



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

Lukas Kucevičius

**POPLŪDŽIŲ ĮTAKOS UPIŲ HIDROLOGINIAM REŽIMUI
IŠTYRIMAS**
**INVESTIGATING THE INFLUENCE OF FLOODS ON THE
HYDROLOGICAL REGIME OF RIVERS**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX033

Aplinkos apsaugos inžinerijos specializacija

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vilnius, 2022

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

(Vardas, pavardė)

(Data)

Lukas Kucevičius

**POPLŪDŽIŲ ĮTAKOS UPIŲ HIDROLOGINIAM REŽIMUI
IŠTYRIMAS**
**INVESTIGATING THE INFLUENCE OF FLOODS ON THE
HYDROLOGICAL REGIME OF RIVERS**

Baigiamasis magistro darbas

Aplinkos inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX033

Aplinkos apsaugos inžinerijos specializacija

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc. dr. Lina Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Konsultantas

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Lietuvių kalbos konsultantas

dr. Aušra Žemienė

(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

(Parašas)

(Data)

Vilnius, 2022

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS
APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS
APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis
Aplinkos inžinerijos studijų programa,
valstybinis kodas 6211EX033

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)
Raimondas Grubliauskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.
Vilnius

Studentui (ei) Lukui Kucevičiui

Baigiamojo darbo tema: POPLŪDŽIŲ ĮTAKOS UPIŲ HIDROLOGINIAM REŽIMUI IŠTYRIMAS
patvirtinta 2022 m. balandžio 12 d. dekanato potvarkiu Nr. 65ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2022 m. gegužės 25 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Parengti mokslinių darbų apžvalgą apie upių poplūdžių formavimosi ir kaitos ypatybes. Pasirinkti Lietuvos upes, kurioms sudaryti upių baseinų kvartero nuogulų bei žemėnaudų žemėlapius. Susipažinti su pasaulinės meteorologijos organizacijos sudarytomis klimato kaitos prognozėmis. Įvertinti nagrinėjamų upių metinio, sezoninio nuotėkio bei nuotėkio pasiskirstymo pokyčius pagal dvidešimties (1998 – 2018 m.) metų stebėjimų duomenis. Naudojant TREND programinę įrangą atlikti statistinę analizę naudojant neparametrinius Spearman'o Rho ir Mann-Kendall'io testus. Nustatyti meteorologinių ir geomorfologinių sąlygų įtaką upių nuotėkiui bei atlikti nagrinėjamų upių poplūdžių prognozę.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai:

.....
.....
.....
(Moksl. laipsnis/pedag. vardas, vardas, pavardė)

Vadovas
(Parašas)

doc. dr. Lina Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė
(Moksl. laipsnis/pedag.vardas, vardas, pavardė)

Užduotį gavau

.....
(Parašas)
.....Lukas Kucevičius.....
(Vardas, pavardė)
.....2022-03-03.....
(Data)

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Lukas Kucevičius, 20163605
(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)
Aplinkos inžinerijos fakultetas
(Fakultetas)
Aplinkos inžinerija, ASmf-20
(Studijų programa, akademinė grupė)

**BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)
SĄŽININGUMO DEKLARACIJA**

2022 m. gegužės 18 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Poplūdžių įtakos upių hidrologiniam režimui ištyrimas“ patvirtintas dekanų potvarkiu Nr. , yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Mano darbo vadovas docentas daktaras Lina Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė.

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

	<u>Lukas Kucevičius</u>
(Parašas)	(Vardas ir pavardė)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas Aplinkos inžinerijos fakultetas Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra	ISBN Egz. sk. Data-.....-.....
Antrosios pakopos studijų Aplinkos inžinerijos programos magistro baigiamasis darbas	
Pavadinimas	Poplūdžių įtakos upių hidrologiniam režimui ištyrimas
Autorius	Lukas Kucevičius
Vadovas	Lina Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė
Kalba: lietuvių	
Anotacija Poplūdžiai daro įtaką ekosistemų procesams, veikia upės vagoje vykstančius skendinčių, organinių medžiagų sulaikymo, irimo, maistinių medžiagų transformacijos ir mikrobiologinius procesus. Klimato kaita turi įtakos hidrologinio režimo bei vandens išteklių svyravimams, kas gali paveikti metinį nuotėkio pasiskirstymą upėse ir sukelti vis daugiau poplūdžių. Pastaruoju metu dėl klimato kaitos pasaulyje poplūdžiai tampa vis dažnesni. Skirtinguose Lietuvos regionuose vandens lygiai kinta bei poplūdžiai formuojasi skirtingai, dėl ko, remiantis geomorfologiniais duomenimis svarbu nustatyti kritulių poveikį upių nuotėkiui. Darbo tikslas – nustatyti, kokią įtaką meteorologinės bei geomorfologinės sąlygos turi Bartuvos, Šešuvio, Širvintos, Šušvės, Ūlos ir Verknės upių baseinų poplūdžio formavimuisi. Darbe atliekama tiriamųjų upių hidrologinių ir Laukuvos, Utenos, Vilniaus ir Varėnos meteorologinių stočių meteorologinių duomenų statistinė analizė. Nustatoma meteorologinių ir geomorfologinių sąlygų įtaka upių nuotėkio režimui. Norint įvertinti klimato sąlygų ir upių nuotėkio rodiklių ryšį, apskaičiuoti koreliacijos koeficientai. Naudojant GFDL-CM3 klimato kaitos modelį ir kompiuterines programas atliekama nagrinėjamų upių debitų ir poplūdžių 2081-2100 metų prognozė.	
Prasminiai žodžiai: Poplūdžiai, klimato kaita, meteorologija, geomorfologija, upės	

Vilnius Gediminas Technical University
Faculty of Environmental Engineering
Department of Environment Protection and Water Engineering

ISBN	ISSN
Copies No.	
Date-.....-.....	

Master Degree Studies **Environmental Engineering** study programme Master Final Thesis

Title	Investigating the Influence of Floods on the Hydrological Regime of Rivers
-------	--

Author	Lukas Kucevičius
--------	-------------------------

Academic supervisor **Lina Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė**

Thesis language: Lithuanian

Annotation

Floods affect ecosystem processes, influencing drowning, organic matter retention, decomposition, nutrient transformation and microbiological processes in the river bed. Climate change has an impact on hydrological regimes and water resources, which may affect the annual distribution of runoff in rivers and lead to increased flooding. Recently, climate change has led to an increase in the frequency of floods worldwide. In different regions of Lithuania, water levels are changing and floods are forming differently, which makes it important to determine the impact of precipitation on river runoff based on geomorphological data. The aim of this paper is to determine the influence of meteorological and geomorphological conditions on the formation of terrestrial floods in the Bartuva, Šešuvis, Širvintos, Šušvės, Ūla and Verk-nė river basins. Statistical analysis of study rivers hydrological and meteorological data from the meteorological stations of Laukuva, Utena, Vilnius and Varėna is carried out in the work. The influence of meteorological and geomorphological conditions on the runoff regime of the rivers is determined. Correlation coefficients were calculated to assess the relationship between climatic conditions and river discharge indicators. Using the GFDL-CM3 climate change model and computer frameworks, a forecast of the flows and floods of the rivers under consideration for the period 2081-2100 is made.

Keywords: Floods, climate change, meteorology, geomorphology, rivers

TURINYS

SANTRUMPOS.....	8
ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS	9
LENTELIŲ SĄRAŠAS	10
ĮVADAS.....	11
1. LIETUVOS IR UŽSIENIO MOKSLINIŲ DARBŲ APŽVALGA IR ANALIZĖ	13
1.1. Upių nuotėkio formavimasis	13
1.2. Poplūdžių įtaka žmonėms ir ekosistemoms	14
1.3. Klimato poveikis upių nuotėkio režimui.....	17
1.4. Klimato kaitos modeliai	22
1.5. Poplūdžių modeliai	24
1.6. Upių poplūdžių tyrimai	25
2. TIRIAMASIS OBJEKTAS IR TYRIMO METODIKA.....	28
2.1. Tiriamasis objektas.....	28
2.2 Tyrimo metodika.....	30
3. TYRIMO REZULTATAI	35
3.1. Meteorologinių duomenų analizė.....	35
3.2. Upių baseinų geomorfologinių sąlygų analizė.....	39
3.3. Hidrologinių duomenų analizė.....	43
3.4. Upių nuotėkių prognozė.....	55
4. VANDENS LYGIO ĮTAKA UPIŲ PAKRANTĖMS	61
IŠVADOS	65
REKOMENDACIJA.....	66
LITERATŪRA.....	67
PRIEDAI	72

SANTRUMPOS

ES – Europos Sąjunga

GFDL-CM3 – Geophysical Fluid Dynamics Laboratory – Climate Model 3

GIS – Geoinformacinė sistema

JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos

JK – Jungtinė Karalystė

MS – Meteorologinė stotis

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

RKM – regioniniai klimato modeliai

SPHY – Spatial Processes in Hydrology

TKKK – Tarpvyriausybė klimato kaitos komisija

VMS – Vandens matavimo stotis

VMS – Vandens matavimo stotis

ILIUSTRACIJŲ SĄRAŠAS

- 2.1 pav. Nagrinėjamų upių baseinai ir meteorologinės stotys
- 2.2 pav. Nagrinėjamų upių baseinų žemėlapiai (a–Bartuvos, b–Verknės, c–Ūlos, d–Šešuvio, e–Šušvės, f–Širvintos upių baseinai)
- 2.3. pav. GFDL-CM3 žemės paviršiaus temperatūros pokytis palyginus su 2000 metais
- 3.1 pav. Vidutinis metinis kritulių kiekis Lietuvoje 1991-2020 m
- 3.2 pav. Nagrinėjamų MS kritulių pasiskirstymas 1998-2018 m.
- 3.3 pav. Nagrinėjamų MS kritulių pasiskirstymas mėnesiais 1998-2018 m.
- 3.4 pav. Nagrinėjamų MS kritulių pasiskirstymas sezonais 1998-2018 m.
- 3.5 pav. Nagrinėjamų upių baseinų žemėnaudų pasiskirstymas (a–Bartuvos, b–Ūlos, c–Širvintos, d–Verknės, e–Šušvės, f–Šešuvio upių baseinai)
- 3.6 pav. Nagrinėjamų upių baseinų nuogulų pasiskirstymas (a–Bartuvos, b–Verknės, c–Ūlos, d–Šešuvio, e–Šušvės, f–Širvintos upių baseinai)
- 3.7 pav. Bartuvos upės maksimalūs ir vidutiniai debitai 1998-2018 m.
- 3.8 pav. Bartuvos upės 1998 m. rudens poplūdis
- 3.9 pav. Bartuvos upės vasaros ir rudens debitai
- 3.10 pav. Bartuvos upės vandens lygiai poplūdžio metu
- 3.11 pav. Bartuvos upės integralinė kreivė
- 3.12 pav. Šešuvio upės integralinė kreivė
- 3.13 pav. Širvintos upės integralinė kreivė
- 3.14 pav. Šušvės upės integralinė kreivė
- 3.15 pav. Ūlos upės maksimalūs ir vidutiniai debitai 1998-2018 m
- 3.16 pav. Ūlos upės 2007 m. vasaros poplūdis
- 3.17 pav. Ūlos upės vasaros ir rudens nuotėkiai
- 3.18 pav. Ūlos upės vandens lygiai poplūdžio metu
- 3.19 pav. Ūlos upės integralinė kreivė
- 3.20 pav. Verknės upės maksimalūs ir vidutiniai debitai 1998-2018 m.
- 3.21 pav. Verknės upės 2017 m. vasaros poplūdis
- 3.22 pav. Verknės upės vandens lygiai poplūdžio metu
- 3.23 pav. Verknės upės integralinė kreivė
- 3.24 pav. Bartuvos upės vidutinių nuotėkių lygties *Reciprocal Quadratic* grafikas
- 3.25 pav. Šušvės upės maksimalių nuotėkių lygties *Rational model* grafikas
- 3.26 pav. Nagrinėjamų upių prognozuojami vidutiniai nuotėkiais skirtingais scenarijais
- 3.27 pav. Nagrinėjamų upių prognozuojami maksimalūs nuotėkiais skirtingais scenarijais
- 4.1 pav. Verknės upės ties Verbyliškėmis esamas vidutinis, nagrinėjamu laikotarpiu nustatytas didžiausias ir prognozuojamas didžiausias vandens lygiai
- 4.2 pav. Verknės upės ties Verbyliškėmis prognozuojama poplūdžių metu užliejama teritorija
- 4.3 pav. Ūlos upės ties Zervynomis esamas vidutinis, nagrinėjamu laikotarpiu nustatytas didžiausias ir prognozuojamas didžiausias vandens lygiai
- 4.4 pav. Ūlos upės ties Zervynomis prognozuojama poplūdžių metu užliejama teritorija

LENTELIŲ SĄRAŠAS

- 2.1 lentelė. Nuogulų infiltraciniai koeficientai
- 2.2 lentelė. Žemėnaudų koeficientai
- 2.3 lentelė. Vandens susilaikymo augalijos dangoje koeficientai
- 3.1 lentelė. *Mann-Kendall* ir *Spearman Rho* testų rezultatai nagrinėjamo laikotarpio kritulių kiekiams visu nagrinėjamu laikotarpiu
- 3.2 lentelė. *Mann-Kendall* ir *Spearman Rho* testų rezultatai nagrinėjamo laikotarpio kritulių kiekiams penkmečiais
- 3.3 lentelė. Maksimalių debitų ir kritulių Pirsono koreliacijos koeficientai ir p reikšmės
- 3.4 lentelė. Vidutinių debitų ir kritulių Pirsono koreliacijos koeficientai ir p reikšmės
- 3.5 lentelė. Žemėnaudų pasiskirstymas nagrinėjamų upių baseinuose
- 3.6 lentelė. Nuogulų pasiskirstymas nagrinėjamų upių baseinuose
- 3.7 lentelė. Žemėnaudų pasiskirstymas nuogulose
- 3.8 lentelė. *Mann-Kendall* ir *Spearman Rho* testų rezultatai maksimaliems nagrinėjamo laikotarpio nuotėkiams visu nagrinėjamu laikotarpiu
- 3.9 lentelė. *Mann-Kendall* ir *Spearman Rho* testų rezultatai vidutiniams nagrinėjamo laikotarpio nuotėkiams visu nagrinėjamu laikotarpiu
- 3.10 lentelė. *Mann-Kendall* ir *Spearman Rho* testų rezultatai maksimaliems nagrinėjamo laikotarpio nuotėkiams penkmečiais
- 3.11 lentelė. *Mann-Kendall* ir *Spearman Rho* testų rezultatai vidutiniams nagrinėjamo nuotėkiams penkmečiais
- 3.12 lentelė. Prognozuojami kritulių pokyčiai ir kritulių kiekiai vasaros-rudens sezonu 2081-2100 m.

IVADAS

Klimatas paskutiniais keliais dešimtmečiais keitėsi vis sparčiau, dėl ko pasireiškiantys temperatūros ir kritulių kiekio pokyčiai lemia vis didesnius nuotėkio svyravimus upėse ir ežeruose. Dėl klimato kaitos Lietuvos upėse padidėja poplūdžių skaičius, žiemos mėnesiais temperatūra kyla, nyksta metų laikų kontrastingumas.

Žmonijos veiklos sukelta klimato kaita apibrėžiama kaip nuo pramoninės revoliucijos pradžios stebimas spartėjantis atmosferos vidutinės temperatūros kilimas, jo sukeliama klimato pokyčiai bei tų pokyčių įtaka pasaulio augmenijai, gyvūnijai, žmonijai. Remiantis Tarpvyriausybinių klimato kaitos komisijos ir Nacionalinės vandenynų ir atmosferos tyrimų administracijos (JAV) duomenimis, 1880–2016 metais globalioji oro temperatūra padidėjo 0,92 °C. Lietuvoje vidutinė metinė temperatūra, palyginti su XX a. pradžia, pakilo 0,7–0,9 °C (Škiudas et al., 2020).

Didėjant susirūpinimui dėl klimato kaitos, meteorologiniai duomenys yra ypač svarbūs mokslo bendruomenei ir visai visuomenei, nes nuo turimų meteorologinių duomenų priklauso asmenų, įmonių ir vyriausybių sprendimai. Gausūs krituliai ir ekstremalūs reiškiniai yra aktualūs tiriant klimato kaitos poveikį ekonominiu bei socialiniu aspektais. Tačiau ekstremalūs reiškiniai paprastai yra reti ir trumpalaikiai reiškiniai, o daugelyje pasaulio regionų jiems užfiksuoti turima tik nedaug pakankamų stebėjimo duomenų. Atsižvelgiant į tai, svarbūs didelės laiko skiriamosios gebos kritulių matavimai, taip pat pripažinta, kad jie labai naudingi miestų drenažo modeliams, klimato kaitos modeliavimui, pasėlių modeliams ir augalininkystei (Panagos et al., 2017).

Poplūdžiai – Lietuvos klimato sąlygoms būdinga vandens sistemų būseną. Poplūdis apibrėžiamas kaip žymiai trumpesnis (bet dažnai – labiau intensyvus) vandens debito ir lygio padidėjimas (Stonevičius et al., 2010).

Potvyniai bei poplūdžiai daro įtaką ekosistemų procesams, veikia upės vagoje vykstančius skendinčių, organinių medžiagų sulaikymo, irimo, maistinių medžiagų transformacijos ir mikrobiologinius procesus. Potvyniai ir poplūdžiai taip pat veikia sausumos užliejamų teritorijų biotą ir daro įtaką paviršinio bei požeminio vandens kokybei ir papildymui. Kylantys vandenys didina hidrologinius ryšius erdviniu mastu, ypač sausringose, pusiau sausringose ir drėgnose-sausringose zonose. Tai palengvina medžiagų, pavyzdžiui, maistinių, organinių medžiagų bei sumedėjusių liekanų pernešimą žemyn upe į gretimas užliejamas teritorijas bei pakrančių zonas. Potvyniai taip pat gali sukelti dumblių ir „smėlio šliuzus“, pakeisti upės vagos morfologiją, išplauti substratą, vietoje esančius išteklius, tokius kaip makrofitai ir detritas, ir perkelti, sužeisti ar sunaikinti biotą (Leigh et al., 2015).

