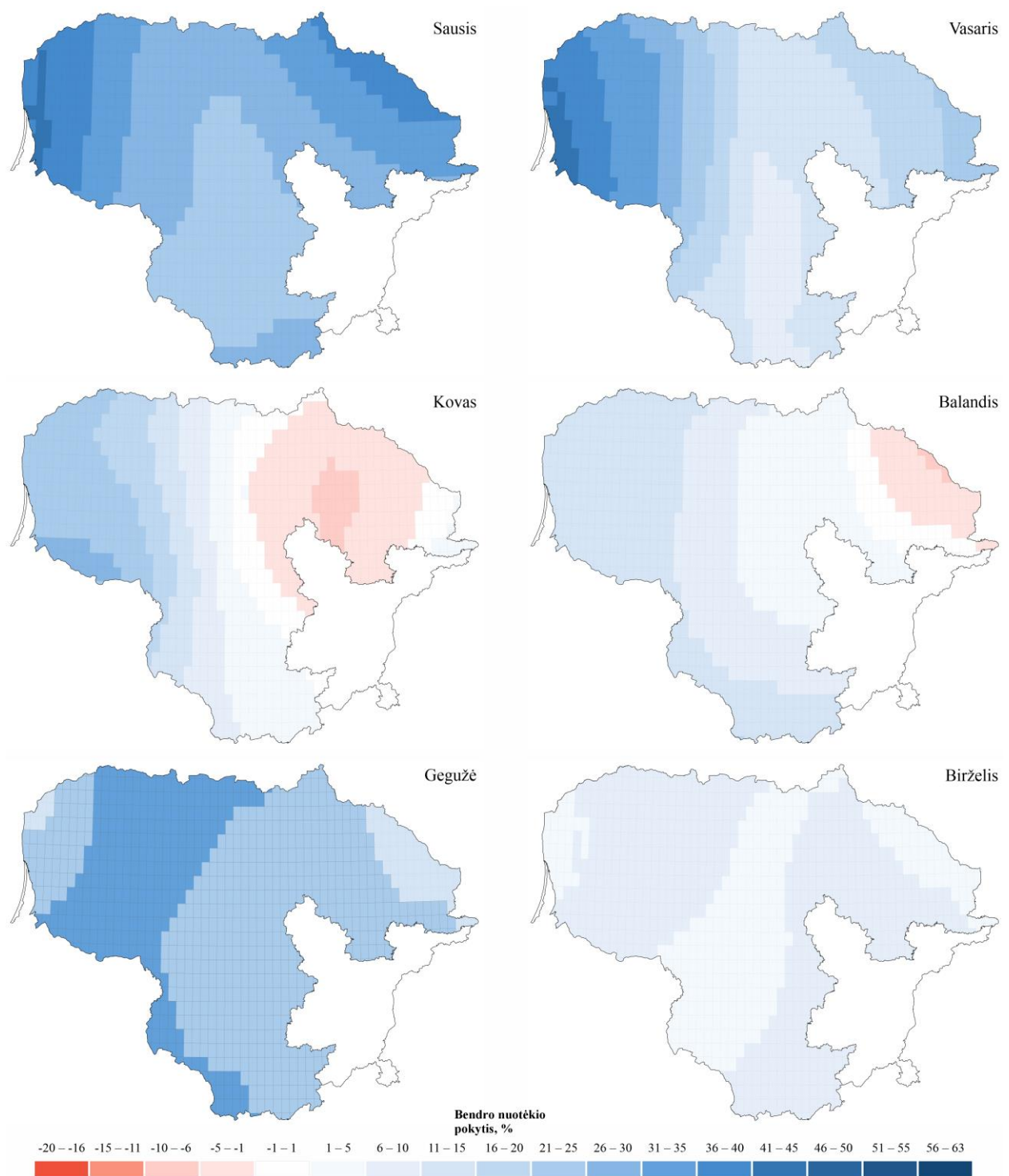
5.4 pav. Prognozuojami bendro nuotėkio pokyčiai (%) Lietuvoje 2031–2050 m. liepos–gruodžio mėn. pagal SSP2-4.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



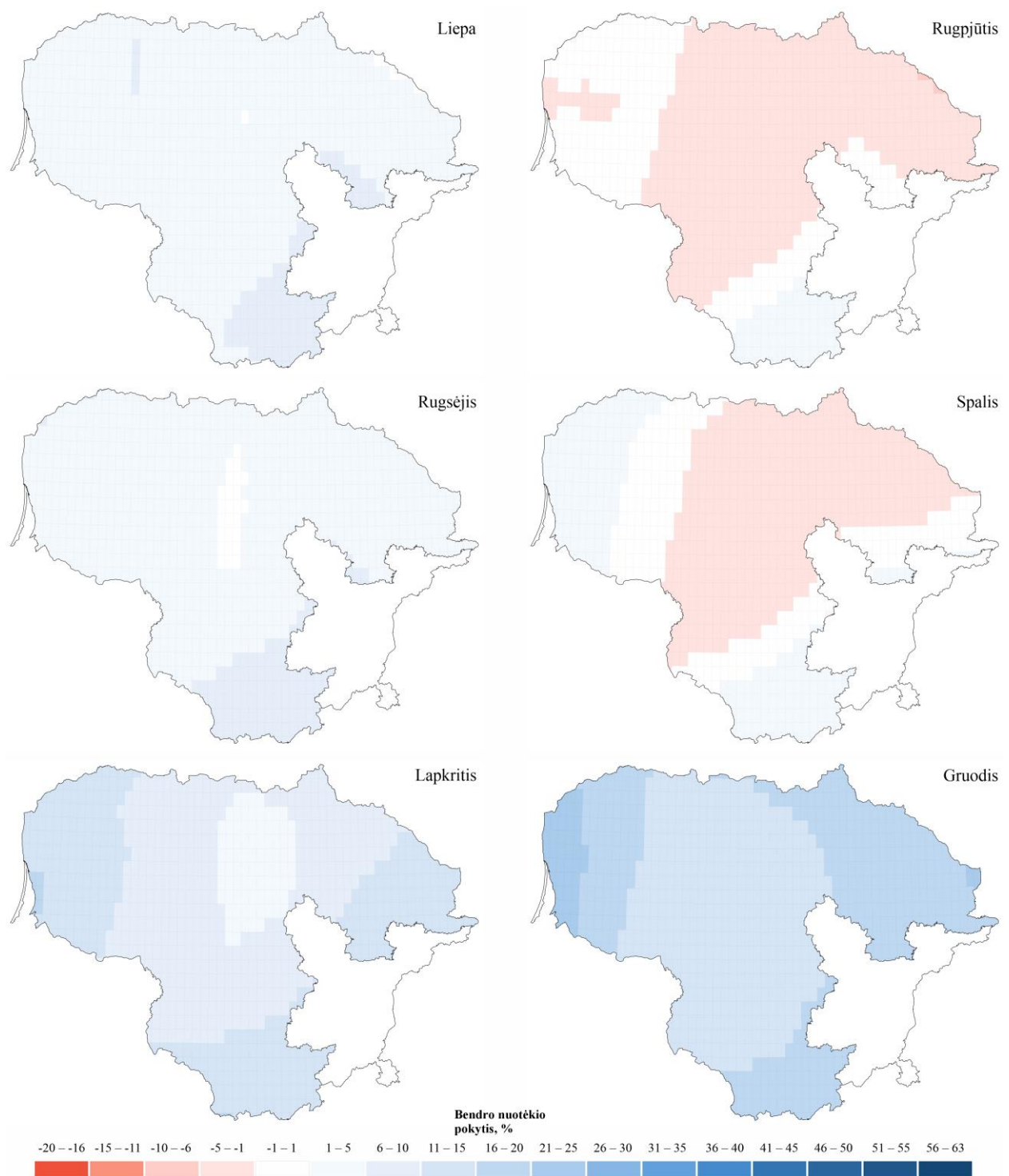
5.5 pav. Prognozuojami bendro nuotėkio pokyčiai (%) Lietuvoje 2031–2050 m. sausio–birželio mėn. pagal SSP5-8.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



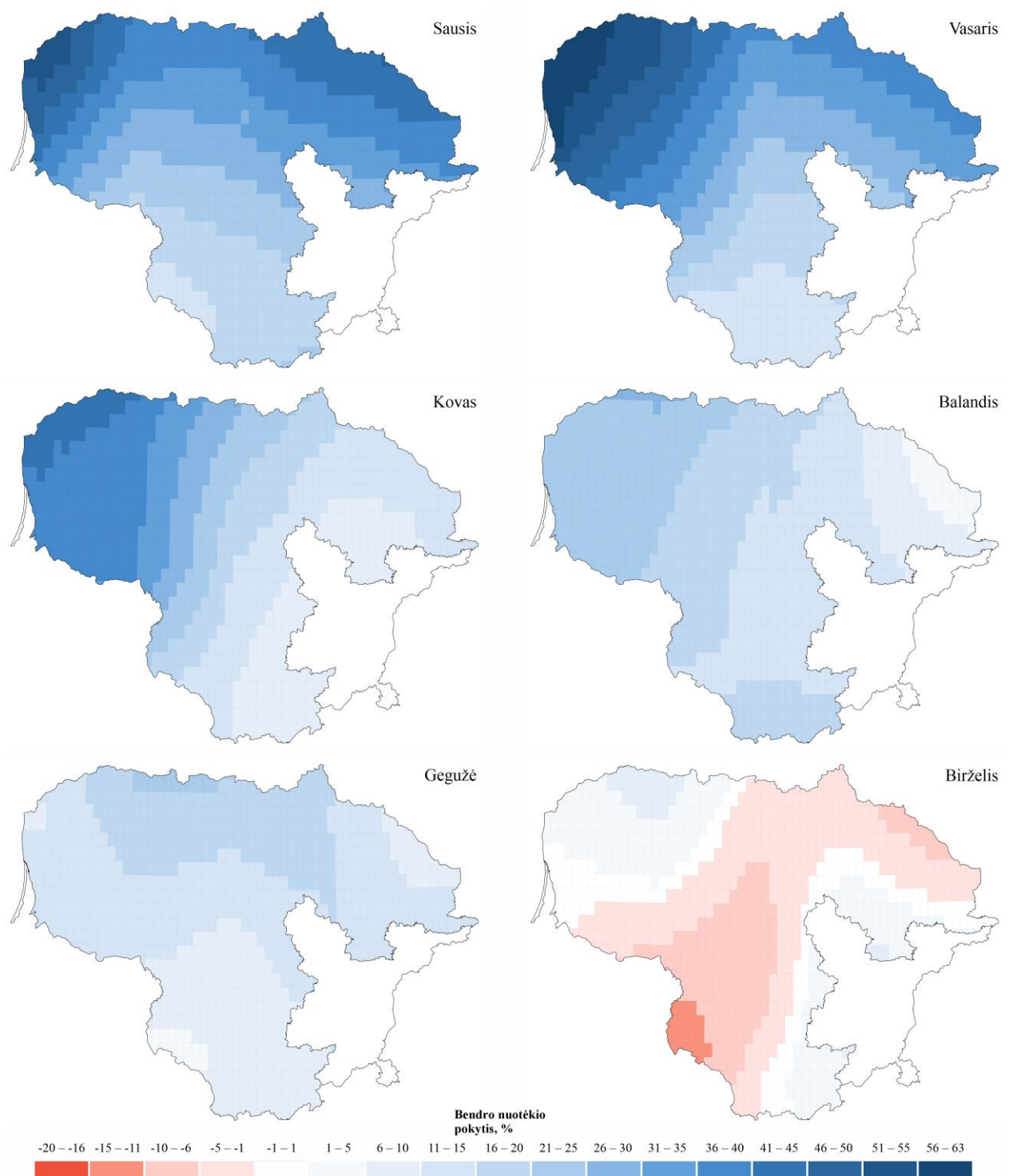
5.6 pav. Prognozuojami bendro nuotėkio pokyčiai (%) Lietuvoje 2031–2050 m. liepos–gruodžio mėn. pagal SSP5-8.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