Potvyniai yra viena iš didžiausių stichinių nelaimių pasaulyje ir paprastai daro didelę žalą aplinkai. Vienas svarbiausių potvynių ekologinių padarinių yra jų poveikis biologinei įvairovei. Arizonoje (JAV) dėl potvynių dykumos graužikus pakeitė invazinė rūšis. Nykstančios mėlynosios anties (*Hymenolaimus malacorrhynchos*) išnykimo rizika padidėjo 69 % iš dalies dėl potvynių poveikio. Potvyniai daro poveikį visiems užliejamose teritorijose gyvenantiems gyvūnams, dėl to žūsta pavieniai gyvūnai ir net vietomis išnyksta rūšys, mažėja užliejamų teritorijų biologinė įvairovė (Zhang et al., 2021).

Nuo 2008 m. dėl gamtos stichijų sukeltų nelaimių savo namus paliko 288 mln. žmonių, t. y. tris kartus daugiau nei dėl karų, konfliktų ir smurto savo šalyse. Potvyniai yra didžiausia persikėlimo priežastis – jie sudaro apie pusę visų perkeltųjų dėl nelaimių asmenų; vien dėl potvynių buvo perkelta 63 proc. daugiau asmenų nei dėl konfliktų ir smurto. Perkėlimai gali būti trumpalaikiai, pavyzdžiui, atsargumo tikslais evakuojantis prieš artėjančią potvynį. Tačiau, jei žmonių namams ir bendruomenės infrastruktūrai padaroma didelė žala ir (arba) sutrinka pragyvenimo šaltiniai ir bendruomenės paslaugos, išsikėlimas gali užsitęsti ilgą laiką (Man Kam et al., 2021).

Klimato pokyčių poveikis vandens ištekliais kasmet vis reikšmingesnis, todėl svarbu įvertinti Lietuvos upių nuotėkio pokyčius.

Darbo tikslas

Darbo tikslas – nustatyti, kokią įtaką meteorologinės bei geomorfologinės sąlygos turi Bartuvos, Šešuvio, Širvintos, Šušvės, Ūlos ir Verknės upių baseinų poplūdžio formavimuisi bei atlikti minėtų upių poplūdžių prognozę.

Uždaviniai

- Sudaryti Bartuvos, Šešuvio, Širvintos, Šušvės, Ūlos ir Verknės upių baseinų kvartero nuogulų bei žemėnaudų žemėlapius.
- Įvertinti Bartuvos, Šešuvio, Širvintos, Šušvės, Ūlos ir Verknės upių metinio, sezoninio nuotėkio bei nuotėkio pasiskirstymo pokyčius pagal dvidešimties (1998 – 2018 m.) metų stebėjimų duomenis.
- Naudojant TREND programinę įrangą atlikti statistinę analizę naudojant Spearman'o Rho ir Mann-Kendall'io testus.
- Nustatyti meteorologinių ir geomorfologinių sąlygų įtaką upių nuotėkiui.
- Atlikti nagrinėjamų upių poplūdžių prognozę.

Darbo aktualumas

Klimato kaita turi įtakos hidrologinio režimo bei vandens išteklių svyravimams, kas gali paveikti metinį nuotėkio pasiskirstymą upėse ir sukelti vis daugiau poplūdžių.

Poplūdžiai niokoja bei gadina ne tik urbanizuotas teritorijas bei brangią ir svarbią infrastruktūrą, bet gali nusinešti ir žmonių gyvybes.

Poplūdžiai taip pat neigiamai paveikia ir gamtinius elementus bei biosistemas išsklaidant teršalus ir biogenines medžiagas didelėje teritorijoje ar nuplukdant juos į jūras, suniokojant gyvūnų bei augalų buveines, išplaunant nerštavietes bei paukščių perėjimo vietas, išplaunant dirvožemius ir pan.

Darbo naujumas

Pastaruoju metu dėl klimato kaitos pasaulyje vis dažnesni tampa poplūdžiai.

Šis darbas yra kompleksinis tyrimas, analizuojantis upių poplūdžių formavimąsi vertinant upių baseinuose vyraujančias nuogulas naudojant dvidešimties metų (1998-20018) Bartuvos, Šešuvio, Širvintos, Šušvės, Ūlos ir Verknės upių hidrologinius ir Laukuvos, Utenos, Vilniaus ir Varėnos meteorologinių stočių kritulių duomenis. Darbe atliekama nagrinėjamų upių poplūdžių prognozė 2081–2100 metais.

1. LIETUVOS IR UŽSIENIO MOKSLINIŲ DARBŲ APŽVALGA IR ANALIZĖ

1.1. Upių nuotėkio formavimasis

Turimi paviršinio vandens ištekliai ir racionalus jų panaudojimas – visada aktuali problema. Viena vertus, vandens ištekliai yra neišsemiami, nes dalyvauja uždareme vandens apykaitos rate, tačiau šiame apykaitos rate vyksta vandens išteklių persiskirstymas tiek erdvėje, tiek laike. Vandens ištekliai ir jų pasiskirstymo netolygumas priklauso nuo konkrečios teritorijos klimatinių ir meteorologinių sąlygų ir kinta nuolatos – pasitaiko labai vandeningų ir sausų laikotarpių. Regioniniu požiūriu net ir nedidelėse teritorijose tų pačių metų upių vandeningumas labai skiriasi. Visa tai lemia pagrindinio upių maitinimo šaltinio daugiametę kritulių kiekio kaita ir teritorinis pasiskirstymas (Meilutytė-Barauskienė et al., 2008).

Hidrologiniame cikle yra daugybė tarpusavyje susijusių komponentų, o nuotėkis apjungia kritulius su srovės tėkme. Paviršinis nuotėkis susiformuoja krituliams nespėjus įsiskverbti į dirvožemį, taip patenkant į paviršinius vandenis (upelius, upes, ežerus ar kitus telkinius). Gražinant perteklinį kritulių kiekį ir kontroliuojant, kiek vandens patenka į vandens telkinius, nuotėkis yra svarbus hidrologinio ciklo balansavimo veiksnys. Paviršinis nuotėkis yra svarbiausias dėmuo siekiant stebėti vandens išteklius, taip pat spręsti vandens kokybės ir kiekio problemas, tokias kaip potvynių ir poplūdžių prognozavimas, ekologiniai ir biologiniai rodikliai vandenyje. Nuotėkis taip pat yra pagrindinis perteklinių maistinių medžiagų bei pesticidų taršos pernašos veiksnys išplaunant juos į vandens telkinius (Sitterson et al., 2018).

Upės tinklo struktūra ir kryptinga upės tėkmė daro įtaką dreifuojančių organizmų ir medžiagų judėjimui pasroviui, taip pat pagrindiniams bendrųjų sklaidos ir susitelkimo būdams. Eksperimentai rodo, kad vietos aplinka kontroliuoja bendrųjų sudėtį labiau izoliuotuose aukštupiuose, o sklaida ir aplinkos įtaka kartu veikia gerai sujungtame pagrindiniame krante arba pagrindiniame žemupyje. Tai vadinama tinklo padėties hipoteze. Nors pasitaiko šios hipotezės prieštaringų rezultatų, neseniai atliktas tyrimas, kuriame naudota grafų teorija ir žuvų bendruomenės (t. y., kelios išsisklaidymo būdu susietos bendruomenės) rodo, kad šios hipotezės patvirtinimas gali priklausyti nuo baseino struktūros ir aplinkos heterogeniškumo laipsnio aukštupyje, lyginant su vidurupiu ir žemupiu. Baseino struktūros įtraukimas į nuotėkio režimų tyrimus taip pat svarbus, nes dendritinis upių ryšys riboja organizmų judėjimą ir su tuo susijusį jų išlikimą. Tai ypač svarbu atsižvelgiant į klimato kaitą, nes tikėtini tiek drėkinimo kanalų tinklo struktūros, tiek buveinių kokybės pokyčiai visame baseine (Palmer & Ruhi, 2019).

Paviršinio nuotėkio formavimosi procesas priklauso nuo liūčių struktūros. Lietaus intensyvumo pasiskirstymas liūties metu yra skirtingas įvairiose vietovėse, nes priklauso nuo labai kintančių meteorologinių sąlygų (Dumbrauskas, 2000). Pasak Pauliukevičiaus (2007), metinį nuotėkį labiausiai veikia klimato, fiziniai-geografiniai bei antropogeniniai veiksniai.

Hidrologijoje miškų ir dirvožemio poveikis nuotėkio formavimuisi tebėra „pilkoji“ zona. Dauguma mokslininkų teigia, kad miškai paprastai linkę sumažinti baseino upių nuotėkį. Miškų evapotranspiracija mažina dirvožemio drėgmės kiekį. Medžių transpiracija (4–10 mm per dieną) padidina dirvožemio drėgmės trūkumą, o kartu ir vandens kaupimo galimybes. Tačiau tankių pievų (iki 8 mm per dieną) transpiracija yra panaši į miškų medynų. Taigi, miškų nauda mažinant nuotėkį ir mažinant poplūdžių dydį yra ryškiausia mažų, dažnų poplūdžių atveju (Hümann et al., 2011).

Upių ekosistemos pasižymi didele biologine įvairove, daro įtaką pasauliniams biogeocheminiams ciklams ir atlieka naudingas ekologines funkcijas. Upių nuotėkis taip pat daro įtaką ekosistemų procesams, pavyzdžiui, maistinių medžiagų pasisavinimui ir transformacijai, organinių medžiagų perdirbimui ir ekosistemų medžiagų apykaitai. Jau seniai žinoma, kad nuotėkio režimas, arba būdingas nuotėkio kitimo modelis, yra pagrindinis upės struktūros ir funkcionavimo veiksnys. Upės tėkmės režimas taip pat daro įtaką upės srauto ir potvynio lygumos ekosistemų procesams, įskaitant pirminę gamybą ir maistinių medžiagų

apykaitą. Kadangi srauto dinamiškumas yra esminis upės funkcionavimo ir jos gebėjimo teikti ekosistemines paslaugas veiksnys, nuotėkio pokyčiai retai būna nereikšmingi (Palmer & Ruhi, 2019).

Natūralaus miško dirvožemiai paprastai būna porėti, o jų infiltracija didelė, todėl miško danga daro įtaką vandens sulaikymo pajėgumui miškingose vietovėse, dėl ko sumažėja vandens nuotėkio lygis. Intensyviai išisakniję medžiai purena dirvą, iš dalies net suspaustus, hidrologiškai nelaidžius sluoksnius, todėl padidėja bendras vandens kaupimo pajėgumas. Tai gali padėti medynams sutelkti poplūdžius sukeliančius kritulius bei sumažinti nuotėkio šuolius. Calder ir Aylward (2006) sugebėjo įrodyti, kad tvarkomi miškai gali netgi padidinti potvynių tikimybę (Hümann et al., 2011).

Vandeniui nelaidūs paviršiai apibrėžiami kaip natūralūs arba antropogeniniai paviršiai, kurie neleidžia paviršiniam vandeniui įsiskverbti į dirvožemius. Nelaidžių paviršių plotų augimas miestuose yra tiesiogiai susijęs su žmogaus veikla statant stogus, automobilių stovėjimo aikšteles, kelius ir kitus statinius. Vis didėjanti urbanizacija sukelia natūralių kraštovaizdžių ardymą ir augmenija padengtų paviršių pakeitimą nepralaidžiais paviršiais. Dėl nelaidžių paviršių plotų gausėjimo padidėja hidraulinis efektyvumas, dėl ko sumažėja lietaus vandens įsiskverbimas į dirvožemį, be to kartu padidėja paviršinis nuotėkis urbanizuotose vietovėse. Vandens perteklius gali sukelti potvynius mieste sutrikdant eismą, sukeliant ekonominius nuostolius, taršą bei sveikatos problemas, kurios kelia didelę grėsmę vietos gyventojams ir miesto plėtrai (Yao et al., 2016).

Pauliukevičius (2004) savo darbe nagrinėjo vienos nedidelės Vidurio Lietuvos upės – Šušvės – nuotėkio susidarymo ypatybes užtvankomis reguliuojamoje upėje (Šušvėje) 2002 metais su sausringu šiltuoju laikotarpiu bei nustatyti dabartinio nuotėkio vietą daugiamečiu jo duomenų sekoje. Tyrimo metu nustatytas didžiausios Šušvės upės – Angirių užtvankos – reguliuojamasis poveikis Šušvės nuotėkiui ties Josvainiais. Per sausrą pro užtvanką praleidžiami didesni už gamtosauginius, upės debitai, tačiau pastebimi labai dideli vandens lygio ir debito svyravimai tuo metu, kai vandens yra pakankamai. Šaltuoju periodu dviejų iš eilės parų vandens horizontas upėje skiriasi iki metro, debitas – iki keliolikos kubinių metrų per sekundę.

1.2. Poplūdžių įtaka žmonėms ir ekosistemoms

Dėl potvynių bei poplūdžių visame pasaulyje ir toliau žūsta žmonės ir patiriama didelė materialinė žala. Pavyzdžiui, 1950 – 2005 m. statistika rodo, jog tuo metu potvyniai sudarė: pagal įvykių skaičių – 25 %, pagal aukų skaičių – 7 %, pagal ekonominius nuostolius – 25 %, pagal apdraustus nuostolius – 5 %. Iš tiesų potvyniai tampa vis didesne problema, nes šiuolaikinės visuomenės tampa vis turtingesnės, tačiau vis labiau pažeidžiamos ir jautresnės stichinėms nelaimėms dėl materialinės žalos sukurtoms gyvybiškai svarbioms infrastruktūroms. Didelį ir vis didesnę susirūpinimą kelia galimas visuotinio atšilimo poveikis dėl sustiprėjusio šiltnamio efekto ekstremalių reiškinių dažnumui ir mastui. Nuo 1990 m. Europoje įvyko daug katastrofiškų potvynių, turėjusių didžiulį socialinį poveikį, pavyzdžiui, 1993 m. gruodžio mėn. ir 1995 m. sausio mėn. – Reino ir Mėzos upėse, 1996 m. rugpjūčio mėn. – Pirėnų kalnuose esančiame Biesase, 1997 m. liepos mėn. – Moravoje ir Oderyje, 2002 m. rugpjūčio mėn. – Elbėje, o 2002 m. rugsėjo mėn. – Gardone. Keletas atliktų tyrimų buvo skirti potvynių dinamikos tendencijoms nustatyti, tačiau bendra tendencija nebuvo nustatyta (Brázdil et al., 2010).

Kai pasikeičia vandens debitas, prasideda biotiniai ir abiotiniai procesai, pavyzdžiui, staigūs potvyniai, dėl kurių sumažėja plėšrūnų kiekis, gali sukelti biotinį poveikį pirminiams gamintojams ir su jais susijusiai maistinių medžiagų dinamikai. Nuotėkiai, kurie padidina suspenduotų nuosėdų kiekį, gali mažinti organizmų maitinimąsi ir dauginimąsi arba mažinti pirminę produkciją. Tai yra netiesioginio abiotinio poveikio pavyzdžiai. Nors pasikeitę vandens debitai dažnai nėra pagrindinis ekologinės būklės blogėjimo veiksnys, jie gali sustiprinti kitų abiotinių neigiamų veiksnių poveikį, pavyzdžiui, dėl per didelio vandens paėmimo / nukreipimo

susidarantys itin maži upės debitai gali padidinti vandens temperatūrą ir teršalų koncentraciją iki organizmų išgyvenimui ar dauginimuisi pavojingo lygio. Upių nuotėkis ne tik yra svarbus upių gyvybei, tačiau gali būti ir streso šaltinis: poplūdžiai išplauna mikroorganizmus, sausros veikia organizmų fiziologiją, o nuotėkio sąlygos lemia kintantį fizinės buveinės, kurioje gyvena organizmai, tipą, kiekį ir kokybę (Palmer & Ruhi, 2019).

Leigh kartu su kolegomis (2015) nagrinėjo poplūdžių įtaką Australijos ekosistemoms. Nustatyta, jog poplūdžiai lemia erdvinį maisto išteklių paskirstymą ir daro įtaką santykinai autochtoninių ir alochtoninių anglių šaltinių svarbai. Kai kuriais atvejais mobilūs vartotojai, pavyzdžiui, žuvys ir paukščiai, gali perkelti išteklius iš vienos buveinės į kitą. Upių ir užliejamų teritorijų santykis taip pat gali palengvinti bazinio produktyvumo ir bestuburių atsiradimo ciklus, kurie turi įtakos kitiems mitybos tinklo komponentams. Dėl 2010-2011 m. poplūdžių keliose Murėjaus-Darlingo (*Murray-Darling*) baseino upėse padidėjo zooplanktono taksonominė įvairovė ir gausumas. Centrinėje Australijoje po poplūdžio išaugusi žuvų populiacija vėliau paskatino didelį heterotrofinių bakterijų paplitimą, kai vanduo (ir žuvys) atsitraukė į izoliuotus vandens telkinius. Taip pat nustatyta, jog poplūdžiai keičia vandens kokybę. Dėl nusėdusių ar išplautų organinių medžiagų mikrobiologinio skilimo gali atsirasti hipoksinių juodųjų vandenų reiškinių, nors jų intensyvumą ir mastą dažnai padidina prieš potvynį buvusi sausra ar žmogaus veikla. 2010 m. pabaigoje, prasidėjus Tūkstantmečio sausrai, dėl vieno tokio įvykio žuvo daug vietinių vėžiagyvių ir žuvų, o paveiktuose vandenyse padidėjo vietinių vėžių populiacija. Tačiau invazinės žuvys, pavyzdžiui, karpiai *Cyprinus carpio*, nenukentėjo. Poplūdžiai gali palengvinti invazinių rūšių plitimą. Plataus masto poplūdžiai palengvino invazinio pakrančių augalo *Phyla canescens* plitimą rytų Australijoje. Priešingai, likusioms vietinių gėlavandenių midijų populiacijoms iškilo grėsmė dėl ekstremalių poplūdžių, ypač kai poplūdžiai sustiprina baseino degradaciją.

Upių ekologai jau seniai žino, kad per nelyg mažas ar didelis upių debitas gali laikinai sumažinti bestuburių ir žuvų gausą bei įvairovę, ypač kai sausros suskaido upės buveines arba potvyniai sudrumsčia upės dugną. Tačiau svarbūs ne tik atskiri reiškiniai: ilgalaikiai nuotėkio kintamumo dėsningumai istoriškai lėmė organizmų gyvenimo būdo, susijusio su augimu, dauginimusi, sklaida ir gebėjimu išlikti fizinio ir cheminio poveikio sąlygomis, atranką. Šiais laikais, kaupiant vis didesnę duomenų kiekį, skatinami taikyti spektriniai metodai, kurie leidžia nustatyti aplinkoje vyraujančią hidrologinę bei meteorologinę dažnį, amplitudes ir fazes. Šiuos būdingus kitimo modelius galima susieti su organizmų dinamika, pavyzdžiui, atlikus nuotėkio ir sidabrinių karpių lervų gausumo analizę, nustatytas stiprus ryšys tarp neršto ir tam tikro dydžio maksimalių debitų. Taikant panašų metodą nustatyta, jog upių bestuburių įvairovės pokyčiams įtakos turi ne tik kritulių sezoniskumas, bet ir kritulių kintamumo patikimumas, t. y., jo nuspėjamumas (Palmer & Ruhi, 2019).

Tradiciškai upių ekologai upių bendrųjų dinamiką aiškino kaip deterministinę biotinės sąveikos rezultatą arba kaip stochastinę aplinkos pasekmę. Tačiau atlikti tyrimai parodė, kad jų santykinė svarba erdvėje ir laike kinta ir netgi gali daryti įtaką viena kitai, pavyzdžiui, biotinės sąveikos gali vykti tik esant tam tikroms aplinkos sąlygoms. Ilgalaikių duomenų pagrindu padarytos išvados kartu su laiko analizės metodais, perimtais iš ekonometrijos, gali padėti išsiaiškinti, kada ir kur abiotinė įtaka yra svarbesnė. Pavyzdžiui, ilgalaikiams nuotėkio ir žuvų populiacijos duomenims pritaikius daugiamatį autoregresinį būsenų erdvės modelį paaiškėjo, kad dykumų upių žuvų populiacijos dinamiką labiausiai lemia tarpmetiniai nuotėkio anomalijų svyravimai. Nors invazinės ir vietinės žuvų populiacijos sąveikavo tarpusavyje, toks poveikis buvo nedidelis, palyginti su tiesioginiu debitų poveikiu. Biotinę sąveiką, atsirandančią dėl žinomų rūšių būdingų nuotėkio režimo komponentų, tokių kaip poplūdžių trukmė ir populiacijos dinamika ryšių, modeliuojant galima numatyti populiacijos tendencijas. Neseniai pritaikius šiuos sąveikai neutralius modelius nustatyta, kad nuo natūralaus režimo nukrypstantys nuotėkiai supaprastina dykumos upių augalų bendrųjų sąveikos ryšius (Palmer & Ruhi, 2019).

Epizodiniai, bet ekstremalūs kritulių atvejai gali sukelti upių nuotėkį, dėl kurio padidėja maistingųjų medžiagų ir nuosėdų kiekis, tačiau juos sunku užfiksuoti sistemingai imant vandens kokybės mėginius. Ekstremalūs krituliai gali padidinti maistingųjų medžiagų ir nuosėdų patekimą į pakrančių ekosistemas, todėl staigūs, impulsiniai reiškiniai skiriasi nuo reguliaraus nuotėkio. Tikėtina, kad šios staigios ir gausios iškritos, palyginti su nuolatinėmis, daro skirtingą poveikį pakrančių ekosistemoms. Tačiau šie ekstremalūs kritulių atvejai greičiausiai nebus užfiksuoti įprastais vandens mėginių ėmimo laikotarpiais, kurie paprastai imami reguliariais laiko tarpais per kelias savaites ar mėnesius. Taigi, svarbu suprasti medžiagų srautą iš sausumos į jūros sistemas tokių epizodinių įvykių metu, kuris dar nėra nepakankamai ištirtas, todėl Fong ir kiti (2020) 2017 m. sausio 13-22 d. Pietų Ramiojo vandenyno saloje Moorea, Prancūzų Polinezijoje, kuomet iškrito itin daug kritulių (per 10 dienų trukusią audrą iškrito ~57 cm lietaus), kiekybiškai įvertino į pakrantės rifus perneštas nuosėdas ir maistingąsias medžiagas. Buvo nustatytas erdvinis ir laiko nuosėdų impulso mastas, įvertintas vandens skaidrumas. Kiekybiškai nustatytas į aplinką patekusių maistinių medžiagų kiekis įvairiais erdviniais ir laiko mastais. Norint nustatyti, ar maistinės medžiagos iš sausumos pateko į jūrą bei paveikė jos florą ir fauną, 10 dienų po audros buvo rinkti makrodumbliai ir matuota maistinių medžiagų koncentracija audiniuose. Pulsuojančios nuosėdos turėjo įtakos vandens skaidrumui 6 dienas po audros, didžiausias poveikis buvo arčiausiai upės žiočių. Nitritų ir nitratų koncentracija buvo >100 kartų didesnė už vidutinę, o fosfatų >25 kartus didesnė už vidutinę. Makrodumblių maistinių medžiagų kiekis buvo padidėjęs, o jų šaltinis – nuosėdos. Tai rodo, kad perneštos maistinės medžiagos pateko į jūrų ekosistemas. Ateities klimato kaitos prognozės rodo, kad ekstremalūs krituliai šioje sistemoje bus dažnesni, todėl būtina tirti šiuos impulsus ir jų poveikį jūrų ekosistemoms.

Dėl nedidelės kainos, patvarumo ir universalumo plastikas užima svarbią vietą kiekviename mūsų gyvenime. Dėl jų gebėjimo labai ilgai išlikti gamtoje ir nesuirti plastikas taip pat yra ir gamtos teršėjas. Plastiką kaip teršalą į vandens ekosistemas gali patekti įvairiais būdais; svarbiausi iš jų yra upės, tiesioginis nuotekų valymo įrenginių išmetimas, smarkus lietus, potvyniai ir vėjas. Ypač daug antropogeninių teršalų, tokių kaip sunkieji metalai, plastiko dalelės ir pesticidai į vandens ekosistemas patenka dėl liūčių sukeltų katastrofiškų poplūdžių. Yra nustatyta, jog poplūdžiai į jūrą gali pernešti 80–90 % vidutinio metinio mikroplastikų kiekio. Gūndoğdu kartu su kolegomis (2018) savo tyrime vertino 2016 m. gruodžio – 2017 m. sausio mėn. šiaurės rytų Viduržemio jūros regione Turkijoje įvykusių potvynių poveikį mikroplastiko taršai Mersino įlankoje. Mėginiai buvo pakartotinai imami keturiose skirtingose stotyse prieš potvynio laikotarpį ir po jo. Nustatyta, kad keturiose stotyse po poplūdžio mikroplastiko vidutiniškai buvo 14 kartų daugiau nei prieš potvynį. Atlikus analizę buvo aptikta keturiolika skirtingų polimerų tipų, iš kurių aštuoni nebuvo rasti mėginiuose, paimtuose prieš potvynį. Tiek prieš potvynį, tiek po jo dažniausiai pasitaikantis polimero tipas buvo polietilenas. Vidutinis dalelių dydis, kuris prieš potvynį buvo 2,37 mm, po potvynio sumažėjo iki 1,13 mm. Buvo atliktas hidrodinaminio modeliavimo tyrimas, kad būtų galima prognozuoti dabartinę struktūrą ir mikroplastiko erdvinį bei laikinį pasiskirstymą tiriamoje teritorijoje. Apibendrinant padaryta išvada, jog smarkios liūtys ir dideli potvyniai gali smarkiai padidinti mikroplastiko kiekį jūroje.

Nepaisant brangiai kainuojančių poplūdžių rizikos mažinimo pastangų, upių poplūdžių padaryta materialinė žala ir žuvusiųjų skaičius Europoje tebėra dideli. Kundzewicz ir kiti (2018) nagrinėjo stebimus ir numatomus poplūdžių pavojaus pokyčius Europoje. Didelių poplūdžių erdvinis ir laiko kintamumas analizuojamas remiantis 1985-2016 m. Dartmuto poplūdžių stebėjimo centro surinktais duomenimis. Kritiškai apžvelgtos modeliais pagrįstos būsimų potvynių pavojaus prognozės. Sunku atskirti klimato kaitos komponentą nuo stipraus natūralaus kintamumo ir tiesioginio žmogaus poveikio. Klimato kaitos poveikis poplūdžių pavojui yra sudėtingas ir priklauso nuo upės poplūdžio formavimosi proceso. Kol kas stebėjimų duomenimis Europoje nepavyko aptikti visuotinių potvynių charakteristikų pokyčių. Tačiau pastebėta, kad didžiausio masto ir stiprumo poplūdžių skaičius didėja, net jei kasmetinis

kintamumas yra didelis. Europoje upių poplūdžių pavojaus prognozės labai skiriasi tarp tyrimų, atliktų remiantis skirtingomis prielaidomis. Todėl specialistai, atsakingi už prisitaikymą prie klimato kaitos, poplūdžių rizikos mažinimą, rizikos draudimą ir vandens išteklių valdymą, turi atsargiai vertinti informaciją apie poplūdžių pavojaus prognozes, esant dideliame neapibrėžtumui.

Nors gerai žinoma, kad potvynių dažnumas ir intensyvumas visame pasaulyje didėja, aplinkosauginės, ekonominės ir visuomenės pasekmės teršalų remobilizacijos ir paskirstymo poplūdžių metu nėra plačiai pripažįstamos. Svarbus tiesioginis poveikis yra su potvyniais susiję žmonių gyvybių praradimai, žala infrastruktūrai ir piniginės išlaidos. Tačiau trūksta dėmesio netiesioginiam teršalų, kurie remobilizuojasi ir pasiskirsto per tokius katastrofiškus potvynius, poveikiui, ypač atsižvelgiant į žinomą toksinį medžiagų, esančių potvynių veikiamose teritorijose, poveikį. Norint pagerinti tarpdisciplininius tyrimus, reikia pasauliniu mastu nagrinėti potvynius, kuriuos sukelia įvairūs ekstremalūs įvykiai (pvz., smarkios liūtys, cunamiai, ekstrasensų ir tropinės audros), ir po to pasiskirstyti su nuosėdomis susiformavusiems teršalams. Tokie tyrimai padės parengti atkūrimo ir valdymo veiksmų planus, būtinus sprendžiant aplinkos taršos dėl potvynių problemas. Viso upės baseino ir pakrančių žemumų veiksmų planuose reikia suderinti priešingus tikslus - potvynių sulaikymą, baseinų išsaugojimą ir ekonomišką vandens naudojimą (Crawford et al., 2022).

1.3. Klimato poveikis upių nuotėkio režimui

Europos hidroklimate pasizymi dideliu kintamumu visais laiko intervalais. Ši kintamumą lemia natūralūs procesai, pavyzdžiui, Atlanto vandenyno ciklai, Saulės aktyvumo pokyčiai, ugnikalnių išsiveržimai ir antropogeniniai veiksniai. Laurenz kartu su kolegomis (2019) tyrime daugiausia dėmesio skyrė Saulės įtakai Europos kritulių kiekiui – šis ryšys yra užfiksuotas daugelyje paskelbtų atvejų. Čia daugiausia dėmesio skirta 1901–2015 m. laikotarpiui, kurio saulės dėmių duomenis lyginti su 39 Europos šalių mėnesio kritulių duomenimis, apskaičiuodami Pirsono koreliacijos koeficientus. Koeficientai buvo nustatyti visoje Europoje, siekiant nustatyti sritis, kuriose Saulės aktyvumas galėjo turėti įtakos kritulių kiekiui. Rezultatai rodo, kad vasario mėnesio kritulių kiekis Vidurio ir Vakarų Europoje yra stipriausias saulės poveikis - koeficientai siekia +0,61. Birželio–liepos mėn. kritulių kiekis taip pat priklauso nuo Saulės aktyvumo pokyčių, kai vasarą Saulės poveikio zona nuo Britų salų pasislenka link Rytų Europos. Kiti mėnesiai, kuriais Saulės poveikis yra pastebimas, yra balandis, gegužė ir gruodis. Dešimtmečio mastu kritulių ir Saulės aktyvumo ryšys Vidurio Europoje dažniausiai yra teigiamas tiek statistiškai, tiek vizualiai lyginant kreives. Tačiau geriausi teigiami vasario, birželio, liepos ir gruodžio mėn. koreliacijos koeficientai paprastai pasiekiami, kai Saulės poveikis atsilieka nuo kritulių 1,5–2 metais. Atsižvelgiant į priežastį ir pasekmę, pastebima, kad Vidurio Europos kritulių kiekio padidėjimą iš tikrųjų lemia ne atsiliekančias Saulės maksimumas, o Saulės minimumas likus maždaug 3–4 metams iki kritulių mėnesio. Panašus kelerių metų vėlavimas dėl atminties efekto Atlanto vandenyne pasireiškia ir tarp Saulės aktyvumo ir Saulės sinchronizuoto Šiaurės Atlanto osciliacijos. Daugumoje Vidurio Europoje atliktų daugiadienių tyrimų susidurta su neigiama Saulės aktyvumo ir kritulių kiekio koreliacija, tikriausiai dėl to, kad trumpi kelerių metų atsilikimai yra nereikšmingi laiko skalėje, viršijančioje 11 metų Saulės Švabės ciklą. Potvynių dažnumas paprastai padidėja mažo Saulės aktyvumo laikotarpiu, kuris siejamas su Šiaurės Atlanto osciliacijos sąlygomis ir dažnesniu blokavimu.

Antropogeninių veiksnių sukelta klimato kaita jau gerai žinoma, o naujausioje Tarpyvyriausybinių klimato kaitos komisijos (TKKK) ataskaitoje pateikta „labai patikima“ išvada, kad atmosfera šyla dėl žmogaus veiklos. Jei šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimai ir toliau didės, tikėtinas tolesnio antropogeninio atšilimo poveikis gali apimti augalų ir gyvūnų rūšių išnykimo riziką, tiesioginį fizinį pavojų žmonėms ir bendruomenėms, taip pat ekonominę riziką. Todėl klimato kaita ir klimato neapibrėžtumas yra svarbūs įvairių disciplinų, įskaitant biogeografiją ir ekologiją, vandens išteklių valdymą, okeanografiją ir glaciologiją, klausimai.

Be to, visais valdymo lygmenimis sprendimus priimančias asmenys turi apsvarstyti, kaip galima sumažinti ar valdyti galimą klimato kaitos poveikį (Foley, 2010).

Pastaraisiais metais klimato kaita tampa vis reikšmingesnė, todėl klimato kaitos poveikio hidrologiniam ciklui vertinimas yra svarbus hidrologijos ir vandens išteklių valdymo plėtros klausimas. Nuotėkio jautrumas klimatui laikomas svarbiu rodikliu, kiekybiškai įvertinančiu nuotėkio jautrumą klimato kaitai. Nuotėkio klimato elastingumas gali būti apibūdinamas kaip proporcingas nuotėkio pokytis klimato kintamiesiems (Yang & Yang, 2011).

Lietuvoje staigius vasaros – rudens sezonų poplūdžius sukelia užsitęsęs lietus ar gausi liūtis. Paprastai šiltuoju metų laiku pagrindinė gausių kritulių priežastis – šaltasis oro frontas po vasariško karščio ir konvekcinių kamuolinių debesys. Svarbiausia šių debesų susidarymo sąlyga yra didelis saulės spindulių kiekis, dėl kurio intensyviai garuoja jūra, ežerai, pelkės, dirvožemis ir augalai. Susiformavę kamuoliniai debesys patys savyje kaupia didelius vandens kiekius (Akstinas, 2019).

Vandens ir šilumos poveikį upių sistemoms lemia klimatas ir keičia baseino savybės. Hidroklimatologiniai procesai daro įtaką upių nuotėkiui. Nors upių ekosistemų būklę lemia daug sudėtingų sąveikaujančių kintamųjų (pavyzdžiui šviesa, vandens temperatūra, maistinių medžiagų prieinamumas, erdvinis ryšys, biologinė įvairovė), nuotėkis yra pagrindinis kintamasis, lemiantis upių buveinių struktūrą. Dėl klimato ir baseino procesų upių nuotėkis yra kintantis tiek erdvėje, tiek laike, o šio kintamumo dydis daro didelę įtaką gėlo vandens struktūrai ir funkcijoms. Natūralus hidrologinių režimų komponentas yra kintamumas, apimantis būdingą dažnumą, dydį, trukmę ir laiką. Tačiau už natūralaus kintamumo ribų esantys įvykiai gali turėti didelį ilgalaikį poveikį gėlo vandens ekosistemoms. Numatoma, kad dėl besikeičiančio klimato keisis energijos mainai bei hidrologiniai procesai, lemiantys upių tėkmę. Numatoma, kad pasauliniu mastu padidės energijos patekimas į Žemės paviršių ir didės drėgnų bei sausringų laikotarpių intensyvumas, nors ir su ryškiais regioniniais svyravimais (Arner et al., 2015).