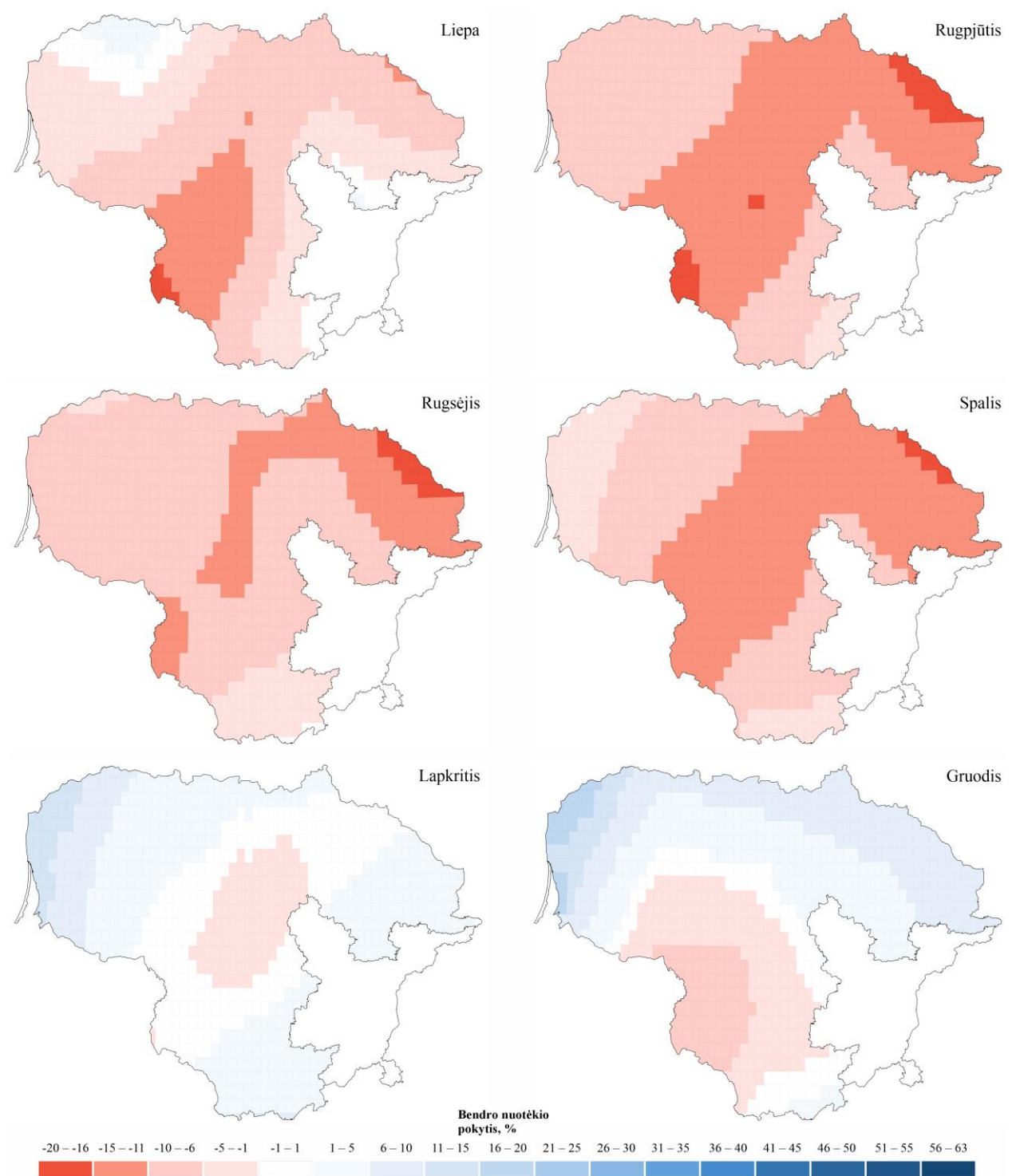
5.7 pav. Prognozuojami bendro nuotėkio pokyčiai (%) Lietuvoje 2081–2100 m. sausio–birželio mėn. pagal SSP2-4.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



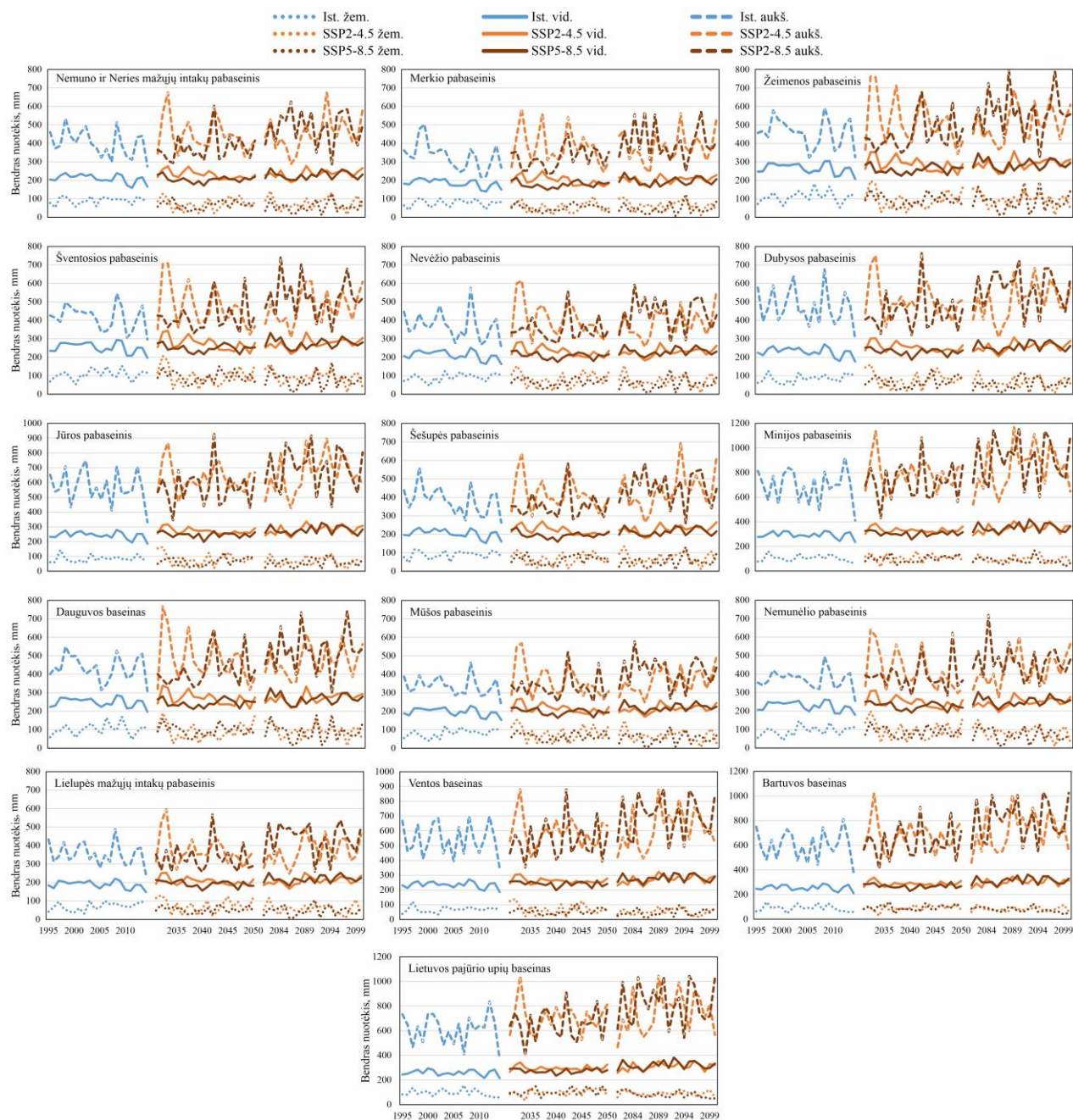
5.8 pav. Prognozuojami bendro nuotėkio pokyčiai (%) Lietuvoje 2081–2100 m. liepos–gruodžio mėn. pagal SSP2-4.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



5.9 pav. Prognozuojami bendro nuotėkio pokyčiai (%) Lietuvoje 2081–2100 m. sausio–birželio mėn. pagal SSP5-8.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



5.10 pav. Prognozuojami bendro nuotėkio pokyčiai (%) Lietuvoje 2081–2100 m. liepos–gruodžio mėn. pagal SSP5-8.5 scenarijų, lyginant su istoriniu laikotarpiu



5.11 pav. Bendro nuotėkio (mm) prognozė Lietuvos upių pabaisiniuose 1995–2014, 2031–2050 ir 2081–2100 m. laikotarpiais.