Hidrologines sistemas valdo skirtingo laiko skalės procesai, turintys atmintį. Pavyzdžiui, garavimas, požeminis vanduo, dirvožemio drėgnumas, sniego dinamika ir kaupimasis upėse, kurių atmintis trunka nuo kelių dienų iki kelerių metų. Panašiai, ilgalaikė atmintis – arba *Hursto fenomenas* – paskatino atlikti daugybę tyrimų, kuriais remiamasi atliekant inžinerinius tyrimus, pavyzdžiui, nustatant projekcinį debitą hidraulinei infrastruktūrai, ežerų įtekėjimą, upių įtekėjimą, regioninį hidrologinį ciklą, potvynius ir sausras. Prognozuojamumo tyrimuose nagrinėjami dirvožemio drėgnumo, požeminio vandens ir sniego atminties efektai. Tikrovėje vienu metu veikia daug reiškinių, o jų visuma daro didelę įtaką galutinei sistemos būsenai. Pavyzdžiui, dirvožemio drėgmės pastovumas gali lemti sausrą šiltuoju laikotarpiu, bet lygiai taip pat gali padidinti didelių potvynių tikimybę šaltuoju laikotarpiu. Panašiai ankstesnio sezono sniego krituliai gali stipriai nulemti vėlesnį upelių debitą. Ekstremalių hidroklimatinių reiškinių bendras pasireiškimas gali neproporcingai padidėti iki ekstremalių hidrologinių reiškinių. Pavyzdžiui, gausūs krituliai kartu su gausiu sniego tirpsmu, dideliu dirvožemio drėgmės kiekiu arba aukštu gruntinio vandens lygiu gali sukelti ekstremalų upės nuotėkį. Šis ekstremalių įvykių sudėtinis pobūdis gali būti labai svarbus norint suprasti ekstremalių hidrologinių įvykių foną (Khanal et al., 2019).

Per pastaruosius du dešimtmečius padažnėję ekstremalūs hidrologiniai reiškiniai padarė didelį poveikį gamtinei ir socialinei aplinkai. Šie ekstremalūs hidrologiniai reiškiniai labai priklauso nuo meteorologinių parametrų pokyčių dėl ko Akstinas, Meilutytė-Lukauskienė ir Kriaučiūnienė (2019) atliko tyrimą, kurio uždavinys – įvertinti meteorologinių veiksnių (sniego tirpsmo ir liūčių) įtaką pavasario potvynių susidarymui Nemuno, Lielupės ir Ventos upių baseinuose. Detaliai išanalizuotos penkios Lietuvos upės (Venta, Šešuvys, Mūša, Merkys ir Žeimenė) iš šių baseinų. Buvo naudojami 12 meteorologinių ir 5 hidrologinių matavimo stočių ilgalaikiai paros nuotėkio, kritulių ir sniego dangos storio duomenys. Šių veiksnių priklausomybės vertinimas atliktas dviem laikotarpiais: 1961–1987 m. ir 1988–2014 m. Ryšys tarp didžiausio pavasario potvynio nuotėkio, didžiausio sniego vandens ekvivalento prieš

potvynį ir kritulių kiekio likus 10 dienų iki potvynio buvo analizuojamas taikant daugialypę regresinę analizę. Sukurtų regresijos modelių koreliacijos koeficientai tarp stebėto ir prognozuoto didžiausio pavasario potvynio debito svyravo nuo 0,63 iki 0,86. Pasirinkto regresijos modelio patikra buvo atlikta naudojant *Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning* programine įranga, kuri taip pat parodė aukštą koreliacijos koeficientą (0,71). Taikyta šio tyrimo metodika galėtų būti naudojama siekiant geriau suvokti potvynių formavimosi pasekmes skirtinguose Europos hidrologiniuose regionuose.

Khanal ir kiti (2019) savo darbe nustatinėjo hidrometeorologinių sistemų atminties įtaką Reino upės ekstremalių potvynių bei poplūdžių susidarymui naudojant Pasaulinio klimato modelio *EC-Earth* 1950–2000 metų duomenis, juos apdorojant Erdvinių procesų hidrologijoje (*SPHY*) hidrologiniu modeliu. Tiriant sniego atminties poveikį Reino upės hidrologiniam režimui, buvo taikytas sąlyginės atrankos metodas. Atrinkti hidrologiniai metai, kai sniego iškrito daugiau nei vidutiniškai ir mažiau nei vidutiniškai bei įvertos abiejų grupių nuotėkio charakteristikos. Sąlyginės atrankos metodas taip pat taikytas siekiant išsiaiškinti dirvožemio drėgnumo atminties poveikį, kuris vertintas tik viršutiniame šaknų zonos sluoksnyje. Meteorologinės autokoreliacijos vertinimas atliktas pašalinant autokoreliaciją pasirinktose laiko skalėse, rekonstruojant meteorologines laiko sekas, naudojant atsitiktine tvarka atrinktus 800 metų modelio duomenis.

Taip pat nustatyta, jog upių nuotėkį veikia dirvožemio drėgmės sąlygos, o ne krituliai. Tiek mažo, tiek didelio kritulių kiekio atveju akivaizdus pradinės dirvožemio drėgmės poveikis: mažos dirvožemio drėgmės vertės stipriai sumažina nuotėkio debitą. Mažas kritulių kiekis esant dideliame dirvožemio drėgnumui lemia didesnę nuotėkį nei didelis kritulių kiekis esant mažam dirvožemio drėgnumui. Dirvožemio drėgnumas reguliuoja nuotėkį ir yra netiesiškai susijęs su lietaus – nuotėkio reakcija. Didelis dirvožemio drėgnumas riboja vertikaliąją infiltraciją dirvožemyje, o krituliai nukeliauja į paviršinius vandenis (Khanal et al., 2019).

Pašalinus visą autokoreliaciją, kai laikotarpis ilgesnis nei viena diena, gaunamas apibendrintas ekstremumų kreivė, kuri yra daugiau nei 50 % mažesnė už pradinę. Tai rodo, jog nuotėkio maksimumai susidaro dėl per kelias dienas iškritusių kritulių, kuriuos sukelia sinoptinės sistemos, lemiančios kritulius vėlesnį laikotarpį. Išsaugojus meteorologinę atmintį penkioms dienoms, išlieka beveik 80 % pradinio apibendrinto ekstremaliųjų verčių kreivės kreivės. Tai laikotarpis, kuris gali būti siejamas su žemu slėgiu, lėtai judančiu virš baseino (Khanal et al., 2019).

Jačiunskytė ((2018) savajame darbe analizavo klimato kaitos poveikį bendrojo azoto ir bendrojo fosforo koncentracijoms ir jų srautams Šušvės upėje. Bendrojo azoto ir bendrojo fosforo koncentracijos, nes šie junginiai yra maistinės medžiagos, kurios transformuojasi dėl abiotinių ir biotinių, taip pat fizikinių ir cheminių procesų, kuriems vykstant susidaro sąlygos organinei medžiagai irti, fotosintezai ir chemosintezai vykti bei savaiminiam apsivalymui vykti. Šiam tikslui įgyvendinti buvo pritaikytas dinaminis FyrisNP 4.0.1 modelis. Tyrimui atlikti naudoti 1986–2005 m. laikotarpio vandens kokybės, žemėnaudos, oro temperatūros ir kiti duomenys. Klimato kaitos poveikiui įvertinti buvo naudojami du ateities scenarijai pagal tipines oro taršos emisijų projekcijas (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ir RCP8.5), artimosios ateities (2016–2035 m.) ir tolimosios ateities (2081–2100 m.) laikotarpiams. Siekiant nustatyti, kokie tikėtini bendrojo azoto ir bendrojo fosforo pokyčiai ateityje, RCP scenarijai buvo palyginti su baziniu laikotarpiu (1986–2005 m.). Rezultatai parodė, kad nuotėkis Šušvės upės žiotyse pavasario mėnesiais (kovą–gegužę) mažės, kas sietina su potvynių ir sniego akumuliacijos žiemos metu sumažėjimu. Vasaros mėnesiais numatoma, jog nuotėkis formosis intensyviau, kadangi ateityje numatoma daugiau stiprių liūčių. Dėl padidėjusių kritulių ir aukštesnės temperatūros žiemos metu nuotėkis taip pat didės. Numatoma, kad biogeninių medžiagų srautai pavasario mėnesiais (kovą–balandį) mažės, o žiemos ir vasaros (liepą–rugpjūtį) mėnesiais didės. Tam didžiausią įtaką turės nuotėkio pokyčiai. Tikimasi, kad ateityje bendrojo fosforo koncentracija mažės pagal visus ateities

scenarijus, o bendrojo azoto koncentracija pavasario mėnesiais mažės, likusiais mėnesiais – didės.

Ekstremalių ir natūralių klimatinų reiškinių intensyvumo pokyčiai tampa vis aktualesnė šių dienų aplinkosaugos problema. Dėl nepalankių globalaus klimato pokyčių pastebima vis didesnė žala žmogui ir jo gyvenamajai aplinkai. El Nino ir La Nina yra kompleksinis klimato kaitos reiškinys, sukeliantis vandenyno temperatūros kaitą, intensyviausiai pasireiškiantis Ramiajame vandenyne, ekvatorinėje srityje. Yra atlikta daugybė tyrimų, išaiškinančių El Nino ir La Nina ciklo daromą įtaką pasaulio klimatui. Šiaurės Atlanto srovė yra vienas iš svarbiausių Lietuvos klimatą lemiančių veiksnių. Per pastaruosius dešimtmečius pastebimas vis didesnis El Nino ir La Nina reiškinių poveikis Lietuvos klimatinams reiškiniams ir metų sezoniškumui, todėl atitinkamai ir upių hidrologiniam režimui. Darbe atliekama tiriamųjų upių Bartuvos, Merkio ir Šušvės hidrologinių (nuotėkio) ir klimatinų (kritulių ir oro temperatūros) rodiklių statistinė analizė. Nustatomi tiriamųjų rodiklių tarpusavio ryšiai ir nustatomas El Nino ir La Nina reiškinių poveikis tiriamiesiems rodikliams. Tyrimais nustatomas El Nino ir La Nina poveikio stiprumas Lietuvai ir tiriamosioms upėms ir įtaka didžiausių vandeningumų metams, kritulių kiekiui ir temperatūrai baseinuose. Atlikus koreliacinę analizę, gauta, kad visų trijų tiriamųjų upių baseinuose matuotos temperatūros rodikliai koreliuoja su šių upių nuotėkiais. Kadangi El Nino ir La Nina reiškiniai pagrįsti globaliu temperatūrų pokyčiu, pagal gautus rezultatus priimta prielaida, kad reiškiniai daro silpną arba vidutinę įtaką Lietuvos temperatūros rodikliams, kurie silpnai ir vidutiniškai koreliuoja su nuotėkiu, todėl daro įtaką upių režimui. Atlikus maksimalių, vidutinių ir minimalių vandeningumų, kritulių ir temperatūros įvertinimo pagal tikimybes rezultatų palyginimą su El Nino ir La Nina reiškinių stiprumu, nustatyta, jog maksimalūs vidutiniai krituliai visose trijose tiriamosiose upėse užfiksuoti vyraujant silpnam arba vidutiniam La Nina reiškiniui (Skinderytė & Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė, 2018).

Nuo 1901 m. pasaulio temperatūra pakilo 0,89 °C, o tai daro didelę įtaką kritulių pobūdžiui ir nuotėkiui. Tačiau pasaulinio vandens balanso pokyčių vertinimų atlikta nedaug. Pagrindinis hidrologinio ciklo komponentas yra sausumos vandens sankaupos baseine, kurias sudaro visos paviršinio ir požeminio vandens sankaupos, pavyzdžiui, požeminis vanduo, dirvožemio drėgmė, paviršinis vanduo, sniegas ir ledas. Gravitacijos atstatymo ir klimato eksperimento (GRACE) palydovų misija suteikė puikių ir precedento neturinčių sausumos vandens sankaupų duomenų regioniniams ir pasauliniams vandens ištekliams įvertinti. Nors GRACE palydovų duomenų erdvinis pėdsakas yra 200 000 km² (plotas, kuriame GRACE duomenys turi būti kalibruojami, kad signalo ir triukšmo santykis būtų priimtinas), o laiko skiriamoji geba - mėnuo, jų teikiami duomenys neturi precedento, nes jais nustatomas bendras vandens, įskaitant požeminį vandenį, kiekis, kurio kitu atveju beveik neįmanoma nuolat stebėti kiekvieną mėnesį net 15 metų pasauliniu mastu. Todėl Banerjee ir kiti (2020), naudodami palydovinius duomenis apie sausumos vandens sankaupas, darė tyrimą apie kylančios temperatūros poveikį vandens atsargoms 31 didžiausiame pasaulio upių baseine. Buvo nustatyta, kad didėjant temperatūrai 23 iš 31 baseino mažėja santykinis vandens papildymas (rodantis sausumos vandens papildymą), o 12 baseinų šis sumažėjimas yra reikšmingas (90 % patikimumo lygiu). Tai galima paaiškinti tuo, kad dėl padidėjusios temperatūros sumažėja santykinis vandens papildymas dėl padidėjusios evapotranspiracijos ir sumažėjusio sniego kaupimosi. Taigi, esant šiltesniam klimatui ateityje, net ir nesikeičiant kritulių kiekiui, papildymas sumažėtų labiau, nei tikimasi, o kritulių kiekio sumažėjimas turėtų dar labiau pablogėti. Didelio masto papildymo pokyčiai vėliau darytų įtaką augmenijos augimui. Daugumoje analizuotų upių baseinų santykinio vandens papildymo sumažėjimas aiškiai susijęs su sumažėjusiu augalijos augimu, o tai dar labiau patvirtina nagrinėjamą hipotezę.

Klimato kaita gali daryti didelę įtaką staigiems potvyniams, nes didėja ekstremalių kritulių kiekis. Pakrančių regionai Rytų ir Pietų Kinijoje gali patirti ypač neigiamą poveikį dėl dažnai pasitaikančių tropinių ciklonų. Zhang ir kiti (2019) pateikta tropinių ciklonų sukeltų staigių potvynių pavojaus vertinimo sistemą pagal klimato kaitos scenarijus ir įvertina būsimus

poplūdžius Hadahe upės baseine, esančiame šiaurės rytų Kinijoje. Nuo 1965 iki 2014 m. per dvidešimt metų virš Hadahe upės baseino buvo užfiksuoti dvidešimt keturi tropiniai uraganai - nuo smarkios atogrąžų audros iki supertaifūno. Bendrieji cirkuliacijos modeliai yra per grubūs, kad būtų galima atvaizduoti tropinių ciklonų poveikį ekstremaliems krituliams, todėl tropinių ciklonų poveikiui įvertinti buvo naudojami dviejų matuoklių valandiniai kritulių duomenys ir tropinių ciklonų stebėjimo duomenys. Iš aštuonių klimato modelių NEX-GDDP duomenų rinkinio gauti 1965–2005 m. ir 2050–2099 m. paros kritulių kiekio duomenys atspindėjo atitinkamai istorines ir būsimas prognozes. Hidrologinis modelis HEC-HMS buvo integruotas su hidrauliniu modeliu FLO-2D, kad būtų galima imituoti praeities ir būsimų TC epizodų nuotėkius ir užtvindymus. Rezultatai parodė, kad pagal RCP4.5 ir RCP 8.5 scenarijus užliejamas plotas padidės 6,6 % ir 7,8 %, kai užliejimo gylys yra nuo 1,0 iki 3,0 m, atitinkamai pagal RCP4.5 ir RCP 8.5 scenarijus. Prognozuojama, kad užtvindymo gylio, viršijančio 3,0 m, užliejamas plotas padidės 17,6 % ir 22,0 %. Santykinis staigiųjų potvynių masto pokytis didėja didėjant užliejimo gyliui, o tai rodo, kad klimato kaita gali padidinti staigiųjų potvynių riziką. Kad Hadahe upės baseinas ir kiti panašūs pakrančių baseinai taptų atsparesni, reikia papildomų prisitaikymo priemonių. Rezultatai taip pat parodė, kad, atsižvelgiant į tropinių ciklonų poveikį, galima patikimiau įvertinti būsimus staigiuosius potvynius pakrančių regionuose.

Manoma, kad dėl visuotinio atšilimo suintensyvės hidrologinis ciklas, todėl gali padidėti ekstremalių kritulių intensyvumas ir potvynių rizika. Tačiau pokyčiai dažnai skiriasi nuo teorinių lūkesčių dėl atmosferos vandens sulaikymo gebos padidėjimo šiltesnėmis klimato sąlygomis, ypač kai vandens prieinamumas yra ribotas. Tabari (2020) kiekybiškai įvertino ekstremalių kritulių ir poplūdžio intensyvumo pokyčių XXI a. pabaigoje sąsajos su erdvinio ir sezoninio vandens prieinamumu. Rezultatai rodo, kad ekstremalių kritulių ir potvynių intensyvėjimas visuose klimato regionuose didėja didėjant vandens prieinamumui nuo sausų iki drėgnų regionų. Panašiai ekstremalių kritulių ir poplūdžių intensyvumas didėja ir dėl sezoninio vandens prieinamumo ciklo. Ryšys tarp ekstremalių kritulių ir poplūdžių intensyvumo pokyčių ir erdvinio bei sezoninio vandens prieinamumo stiprėja, nes įvykiai tampa mažiau ekstremalūs.

Klimato kaita turės didelį poveikį vandens ciklui ir sukels rimtų aplinkosaugos problemų bei nelaimių drėgnų atogrąžų upių baseinuose. Kaip pavyzdį galima paminėti Sumatros salos (Indonezija) upių baseinus, kur pakrančių žemumas daugiausia sudaro durpynai, t. y. pelkėta aplinka, kurią iš pradžių palaikė upių potvyniai. Klimato kaita gali pakeisti potvynių dažnumą ir mastą šiose žemumų teritorijose, sutrikdyti durpynų aplinką ir anglies dioksido dinamiką bei pakenkti žemės ūkio plantacijoms. Todėl upių baseinų valdymui svarbu numatyti būsimų potvynių užliejimo mastą. Naudojant dinamiškai sumažinto mastelio klimato duomenis, gautus naudojant nehidrostatinį regioninį klimato modelį (NHRCM), Batanghari upės baseinui (42 960 km²) Sumatros saloje, Indonezijoje, buvo pritaikytas lietaus, nuotėkio ir užliejimo modelis (RRI), kad būtų galima prognozuoti poplūdžių užliejimo mastą XXI a. antroje pusėje. Siekiant gauti pagrįstus būsimų potvynių užliejimo masto įverčius, šiame tyrime buvo palyginti du nuokrypių koregavimo metodai: kvantilinio žemėlapių metodas ir kvantilinio žemėlapių bei dispersinio mastelio metodų derinys. Rezultatai parodė, kad kvantilinio žemėlapių metodu gautas nuokrypio koregavimas pagerino pagal RRI modelį gautą imituojamą srauto trukmės kreivę, o tai palengvino palyginimą su imituojama srauto trukmės kreivę naudojant etaloninius kritulių duomenis. Tačiau didelis erdvinis kintamumas, pastebėtas dienos ir 15 dienų kritulių duomenyse, išliko kaip erdvinio kintamumo nuokrypis, ir to nebuvo galima išspręsti vien tik taikant paprastą kvantilinio žemėlapių nuokrypio korekciją. Todėl modeliuojami ekstremalūs kintamieji, pavyzdžiui, didžiausias metinis potvynių užliejimo tūris, buvo pervertinti, palyginti su etaloniniais duomenimis. Išvados taip pat parodė, kad šiame regione potvynių padaugės, pavyzdžiui, 20 metų pasikartojimo laikotarpį atitinkantis užliejimo tūris padidės 3,3 karto. Todėl taikant upės baseino valdymo priemones, pavyzdžiui, žemės naudojimo taisykles plantacijoms ir šlapynių išsaugojimui, reikėtų atsižvelgti į potvynių gylio ir ploto padidėjimą,

kurio mastai pagal ateities klimato scenarijų pateikiami šiame tyrime (Yamamoto & Sayama, 2021).

Šiaurės vakarų Viduržemio jūros pakrantės zona yra tankiai apgyvendinta ir gerai išsivysčiusi teritorija, kurioje gamtos pavojai, tokie kaip staigūs poplūdžiai ir pakrančių audros gali sukelti dažnus ir didelius nuostolius. Nors apie tokių pavojų pasireiškimą ir poveikį rašoma daug, nedaugelyje tyrimų nagrinėtas jų bendras poveikis regionui, dėl kurio žala būtų didesnė. Atsižvelgiant į tai, šiame tyrime analizuojamas Katalonijos pakrantėje, kaip Viduržemio jūros šiaurės vakarų regiono pavyzdys, vykstančių ekstremalių įvykių - smarkaus lietaus epizodų (kaip staigių poplūdžių pakaitalas) ir pakrančių audrų (naudojant didžiausią bangų aukštį) - paplitimas ir ypatybės. Nagrinėjami du skirtingi įvykių tipai: daugialypiai, kai abu pavojai pasireiškia toje pačioje vietoje ir erdviškai sudėtiniai, kai jie pasireiškia per tą patį ribotą laiko tarpą, o jų poveikis kaupiasi skirtingose ir atskirose vietose. Analizė atliekama regioniniu mastu išilgai maždaug 600 km ilgio pakrantės linijos, atsižvelgiant į septynis pakrantės sektorius ir atitinkamus upių baseinus. Išanalizavus sudėtingus įvykius, analizuojami atmosferos slėgio laukai, kad būtų galima nustatyti vyraujančias oro sąlygas, dėl kurių jie susidarė. Galiausiai, siekiant visapusiškai apibūdinti šiuos įvykius teritorijoje, naudojamas Bajeso tinklas. Gauti rezultatai rodo, kad šiaurės vakarų Viduržemio jūros regione yra didelė tikimybė patirti sudėtinių ekstremalių reiškinių. Nepaisant palyginti nedidelio tiriamos teritorijos ploto, įvykių charakteristikos visoje teritorijoje labai skiriasi, o dažniausiai pasitaikantis tipas yra erdvinis sudėtinis, išskyrus šiauriausius sektorius, kuriuose vyrauja daugialypiai įvykiai. Šiuose šiauriniuose sektoriuose taip pat yra didžiausia abiejų pavojų intensyvumo koreliacija. Nustatytos trys tipiškose sinoptinės situacijos, kuriose vyrauja šie reiškiniai, skiriasi sudėtinių veiksmų (kritulių ir bangų) santykinė svarba ir poveikio pasiskirstymas pakrančių baseinuose. Apskritai, iš konkrečių įvykių gautų rezultatų matyti, kad smarkios liūtys yra susijusios su reikšmingiausiu poveikiu, nepaisant to, kad jų erdvinė aprėptis yra didesnė (Sanuy et al., 2021).

1.4. Klimato kaitos modeliai

Nagrinėjant upes bei kitus vandens telkinius visuomet pasitelkiamas klimatas. Upių tyrimai klimato kontekste paprastai vadinamas hidroklimatologija, kurios pagrindinis tikslas yra suprasti hidrologinio ciklo procesų priklausomybės nuo klimato laipsnį. Klimatas, paprastai apibūdinamas kaip vidutinis vietovės oras, yra daugiau nei statistinis vienetas. Atvirkščiai, klimatas, kaip apibūdina Bryson (1997), yra pasaulinių ribinių sąlygų, kurios lemia tuo pačiu orų struktūrų masyvą, termodinaminę ir (arba) hidrodinaminę būseną. Tokiu būdu matomas klimatas yra neabejotinai svarbus upėms ir jų fiziniams bei ekologiniams procesams, nes vietovės klimatas, įskaitant jo vidutinį, kintamumą, tendencijas ir kraštutines savybes, suteikia galimybę nustatyti įvairias galimas hidrologines reakcijas. Be to, kadangi klimatas nėra stacionarus, klimato ir upių sistemų poveikis vienas kitam laikui bėgant gali pasikeisti, todėl upių sistemose gali nebūti tikrosios, hidrologiškai „normalios“ būsenos. Be to, klimatas, apimantis vietovės termodinaminę ir (arba) hidrodinaminę aplinką, gali keistis nuo momentinės iki tūkstantmetinės laiko skalės, todėl upių sistemos nuolatos keičiasi priklausomai nuo klimato, jei visi kiti veiksniai, tokie kaip, geologinė ir (arba) tektoninė ir antropogeninė įtakos, yra vienodos. Tokias klimato ir upių tėkmės sąsajas konceptualizavo įvairūs tyrėjai, o konceptualūs modeliai yra naudingi ne tik siekiant vizualizuoti atmosferą ir upės baseiną jungiančių procesų kaskadą, susijusią su veiksniais ir atsakais, bet ir kaip organizacinė klimato ir upių sistemų sąsajų tyrimų sistema (McGregor, 2019).

Nors prisitaikymo politika rengiama nacionaliniu lygmeniu, dėl fizinės aplinkos, žemės naudojimo ir gyventojų skaičiaus skirtumų prisitaikymo strategijas geriausia įgyvendinti regioniniu ir vietos lygmeniu. Tam planuotojams reikia informacijos apie tai, kaip žmogaus sukeltas atšilimas gali paveikti pagrindinius klimato parametrus, pavyzdžiui, kritulių kiekį ir temperatūrą, ir kokią poveikį tokie pokyčiai turės juos dominančiame regione. Šią informaciją gali suteikti dinaminiai kompiuteriniai klimato modeliai, ypač regioniniai klimato modeliai. Tačiau, norint, kad jų rezultatai būtų naudingi kuriant prasmingą prisitaikymo politiką, ypač jei

tokia politika susijusi su brangiai kainuojančia infrastruktūra, pavyzdžiui, apsauga nuo potvynių ar rezervuarų statyba, reikia suprasti ir jų apribojimus (Foley, 2010).

Klimato sistemą sudaro daugybė sudėtingų procesų ir sąveikų, todėl negalima tikėtis, kad joks modelis tobulai jas imituos. Nors daugelis procesų modeliuose vaizduojami pagrindinėmis fizikinėmis lygtimis, tam tikriems procesams aproksimuoti taip pat naudojami parametrai. Mokslinės žinios, kuriomis grindžiami tokie parametrizavimai, gaunamos tiriant dabartinį klimatą ir praeities klimato tyrimus, todėl jų gebėjimas modeliuoti klimatą skirtingomis sąlygomis gali būti ribotas. Dėl tokių apribojimų reikia geriau suprasti ir suvokti su klimato modeliais susijusį neapibrėžtumą. Jei norima, kad tokios prognozės būtų veiksmingas politikos formavimo pagrindas, reikia atsižvelgti į kuo didesnę neapibrėžtumą (Foley, 2010).

Norint prognozuoti būsimą Žemės sistemos raidą, reikia įvertinti jos neapibrėžtumą. Tai galioja tiek artimiausioms dienoms, tiek ir ilgesnio laikotarpio prognozėms ateinantiems mėnesiams ir metų laikams. Sezoninių prognozių atveju neapibrėžtumas, susijęs su netiksliais pradinėmis sąlygomis, kurios laikui bėgant gali sparčiai didėti, paprastai sprendžiamas atliekant kelias prognozes su pradinei vandenyno ir atmosferos būklei taikomais trikdžiais. Siekiama, kad iškreiptos pradinės sąlygos būtų tinkamo dydžio, atitinkančio stebėjimo matavimų ir jiems apdoroti naudojamų analizės priemonių neapibrėžtumą. Todėl kintant prognozei, prognozių skirtumai, vadinami rinkinio sklaida, turėtų atspindėti tipinę prognozės paklaidą arba neapibrėžtumą, kitaip tariant, galutinė realaus pasaulio raida turėtų tilpti į šio prognozių rinkinio klasterį. Prie prognozių neapibrėžtumo taip pat prisideda netikslus Žemės sistemos fizikos vaizdavimas. Šis indėlis į neapibrėžtumą atrenkamas taikant skirtingus Žemės sistemos modelius, vadinamąjį daugiamodelį metodą, kuris dažnai papildomas fizikinių procesų trikdžių, vadinamųjų stochastinių fizikos schemų, naudojimu, siekiant papildomai atsižvelgti į konkretaus modelio struktūrines klaidas. Naudojant rinkinius neapibrėžtumui kiekybiškai įvertinti, galima prognozuoti skirtingų rezultatų tikimybes, o tai savo ruožtu reikalauja, kad prognozės būtų vertinamos taikant tikimybinis įgūdžių rodiklius (Tompkins et al., 2017).

Daugelio modelių taikymas, palyginti su vienu sezoninių prognozių modeliu, yra labai naudingas. Keliuose modeliuose naudojami įvairūs metodai, skirti mažo mastelio fiziniams procesams atvaizduoti ir pagrindiniam lygčių rinkiniui skaitmeniniu būdu integruoti, todėl dažniausiai panaikinami atskirų modelių nuokrypiai ir paklaidos. Vis dėlto šiuos atskirų modelių nuokrypius reikia kalibruoti, kad būtų galima pateikti visuomenei prognozes ir jas naudoti tokiose srityse kaip sveikatos apsauga, žemės ūkis ir energetika. Tam prognozių centrai prie ateities prognozių prideda praeities datoms atliktų prognozių rinkinius, vadinamus išankstinėmis prognozėmis. Palyginus šias išankstines prognozes su faktiškai išmatuota atmosferos raida ir paviršiaus temperatūros bei kritulių kiekio matavimais, galima apibūdinti ir atsižvelgti į paklaidas. Kad šis procesas būtų patikimas ir nepriklausytų nuo tarpmečio kintamumo, šie išankstinių prognozių rinkiniai turi apimti daugelį metų, paprastai du dešimtmečius ar ilgiau. Todėl į rinkinių integracijos paketą reikia investuoti daug superkompiuterinių išteklių (Tompkins et al., 2017).

Siekiant priimti daugelį planavimo ir valdymo sprendimų, reikia suprasti hidrologinių sistemų atsparumą įvairioms nepalankioms sąlygoms. Svarbiausias uždavinys – nustatyti pagrįstas sistemų projektavimo ir eksploatavimo galimybes esant neapibrėžtam ir besikeičiančiam klimatui. Vandens išteklių sektoriuje tam reikia numatyti įvairius klimato kaitos scenarijus, kad būtų galima įvertinti infrastruktūros sistemų pažeidžiamumą ir įvairių prisitaikymo strategijų veiksmingumą valdant su klimatu susijusį poveikį. Daugeliui paslaugų gavėjų klimato kaitos scenarijų visuma geriausiai atitinka sprendimų priėmimo procesus, kai ji išskaidoma į atskirų kiekybinių hidrologinių klimato kaitos poveikio scenarijų rinkinį, kurių kiekvienas atspindi pagrindinius visų galimų klimato kaitos scenarijų bruožus (Clark et al., 2016).

Vandens ištekliams skirtų būsimų pokyčių kiekybinių hidrologinių prognozių kūrimas yra tarpdisciplininis uždavinys – įvertinti dabartines žinias apie pasaulinius pokyčius, atsižvelgiant į didelį būsimą klimato trajektorijos ir susijusio poveikio hidrologiniams

procesams neapibrėžtumą. Naujausi tyrimai parodė, kad svarbu įvertinti daugelio šaltinių neapibrėžtumą, įskaitant pasaulinio modelio struktūrą, vidinį klimato kintamumą, klimato mažinimo metodus ir hidrologinius modelius, atžvilgiu. Didėjantys skaičiavimo pajėgumai leidžia sujungti daugiau šaltinių, todėl modelių rinkinio dydis išaugo nuo kelių prognozių prieš kelis dešimtmečius iki šimtų prognozių dabar. Ši prognozių ir metodologinių galimybių gausa viršija taikomųjų programų bendruomenės gebėjimą apdoroti didelius rinkinius ir taip visapusiškai apibūdinti neapibrėžtumą. Be to, labai svarbu, kad taikomųjų programų bendruomenė dalyvautų ir būtų informuojama, siekiant užtikrinti, kad ši mokslinės informacijos gausa galėtų būti paversta praktiškai pritaikomais vandens išteklių planavimo ir veiklos sprendimais (Clark et al., 2016).

1.5. Poplūdžių modeliai

Siekiant atlikti potvynių bei poplūdžių prognozes, reikalingi istoriniai hidrologiniai duomenys. Patikimiausi yra Vandens matavimo stočių duomenys, tačiau pačios stotys pradėtos plačiai įrenginėti tik XIX–XX a., todėl neretai remiamasi ir alternatyviais šaltiniais. Dokumentiniai įrodymai apie potvynius gali būti gaunami iš įvairių istorinėje klimatologijoje naudojamų šaltinių. Istorinis dokumentinis šaltinis – tai dokumentas, t. y., informacijos vienetą, pavyzdžiui, rankraštis, spaudinys (knyga, laikraštis ir pan.), paveikslas arba artefaktas (pvz., potvynio žymė arba užrašas ant namo), kuriame nurodomi hidrologiniai dėsningumai arba ekstremalių hidrologinių reiškinių poveikis. Sąvoka „dokumentiniai įrodymai“ apima visų rūšių žmogaus sukurtus šaltinius, iš kurių galima gauti kelių rūšių tiesioginius ar netiesioginius duomenis. Tiesioginiais duomenimis galima laikyti aprašomuosius dokumentinius duomenis, pavyzdžiui, potvynio įvykio aprašymus, įskaitant potvynio stadiją, trukmę, potvynio bangos laiką ir užliejimo mastą. Netiesioginiai arba dokumentiniai netiesioginiai duomenys atspindi hidrologinių ekstremalių reiškinių poveikį (pavyzdžiui, prastas derlius, tiltų rekonstrukcija ar remontas po potvynių, per potvynį apgadintos bažnyčios remontas) (Brázdil et al., 2010).

Vertinant ekstremalius potvynius bei poplūdžius kaip gamtos reiškinius, būtina tirti ilgalaikes jų tendencijas. Nors pirmieji vandens lygio matavimai matuokliais Europoje pradėti fiksuoti XVIII a. (pvz., 1708 m. Ciuriche), daugelyje upių pirmieji nacionaliniai stebėsenos tinklai buvo sukurti daug vėliau (pvz., XIX a. Prancūzijoje ir XX a. Ispanijoje). Taigi daugelis turimų sistemingų instrumentinių įrašų nėra pakankamai ilgi, kad būtų galima pateikti reprezentatyvią informaciją, susijusią su dideliais katastrofinių įvykių pasikartojimo laikotarpiais, kaip rodo pavyzdys Prahos upėje Vltavoje, kuomet praėjus 112 metų nuo paskutinio katastrofiško potvynio (1890 m.), 2002 m. rugpjūčio mėn. įvyko katastrofinis potvynis, tačiau tarp šių įvykių, t. y. per visą XX a., pasitaikė tik palyginti nedideli potvyniai ir poplūdžiai (Brázdil et al., 2010).

Hidrologiniai potvynių ir poplūdžių rizikos valdymo modeliai yra potvynių rizikos valdymo, t. y. veiksmų, kurių reikia imtis siekiant užkirsti kelią potvyniams, sudėtinė dalis. Tai ciklinis procesas: prasidėjęs nuo ekstremalaus hidrologinio reiškinio, jis pereina per atkūrimo ir atstatymo etapą, rizikos vertinimą, projektų planavimą ir įgyvendinimą, galiausiai – per naudojimą ir pasirengimą kitam ekstremaliam potvyniui, kai ciklas prasideda iš naujo. Potvynių valdymo uždaviniai skirstomi į dvi dalis: planavimą ir naudojimą, kuriems reikalingi skirtingi hidrologiniai modeliai. Rengiant planus, realiojo laikotarpio nuotėkis nereikalingas, dirbama su projektiniais scenarijais. Šiai užduočiai atlikti reikia naudoti tinkamus modelius, atspindinčius kraštovaizdžio ir hidrologinio mastelio ypatumus. Hidrologinių įrenginių eksploatacijai reikalingi hidrologinės prognozės modeliai, kurie turi atitikti tos vietovės sąlygas (Plate, 2009).

Paiva, Collischonn ir Tucci (2011) viename savo darbų pateikė didelės apimties hidrologinį modelį su išsamiu vienmatės hidrodinamikos moduliu, skirtu srauto plitimui sudėtingame upių tinkle įvertinti. Darbe naudotos dvi modeliavimo programos (hidrologinis modelis MGB-IPH ir hidrodinaminis modelis IPH-IV) bei didžioji dalis reikalingų duomenų gauta iš skaitmeninių aukščio modelių ir kai kurių GIS algoritmų analizuojant vieno Amazonės intakų – Pūro upės baseino – pavyzdį. Naudojant nuotėkio ir vandens lygio duomenis pastebėta,

jog modelis gali atkurti pagrindines Pūro upės baseino hidrologines savybes. Be to, remiantis modelio rezultatais buvo sudaryti tikroviški užliejamų teritorijų žemėlapiai. Taip pat pastebėta, jog didelės apimties hidrologiniuose modeliuose galima taikyti išsamius hidrodinaminius modelius, net ir naudojant ribotus upės geometrijos ir užliejamos teritorijos apibūdinimo duomenis.

Projektuojant apsaugą nuo potvynių arba planuojant naują infrastruktūrą ar gyvenamųjų namų statybą, reikia atsižvelgti į galimą poplūdžių padidėjimą ateityje dėl klimato kaitos. Esamos rekomendacijos dėl klimato kaitos poveikio Didžiojoje Britanijoje buvo grindžiamos tyrimais, kurių metu buvo parengtas jautrumu pagrįstas metodas klimato kaitos poveikiui potvynių pikams įvertinti, kuris buvo taikomas su baseino hidrologiniais modeliais. Čia jautrumu pagrįstas metodas taikomas su nacionalinio mastelio tinkliniu hidrologiniu modeliu, sudarant modeliuojamus potvynių atsako paviršius kiekvienai upės daliai 1 km tinklėlyje. Tai leidžia nacionaliniu mastu nuosekliai įvertinti potvynių pikų jautrumą klimato pokyčiams visoje Didžiojoje Britanijoje. Tada potvynių reakcijos paviršiai derinami su naujausiomis klimato kaitos prognozėmis – 2018 m. Jungtinės Karalystės klimato prognozėmis (UKCP18), kad būtų galima gauti konkrečiai vietai būdingos informacijos apie galimą potvynių poveikį visoje šalyje trims potvynių pasikartojimo laikotarpiais, trims ateities laiko pjūviams ir keturiems emisijų scenarijams (Kay et al., 2021).

1.6. Upių poplūdžių tyrimai

Meilutytė-Lukauskienė, kartu su kolegomis (2017) savo tyrime analizavo pavasarinių potvynių (nuo kovo 1 d. iki gegužės 30 d.) ir poplūdžių (nuo birželio 1 d. iki lapkričio 30 d.) kitimą skirtinguose regionuose esančiose upėse analizuojant pavasario potvynių ir poplūdžių didžiausius upių nuotėkio duomenis (31 vandens matavimo stočių) keturių laikotarpių (1922–2013 m., 1941–2013 m., 1961–2013 m. ir 1991–2013 m.) duomenis lyginant su ataskaitinio laikotarpio (1961–1990 m.) duomenimis. Į analizę įtrauktas ir didžiausias Nemuno nuotėkio duomenų rinkinys Smalininkų VMS (1812–2013 m.). Analizuojant regionines dešimtmečių pavasario potvynių ir poplūdžių tendencijas nustatyta, jog per pastaruosius du dešimtmečius visi potvyniai buvo mažesni už vidutinės tiriamojo laikotarpio vertes. Mažiausias poplūdžių sumažėjimas nustatytas pietryčių Lietuvos regione. Didžiausios ir vienintelės neigiamos anomalijos, t. y., gerokai sumažėję potvynių debitai, buvo nustatyti paskutiniuoju laikotarpiu (2001–2010 m.) visuose hidrologiniuose regionuose. Atliktas Nemuno upės pavasario ir staigių potvynių maksimalių debitų ties Smalininkų VMS dešimtmečio duomenų palyginimas su viso laikotarpio (1812–2013 m.) vidurkiu. Žymiai didesniais staigiais potvyniais išsiskiria 1921–1930 m. laikotarpis. Didžiausias pavasario potvynio maksimalaus debito padidėjimas (30 %) buvo 1951–1960 m. laikotarpiu (didžiausias pavasario potvynis dėl sniego tirpsmo stebėtas 1958 m.), o didžiausias sumažėjimas (44 %) – paskutinį dešimtmetį (2001–2010 m.).

Panašias išvadas pateikė ir Šarausienė kartu su kolegomis (2015), kurie atliko pavasarinių potvynių dažnumo ir kitimo įvertinimą Estijoje, Latvijoje ir Lietuvoje upių potvynių pokyčiams nustatyti. Šiame tyrime Baltijos šalių upių potvynių pobūdžio pokyčiai buvo vertinami taikant 1922–2010 m., 1922–1960 m., 1961–2010 m. ir 1991–2010 m. laikotarpių tendencijų ir dažnių analizę, t. y. visų pavasarinių potvynių duomenų rinkinių, laikotarpių iki ir po 1960 m. (šie metai buvo laikomi žymių klimato pokyčių pradžia), taip pat dviejų pastarųjų dešimtmečių laikotarpių. Buvo atliktas penkių tikimybių pasiskirstymų lyginamasis tyrimas, siekiant įvertinti, kuris pasiskirstymas geriausiai atspindi potvynių duomenų statistines charakteristikas. Rezultatai parodė, kad didžiausi pavasario potvynių debitai per visą tiriamąjį laikotarpį mažėjo. Tik žemyninėse ir pereinamojo laikotarpio upėse paskutiniuoju laikotarpiu buvo nustatytos nežymios teigiamos didžiausių nuotėkių tendencijos. Apibendrintas ekstremaliųjų reikšmių pasiskirstymas geriausiai aproksimavo Baltijos šalių upių maksimalių nuotėkių duomenų eilutę per visą stebėjimo laikotarpį.

Naudojant ilgamečius nuotėkio duomenis, Meilutytė-Barauskienė ir kt. (2008) atliko tyrimą, kurio metu vertinti turimi Lietuvos upių vandens ištekliai ir jų kaita pastaraisiais

dešimtmečiais. Analizei pasirinkti VMS nuotėkio duomenys iš penkių pagrindinių Lietuvos upių baseinų – Nemuno, Ventos, Lielupės, Dauguvos ir Baltijos pajūrio upių nuo 1812 m. iki 2006 m. imtinai. Vidutinės daugiametės vandens debitų reikšmės, apskaičiuotos VM stotyse, atitinkamais metodais buvo pritaikytos upių žiotims arba prie valstybės sienos esančiam upės baseinui. Nustatyta, jog Lietuvos upių vidutiniai daugiametiniai vandens ištekliai yra 24,844 km³ per metus, iš jų tranzitu iš gretimų valstybių atiteka 8,883 km³ per metus, Lietuvoje susiformuoja 15,961 km³ per metus, iš Lietuvos į gretimas valstybes nuteka 7,471 km³ per metus. Lyginant su 1996 m. apskaičiuotais vandens ištekliais (26,012 km³ per metus), jie yra 4,5 % mažesni. Lietuvos upių nuotėkiui būdinga periodinė vandeningumo kaita. Ilgoje Nemuno ties Smalininkais nuotėkio sekoje yra 7 pilni vandeningumo ciklai, kurių vidutinė trukmė – 27 metai, vandeningos fazės vidutinė trukmė – 14 metų, o sausos – 13 metų. Sausųjų ir vandeningųjų laikotarpių nuotėkis Nemune skiriasi vidutiniškai 16 %, Pietryčių ir Vakarų Lietuvos upėse – 21–23 %, o Vidurio Lietuvos upėse – 28 %.

Stonevičius ir kiti (2010) viename savo darbų atliko Smeltės upės poplūdžių kaitos prognozes naudojant kritulių režimo kaitos duomenis, leidžiančius suformuoti svarbiausius duomenų bazei būtinus rodiklius nuotėkio pokyčių XXI amžiuje skaičiavimams. Pagrindiniai nuotėkio įvertinimui reikalingi skaičiai – maksimalių vienos paros kritulių, iškrentančių kartą per 5 metus ir kartą per 10 metų tikimybinės reikšmės, apskaičiuotos pagal tolydųjį bendrąjį ekstremalių dydžių skirsinį. Apskaičiuotas kritulių kiekio vidurkis rodo, kad XXI amžiaus viduryje pagal abu scenarijus Klaipėdoje laukiamas kritulių kiekio sumažėjimas, o amžiaus pabaigoje – pagausėjimas, kuris lems Smeltės upės poplūdžių padažnėjimą.

Madsen ir kiti (2014) savo darbe atliko ekstremalių liūčių ir hidrologinių poplūdžių Europoje tendencijų analizę, pagrįsta stebėjimais ir ateities klimato prognozėmis. Apžvelgtos 46 tyrimų, atliktų 22 Europos šalyse, tendencijų analizės. Dauguma tyrimų, susijusių su ekstremaliais kritulių kiekiais, grindžiami dienos metu iškritusių kritulių ekstremaliu kiekiu, o kai kuriuose tyrimuose taip pat pateikiami didelės skiriamosios gebos iškritusių kritulių ekstremumų (iki 1-10 min.) tendencijų analizės rezultatai. Pateiktos ekstremalaus upelių srauto studijos daugiausia grindžiamos paros nuotėkio vertėmis, o kai kuriais atvejais – momentinėmis didžiausio nuotėkio vertėmis. Stebėtų ekstremalių liūčių ir poplūdžių duomenų analizė parodė, jog yra tam tikrų ekstremalių kritulių kiekio didėjimo tendencijų, tuo tarpu aiškių požymių apie reikšmingas didelio masto regioninio ar nacionalinio lygmens ekstremalių poplūdžių tendencijas nėra aptikta. Tikėtinų būsimų pokyčių, pagrįstų klimato prognozėmis, apžvalga rodo, kad ekstremalių kritulių kiekis ateities klimato sąlygomis apskritai didės, o tai atitinka stebimas tendencijas. Hidrologinės didžiausio srauto prognozės rodo didelį poveikį daugelyje vietovių, kur pokyčiai yra ir teigiami, ir neigiami.

Hobbie ir Grimm (2020) teigia, jog didėjant miestų gyventojų skaičiui, vis svarbesnis taps klimato kaitos valdymas ir prisitaikymas prie jos miestuose, ypač dėl to, kad unikalios miestų savybės sustiprina klimato kaitos poveikį. Itin didelis vandeniui nelaidžios dangos didina klimato atšilimo poveikį dėl miesto „šilumos salos“ efekto ir stiprių kritulių poveikį, nes didina nuotėkį ir poplūdžius. Žmonių gyvenviečių koncentracija prie upių ir pakrančių zonose didina klimato kaitos pavojų poveikį žmonėms ir infrastruktūrai, o tai dažnai neproporcingai paveikia tuos, kurie yra mažiausiai pasirengę. Gamta pagrįstos strategijos, kuriose klimato kaitos pavojams mažinti naudojami gyvieji organizmai, dirvožemis ir nuosėdos ir (arba) kraštovaizdžio ypatybės, yra daug žadančios, nes jos yra lankstesnės, daugiafunkcinės ir lengviau pritaikomos prie neaiškios ir nestacionarios klimato ateities nei tradiciniai metodai. Vis dėlto būsimuose moksliniuose tyrimuose turėtų būti nagrinėjamas gamta pagrįstos strategijos veiksmingumas mažinant klimato kaitos poveikį ir tai, ar jie gali būti įgyvendinami klimato kaitos pavojams ir poveikiui tinkamu mastu. Be to, reikia atlikti tikslią ir išsamią sąnaudų ir naudos analizę, kurioje būtų atsižvelgta į nenaudą ir papildomą naudą, palyginti su pilkomis alternatyvomis, ir į tai, kaip sąnaudos ir nauda pasiskirsto tarp skirtingų bendruomenių. Labiausiai tikėtina, kad nacionaliniai planai bus veiksmingi ir teisingi, jei jie

atitiks iššūkio mastą, bus įgyvendinami dalyvaujant įvairiems dalyviams ir bus pritaikyti konkrečioms socialinėms, kultūrinėms, ekologinėms ir technologinėms aplinkybėms.

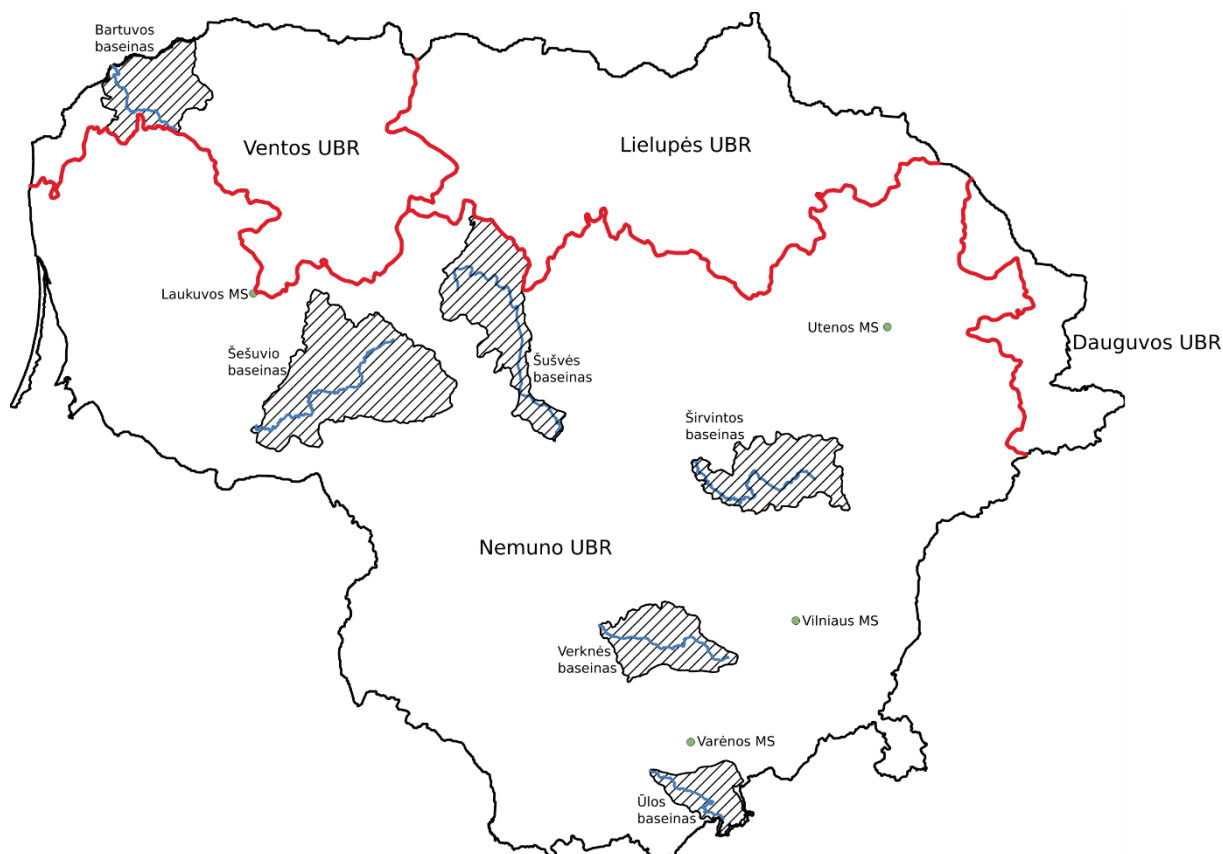
Apibendrinant:

- Apžvelgus mokslinius darbus, kuriose tiriama upių nuotėkio kaita, galima teigti, jog upių nuotėkis pastebimai keičiasi, ką lemia klimato kaita. Klimato atšilimas veikia sezoninius nuotėkio persiskirstymus, vandens sankaupų kiekį.
- Pasak mokslininkų, jau dabar visuotinė žemės temperatūra yra 0,89 °C aukštesnė nei 1901 m., dėl ko jau dabar pastebimi vis dažnesni ir didesni poplūdžiai, kurie ne tik padaro materialinę žalą, nusineša žmonių gyvybes, bet ir sukelia žalą aplinkai, pavyzdžiui, išsklaido arba nuplukdo į jūras didelius kiekius mikroplastikų, teršalų ir atliekų, keičia maistinių medžiagų kiekį, blogina vandens kokybę ir t. t.
- Prognozuojama, kad ateityje klimato kaita padidins upių užliejamą plotą poplūdžių metu, didės ir staigiųjų potvynių skaičius, dėl ko tiek aplinkosauginė, tiek neaplinkosauginė situacija tik prastės.

2. TIRIAMASIS OBJEKTAS IR TYRIMO METODIKA

2.1. Tiriamasis objektas

Poplūdžių analizei pasirinktos šešios Lietuvos upės: Bartuva, Šešuvis, Širvinta, Šušvė, Ūla ir Verknė (2.1 pav.). Šios upės pasirinktos dėl šių upių baseinuose vyraujančių skirtingų nuogulų ir skirtingų hidrologinių rajonų.



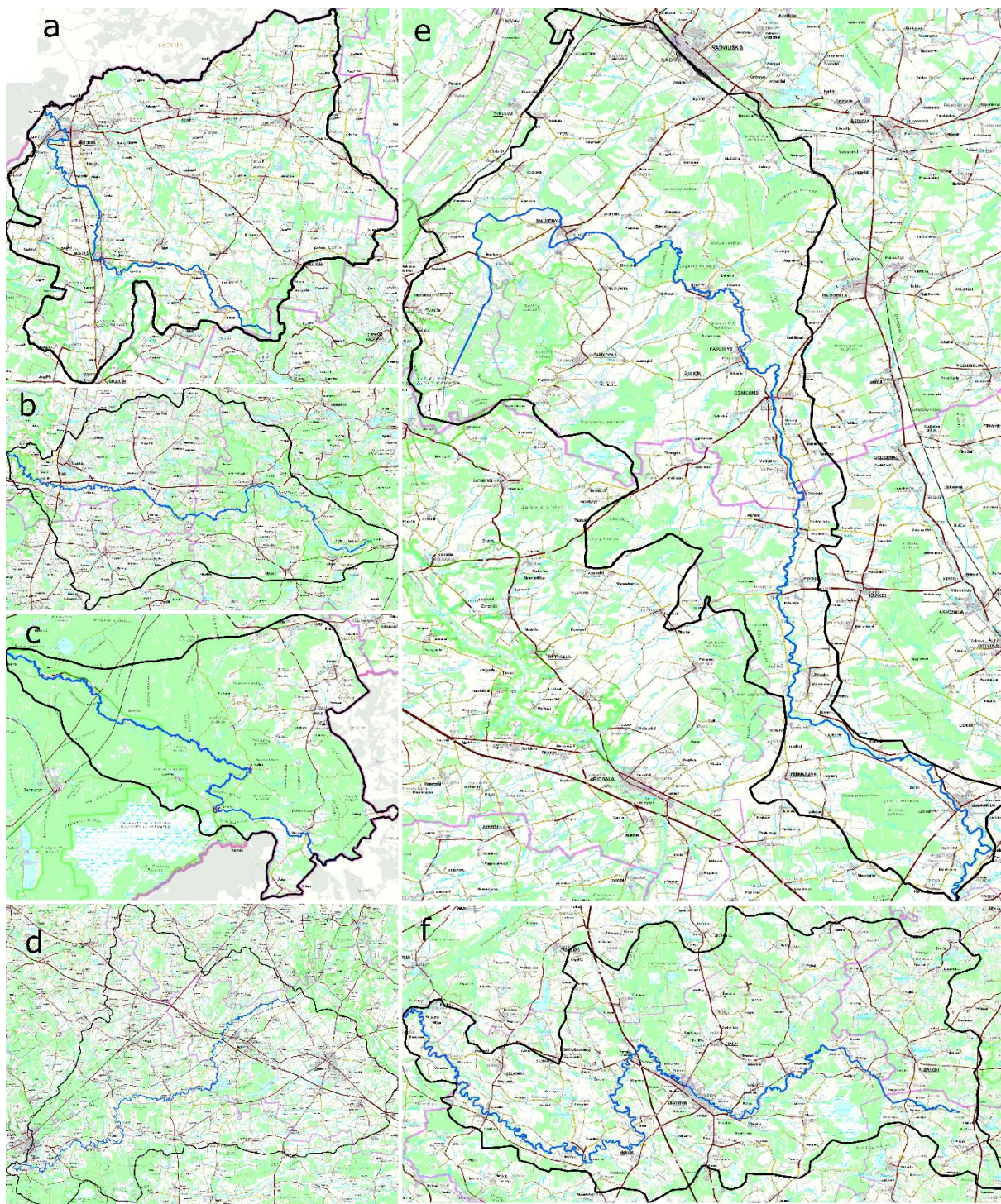
2.1 pav. Nagrinėjamų upių baseinai ir meteorologinės stotys

2.1 paveiksle pavaizduoti nagrinėjamų upių baseinai ir naudotų keturių meteorologinių stočių vietos Lietuvoje.

Analizei atlikti būtini pradiniai duomenys yra gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos. Tyrimui pasirinktos šešios vandens matavimo stotys (toliau – VMS), veikiančios prie nagrinėjamų šešių skirtingų upių:

- Šiaurės Vakarų Lietuvoje – Bartuva ties Skuodo VMS;
- Vidurio Lietuvoje – Šešuvis ties Skirgailių VMS, Šušvė ties Josvainių VMS, Širvinta ties Liukonių VMS;
- Pietų Lietuvoje – Verknė ties Verbyliškių VMS, Ūla ties Zervynų VMS.

Detalūs nagrinėjamų upių žemėlapiai pateikti 2.2 pav.



2.2 pav. Nagrinėjamų upių baseinų žemėlapiai (a–Bartuvos, b–Verknės, c–Ūlos, d–Šešuvio, e–Šušvės, f–Širvintos upių baseinai)

BARTUVA

Bartuva – Šiaurės vakarų Lietuvos ir Latvijos upė (latv. – Bārta). Bartuvos ištakos plyti ~3,5 km į šiaurę nuo Platelių ežero, Mačiūkų kaimo apylinkėse esančių šlapžemių, Skuodo ir Plungės rajonų savivaldybių riboje. Lietuvoje prateka pro Mosėdžio ir Skuodo gyvenvietes, į Baltijos jūrą įteka Latvijoje, Liepojoje. Bartuvos upės ilgis 101 km, iš kurių 55 km – Lietuvoje. Bartuvos baseino plotas 2020 km², Lietuvoje – 748 km² arba 37 % viso baseino ploto. Didesni Bartuvos intakai Lietuvoje – Erla, Luoba, Apšė. Baseino ežeringumas siekia tik 0,01 %, miškingumas – 3 %. Bartuvos upė yra užtvenkta ties Mosėdžiu, Puodkaliais ir Skuodu. Bartuvos upės debitas vidutiniškai siekia 12,0 m³/s, iš jo 9,2 m³/s Lietuvoje surinktas vanduo (Kilkus & Stonevičius, 2011, Endriukaitis, 2021).

ŠEŠUVIS

Šešuvis – pietvakarių Lietuvos upė, didžiausias Jūros upės intakas. Šešuvio versmės yra Raseinių rajono savivaldybėje, Šienlaukio miške esančiame durpyne. Šešuvis prateka šalia Viduklės ir Gaurės gyvenviečių, į Jūrą įteka netoli Tauragės. Šešuvio ilgis 114 km, baseino plotas 1908 km². Didžiausias Šešuvio intakas – Šaltuona, kiti intakai yra kur kas mažesni, pavyzdžiui, Upė, Įkojis, Ančia ir kt. Baseino pelkėtumas siekia 4 %, miškingumas – 10 %. Šešuvis nėra užtventtas, vaga nėra paveikta antropogeninio poveikio. Šešuvio upės vidutinis debitas – 15,7 m³/s (Kilkus & Stonevičius, 2011, Endriukaitis, 2012).

ŠUŠVĖ

Šušvė – vidurio Lietuvos upė, Nevėžio dešinysis intakas. Šušvės aukštupys esti Tytuvėnų tyrelyje, Tytuvėnų regioniniame parke. Prie Šušvės įsikūrusios gyvenvietės: Šiaulėnai, Grinkiškis, Josvainiai. Į Nevėžį įteka ~15 km į pietvakarius nuo Kėdainių. Šušvės ilgis 130 km, baseino plotas 1170 km². Šušvės intakai: Beržė, Šėta, Upytė, Šušvaitė ir kt. Baseino pelkėtumas siekia 13 %, miškingumas – 21 %. Šušvė yra užtventta ties Angiriais ir Vaitiekūnais, aukštupyje kanalizauta ~30 km. Šešuvio upės vidutinis debitas – 6,6 m³/s (Kilkus & Stonevičius, 2011, Endriukaitis, 2012).

ŠIRVINTA

Širvinta – rytų Lietuvos upė, Šventosios kairysis intakas. Širvintos ištakos plyti Ličiūnų pelkėje, netoli Giedraičių, Vilniaus rajono savivaldybėje. Teka pro Širvintas. Į Šventąją įteka netoli Upninkų. Širvintos ilgis 138 km, baseino plotas 949 km² (Endriukaitis, 2012). Didesni Širvintos intakai – Akmena, Juodė. Baseino ežeringumas siekia tik 0,8 %, pelkėtumas – 8 %, miškingumas – 11 %. Upėje įrengti Motiejūnų ir Širvintų tvenkiniai, vaga tiesinta tik aukštupyje. Širvintos upės vidutinis debitas siekia 6,5 m³/s (Kilkus & Stonevičius, 2011, Endriukaitis, 2012).

VERKNĖ

Verknė – vidurio Lietuvos upė, vienas Nemuno intakų. Verknė mezgasi į vakarus nuo Rūdiškių Galaverknės vardu, ištekęjusi iš Vilkokšnio eženo toliau vadinama Verkne. Prateka pro Aukštadvarį, Vydžionių, Pikelionių kaimus, į Nemuną įteka 2 km žemiau Birštono. Verknės ilgis 77 km, baseino plotas 703 km². Verknės intakai – Samė, Obelis, Alšia. Baseino ežeringumas siekia 2,2 % (~80 ežerų), pelkėtumas – 11 %, miškingumas – 19 %. Verknė užtventta ties Aukštadvariu ir Jundeliškėmis, vaga nėra paveikta antropogeninio poveikio. Verknės upės vidutinis debitas – 5,2 m³/s (Kilkus & Stonevičius, 2011, Endriukaitis, 2012).

ŪLA

Ūla – dar vadinama Ūla-Pelesa, pietryčių Lietuvos upė, didžiausias Merkio intakas. Verknės ištakos yra Baltarusijoje, netoli Peleos kaimo. Prateka pro Dubičių, Rudnios, Zervynų, Žiūrų kaimus, į Merkį įteka netoli Mardasavo. Ūlos upės ilgis 84 km, iš kurių 61 km – Lietuvoje. Ūlos baseino plotas 753 km², Lietuvoje – 451 km² arba 40 % viso baseino ploto. Ūlos intakai – Lynupis, Katra, Uosupis. Baseino ežeringumas siekia tik 0,2 %. Ūla užtventta ties Rudnia, Lietuvoje vaga nėra paveikta antropogeninio poveikio, tačiau Baltarusijoje upė kanalizauta. Ūlos upės vidutinis debitas – 5,5 m³/s (Kilkus & Stonevičius, 2011, Endriukaitis, 2012).

2.2 Tyrimo metodika

Koreliacijos tarp upių debito ir kritulių kiekio nustatymas

Iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos surinktų dvidešimties metų (1998–2018) Bartuvos, Šešuvio, Šušvės, Verknės ir Ūlos upių debitų bei Laukuvos, Utenos, Varėnos ir Vilniaus meteorologinių stočių kritulių duomenis buvo nustatyta kritulių įtaka nuotėkiui skaičiuojant koreliacinius koeficientus.

Pirsono koreliacijos koeficientas – tiesinio ryšio tarp dviejų kintamųjų stiprumo matas, žymimas r . Pirsono koreliacijos koeficientu bandoma nubrėžti liniją, geriausiai atitinkančią dviejų kintamųjų duomenis, o Pirsono koreliacijos koeficientas r parodo, kaip toli visi šie duomenų taškai yra nutolę nuo šios tiesės (t. y., kaip gerai duomenų taškai atitinka šį naują modelį (geriausiai atitinkančią liniją). Pirsono koreliacijos koeficientas r gali būti nuo +1 iki -1. Reikšmė 0 reiškia, kad tarp dviejų kintamųjų nėra ryšio. Didesnė už 0 reikšmė rodo teigiamą ryšį, t. y. didėjant vieno kintamojo vertei, didėja ir kito kintamojo vertė. Reikšmė, mažesnė už 0, rodo neigiamą ryšį, t. y. vieno kintamojo vertei didėjant, kito kintamojo vertė mažėja (Pearson Product-Moment..., 2021).

Pirsono koreliacijos koeficientas apskaičiuojamas pagal (2.1) formulę (Janilionis, 2021):

$$r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \cdot \sqrt{\overline{y^2} - \bar{y}^2}}; \quad (2.1)$$

kur

r – koreliacijos koeficientas

$\bar{x}$ ir $\bar{y}$ – reikšmių x ir y vidurkiai.

Koreliacijos koeficiento patikimumas nustatomas naudojant p reikšmę. p reikšmė parodo, ar koreliacija statistiškai reikšminga. Koreliacijos statistiniam reikšmingumui įvertinti p reikšmė dažniausiai palyginama su reikšme $\alpha = 0,05$ (reikšmingumo lygmuo). Koreliacija statistiškai reikšminga, jei apskaičiuota p reikšmė mažesnė už 0,05 (Koreliacija SPSS, 2013).

Nuotėkio nustatymas Mann-Kendall'io ir Spearman'o Rho testais

Nagrinėjami duomenys yra apdorojami programa TREND, australų mokslininkų sukurta programa siekiant palengvinti statistinius hidrologinių ir kitų duomenų tendencijų, pokyčių ir atsitiktinumo tyrimus. Apdorojant šio darbo duomenis bus naudojami Mann-Kendall'io ir Spearman'o Rho testai (Chiew & Siriwardena, 2005).

Mann-Kendall'io testo (Mann 1945, Kendall 1975, Gilbert 1987) tikslas – statistiškai įvertinti, ar yra monotoniška dominančio kintamojo didėjimo ar mažėjimo tendencija laikui bėgant. Monotoniška didėjimo (mažėjimo) tendencija reiškia, kad kintamasis laikui bėgant nuosekliai didėja (mažėja), tačiau tendencija gali būti tiesinė arba ne. Mann-Kendall'io testas gali būti naudojamas vietoj parametrinės tiesinės regresijos analizės, kuria galima patikrinti, ar apskaičiuotos tiesinės regresijos tiesės nuokrypis skiriasi nuo nulio. Regresinei analizei atlikti reikia, jog regresijos tiesės atkarpos būtų pasiskirsčiusios tolygiai. Mann-Kendall'io testas yra neparametrinis (be pasiskirstymo) testas (Mann-Kendall Test..., 2021).

Mann-Kendall'io statistika S apskaičiuojama pagal (2.3) formulę (Chiew & Siriwardena, 2005):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(R_j - R_i) \right]; \quad (2.3)$$

kur

$\text{sgn}(x) = 1$, jei $x > 0$

$\text{sgn}(x) = 0$, jei $x = 0$

$\text{sgn}(x) = -1$, jei $x < 0$.

Spearman'o Rho ranginė koreliacija yra neparametrinė Pirsono sandaugos – momentinės koreliacijos versija. Spearman'o koreliacijos koeficientas (ρ , taip pat žymimas r_s) rodo dviejų ranginių kintamųjų ryšio stiprumą ir kryptį. Sienkiant apskaičiuoti Spearman'o koreliaciją, reikia dviejų kintamųjų, kurie yra ordinariniai, intervaliniai arba santykiniai. Nors paprastai tikimasi, kad intervaliniams arba santykiniams duomenims bus naudojama Pirsono sandaugos-momento koreliacija, Spearman'o koreliacija gali būti naudojama, kai Pirsono koreliacijos prielaidos yra akivaizdžiai pažeistos. Tačiau Spearman'o koreliacija nustato dviejų kintamųjų

monotoniško ryšio stiprumą ir kryptį, o ne dviejų kintamųjų tiesinio ryšio stiprumą ir kryptį, kurią nustato Pirsono koreliacija (Spearman's Rank-Order..., 2021).

Kaip ir Mann-Kendall'io testas, n laiko sekos vertės pakeičiamos jų gretomis.

Bandymo statistika ρ_s yra koreliacijos koeficientas, gaunamas taip pat, kaip įprastas imties koreliacijos koeficientas, tačiau naudojant rangus (2.4) (Chiew & Siriwardena, 2005):

$$\rho_s = \frac{S_{xy}}{(S_x S_y)^{0.5}}; \quad (2.4)$$

kur

$$S_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

$$S_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}).$$

x_i (laikas), y_i (duomenų kintamasis), x ir y nurodo gretas (x , y , S_x ir S_y turi tas pačias tendencijas).

Upės baseino nuogulų ir žemėnaudos nustatymas

Vertinant nagrinėjamų upių baseinų charakteristikas ir jų daromą įtaką nuotėkiui, buvo įvertintas nuogulų ir žemėnaudos pasiskirstymas Bartuvos, Šešuvio, Šušvės, Širvintos, Ūlos ir Verknės baseinuose.

Vyraujančių nuogulų žemėlapiams sudaryti buvo panaudoti Lietuvos erdvinės informacijos portale (geoportal.lt) pateiktas Lietuvos kvartero geologinis žemėlapis.

Žemėnaudos žemėlapiams buvo naudojami programos „Copernicus“¹ CORINE žemės dangos inventorizacijos 2018 m. duomenys.

Naudojant QGIS programą, buvo sudaryti žemėnaudų bei kvartero nuogulų žemėlapiai įkeliant kiekvieno baseino WGS84 koordinatas bei sukuriant poligoną – baseino teritoriją, kuri buvo patalpinta ant atitinkamo žemėlapių.

Upių baseinų morfometrinės charakteristikos apibūdina baseino topografinį, geologinį ir hidrologinį elgesį. Morfometrinės charakteristikos daro įtaką baseino procesams, apibūdina geomorfologines ir hidrogeologines savybes ir suteikia vertingos informacijos apie galimą vandens išteklių vertinimą ir valdymą (Kabite & Gessesse, 2018).

Hidrologinių duomenų prognozavimas

Nagrinėjamų upių nuotėkių prognozei atlikti naudota *Curve Expert 2.7* programinė įranga susiejant vidutines ir maksimalias nuotėkio vertes kaip priklausomus kintamuosius ir nagrinėjamo laikotarpio kritulių kiekį kaip nepriklausomą kintamąjį. Nuotėkiams prognozuoti buvo naudojami modeliai, kurių determinacijos koeficientas didžiausias (priedai Nr. 13–24).

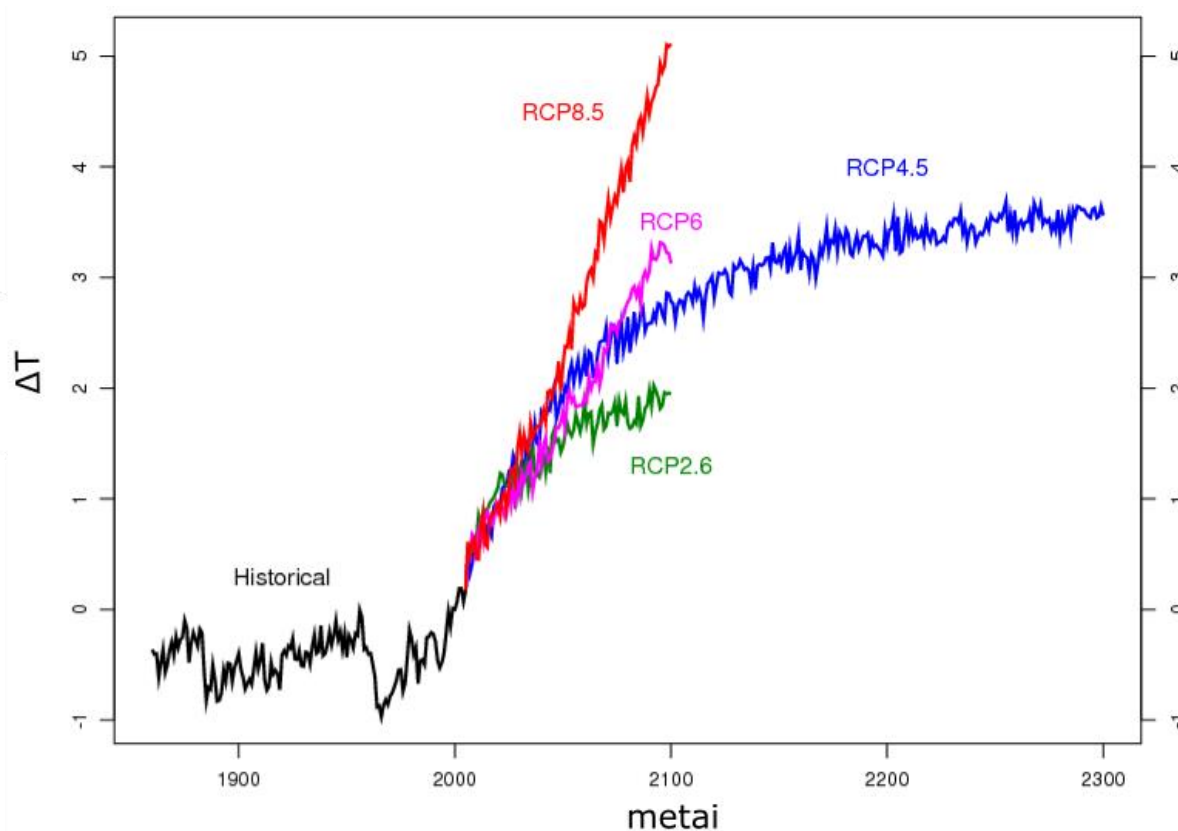
Geofizinių fluidų dinamikos laboratorijos (toliau – GFDL) mokslininkai kuria ir naudoja dinامينius, skaitmeninius modelius ir kompiuterines simuliacijas, kad geriau suprastų atmosferos, vandenynų ir klimato elgseną ir sudarytų prognozes, naudodami superkompiuterių ir duomenų saugojimo išteklius. Šie modeliai tapo pagrindinėmis priemonėmis, padedančiomis suprasti fizinius ir biogeocheminius procesus, kontroliuojančius Žemės klimatą. Modeliai naudojami tiriant, koku mastu stebimi klimato pokyčiai gali būti susiję su natūraliomis priežastimis (pvz.: saule, ugnikalnių veikla) arba su žmogaus veikla (pvz.: šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir kietųjų dalelių išmetimu, žemės naudojimu). Jie padeda tiksliau prognozuoti reiškinius atmosferoje, vandenynuose ir sausumoje sezoniniu, dešimtmečio ir šimtmečio laikotarpiais. Modeliai yra neįkainojamos priemonės uraganų tyrimams ir prognozėms, sezoninėms prognozėms, ozono sluoksnio nykimo, sausrų, kritulių, jūros lygio kilimo, El Nino-

¹ Copernicus – Europos Žemės stebėjimo programa, kurioje duomenis renka Žemės stebėjimo palydovai ir kartu su stebėjimo duomenimis iš jutiklių tinklų žemės paviršiuje (CORINE Land Cover, 2021).

La Nina ciklą, pasaulinės vandenynų cirkuliacijos ir cheminių medžiagų pernašos atmosferoje prognozėms. GFDL modeliai sėkmingai perteikė stebėtą XX a. klimato raidą nuo žemyno iki pasaulio mastu, įskaitant El Ninjo ir Afrikos Sahelio sausros dinamiką, ir užtikrino gerus sezoninio prognozavimo įgūdžius (GFDL Models, 2022).

Nuotėkio prognozei atlikti naudojamas GFDL-CM3 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory – Climate Model 3) klimato kaitos modelis. Žemės sistemos modelis sukurtas JAV Nacionalinės vandenynų ir atmosferos administracijos (*angl.* National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) Geofizinėje skysčių dinamikos laboratorijoje. Klimato modelis 3 (CM3) nagrinėjama kamuolinių debesų konvekciją, netiesioginį aerozolių poveikį, atmosferos chemiją ir aerozolius, kurie lemia advekcinį, konvekcinį ir turbulentinį teršalų pernešimą atmosferoje (Global Climate... 2022).

Naujausioje TKKK AR5 ataskaitoje vadovaujamosi CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project phase 5) projekto sudarytomis prognozėmis ir naujais RCP (Representative Concentration Pathways) scenarijais (2.3 pav.).



2.3. pav. GFDL-CM3 žemės paviršiaus temperatūros pokytis palyginus su 2000 metais (Global Climate... 2022)

Pasaulinės vidutinės metinės paviršiaus temperatūros pokyčiai (laipsniais °C), modeliuojami pagal GFDL-CM3 susietąjį klimato modelį istorinėmis sąlygomis (1860-2005 m.) ir keturis prognozuojamus būsimus „Reprezentatyvaus koncentracijos kelio“ (RCP) scenarijus. RCP scenarijai, pavadinti pagal apytikslį spinduliavimo poveikį 2100 m., apima mažo poveikio scenarijų (RCP2.6), du vidutinio poveikio stabilizavimo scenarijus (RCP4.5 ir RCP6) ir didelio poveikio scenarijų (RCP8.5) (Global Climate... 2022).

RCP 2.6 sukurtas Olandijos aplinkos vertinimo agentūros modeliavimo grupės. Tai scenarijus, pagal kurį energinio poveikio pikas bus pasiektas dar XXI a. viduryje (apie 3 W/m²; ~490 ppm šiltnamio dujų koncentracija anglies dvideginio ekvivalentu), o iki 2100 m. sumažės iki 2,6 W/m².

RCP 4.5 sukurtas JAV jungtinio globalios kaitos tyrimo instituto modeliavimo grupės. Tai scenarijus, pagal kurį energinis poveikis ($4,5 \text{ W/m}^2$) stabilizuosis iki 2100 m., o šiltnamio dujų koncentracija anglies dvideginio ekvivalentu sieks ~650 ppm.

RCP 6.0 sukurtas Japonijos nacionalinio aplinkos studijų instituto modeliavimo grupės. Tai stabilizacinis scenarijus, kai energinio poveikio sustiprėjimas ($6,0 \text{ W/m}^2$) stabilizuosis po 2100 m., panaudojus technologijas ir strategijas, skirtas mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijas. RCP 8.5 sukurtas Tarptautinio taikomųjų sistemų analizės instituto modeliavimo grupės Austrijoje.

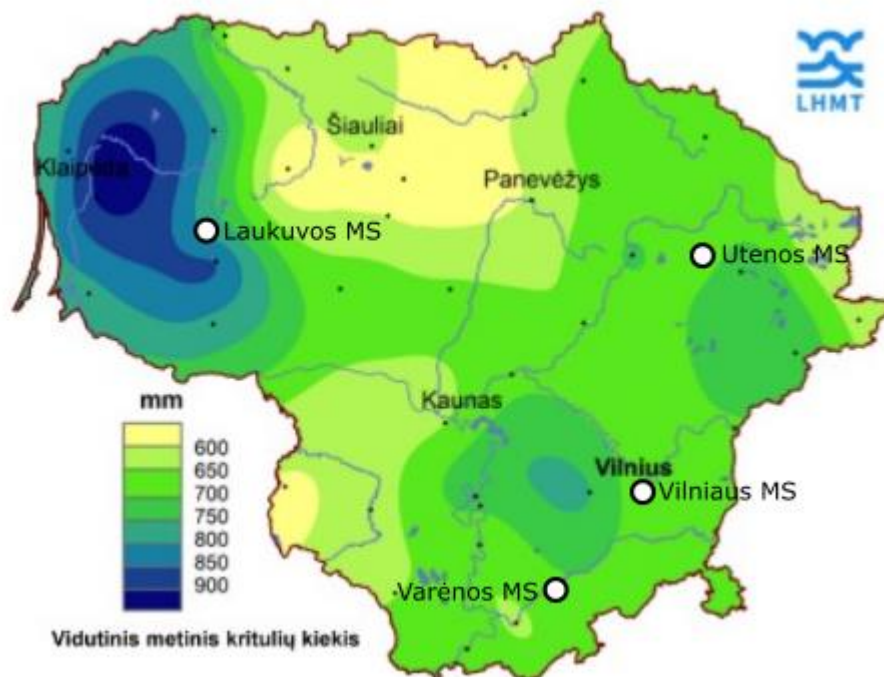
RCP 8.5 charakterizuojamas didėjančiomis šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijomis, vedančiomis prie didžiausių energinio poveikio reikšmių ($8,5 \text{ W/m}^2$) (Keršytė et al., 2015).

3. TYRIMO REZULTATAI

3.1. Meteorologinių duomenų analizė

Lietuvos hidrometeorologijos duomenimis, pagal naujas dabartines klimato sąlygas (1991–2020 m.), vidutinis Lietuvos metų kritulių kiekis yra 695 mm. Daugiausiai kritulių iškrinta liepą (84 mm), mažiausiai – balandį (37 mm). Palyginus anksčiau naudotas klimato sąlygas (1981–2010 m.) matoma, jog metinis kritulių kiekis Lietuvoje labai nežymiai sumažėjo. Labiausiai kritulių kiekis sumažėjo birželio ir rugsėjo, o išaugo vasario mėnesiais (Naujos vidutinės Lietuvos... 2021).

Vidutinių metinių kritulių kiekio žemėlapis pateiktas 3.1 pav.

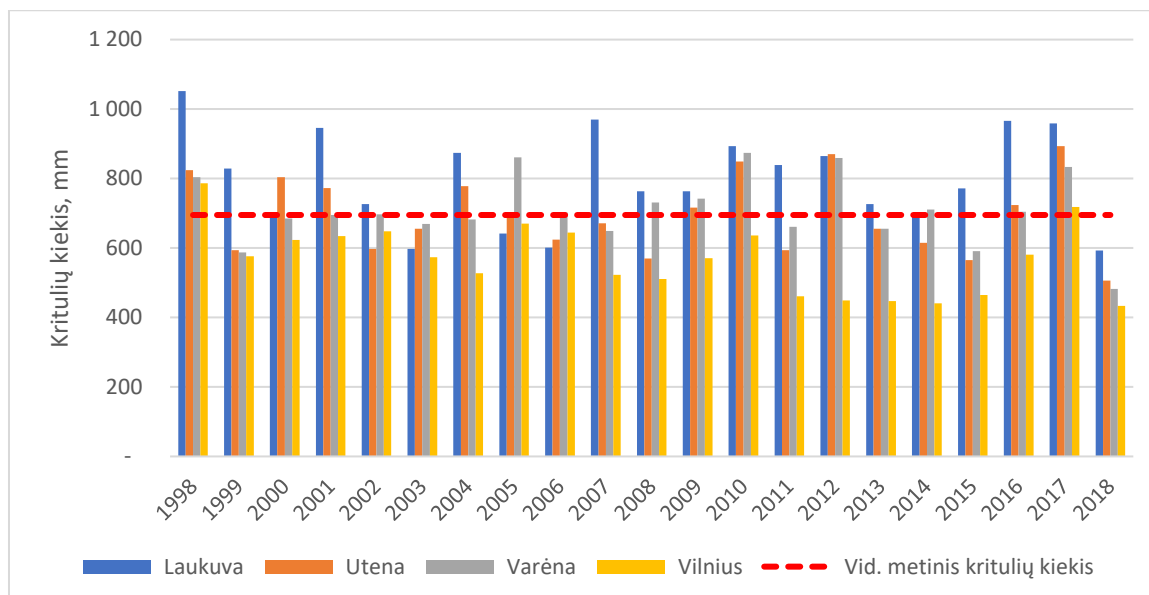


3.1 pav. Vidutinis metinis kritulių kiekis Lietuvoje 1991–2020 m (Naujos vidutinės Lietuvos... 2021)

Kaip matoma iš paveikslo, daugiausia kritulių vidutiniškai iškrenta Vakarų Lietuvoje esančiose Žemaičių aukštumose, mažiausiai – Šiaurinėje šalies dalyje ir Vilkaiviškio rajono savivaldybės teritorijoje.

Laukuvos MS patenka į vieną lietingiausių šalies zonų, kurioje taip pat teka nagrinėjamos Bartuvos bei Šešuvio upės. Kitos trys MS patenka į vidutinių kritulių zoną, į kurią patenka ir likusios nagrinėjamos upės.

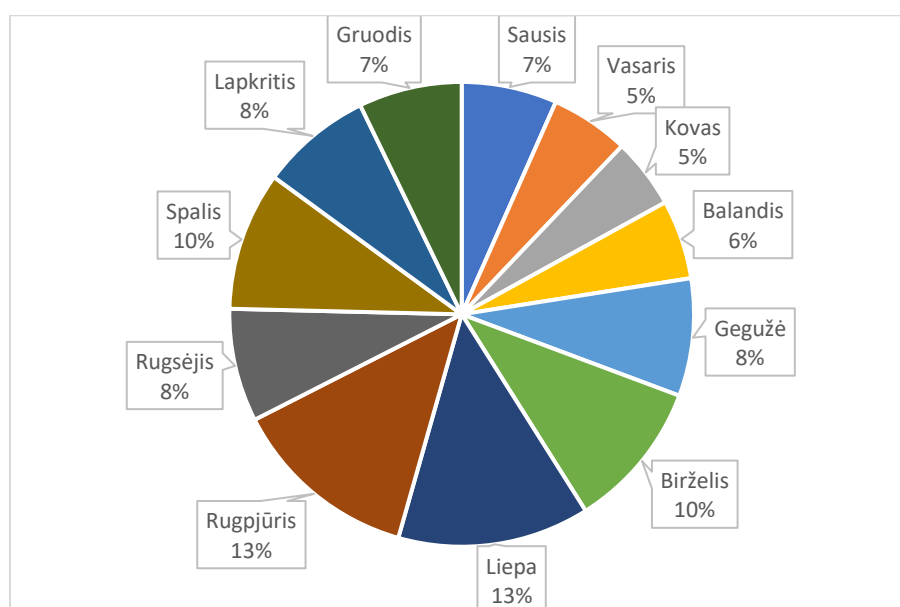
Nagrinėjamas kritulių kiekio metinis bei sezoninis pasiskirstymas Laukuvos, Utenos, Varėnos ir Vilniaus meteorologinėse stotyse. Laukuvos MS rodo Bartuvos, Šešuvio ir Šušvės upėse iškritusių kritulių kiekį, Utenos ir Vilniaus MS vidurkis reprezentuoja kritulių kiekio pasiskirstymą Širvintos upės baseine, Vilniaus ir Varėnos MS vidurkis – Verknės baseine ir Varėnos MS – Ūlos upės baseine (3.2 pav.).



3.2 pav. Nagrinėjamų MS kritulių pasiskirstymas 1998–2018 m.

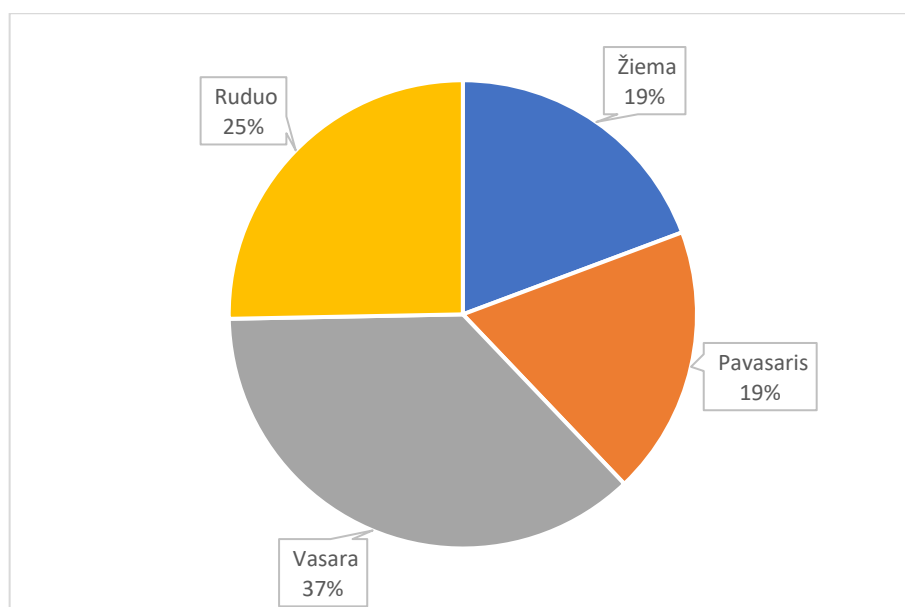
Laukuvos MS nagrinėjamu laikotarpiu fiksavo daugiausia kritulių, mažiausia – Vilniaus MS. Daugiausia kritulių, palyginus su Lietuvos metiniu vidurkiu (695 mm) nustatyta Laukuvos MS, kurioje net penkiolika metų fiksuotas didesnis už Lietuvos vidutinį kritulių kiekį.

Nagrinėjamu laikotarpiu Lietuvoje sausiausi metai nustatyti 2018 m., lietingiausi – 1998 m. ir 2017 m. Pirmaisiais nagrinėjamais 6-iais metais (iki 2003 m.) matomas kritulių kiekio mažėjimas, viso apie 1000 mm. Kitu 2003–2011 m. laikotarpiu kritulių kiekis nežymiai didėjo, apie viso apie 500 mm. Nuo 2011 m. vėl pastebima kritulių mažėjimo tendencija. Šios tendencijos atsispindi Laukuvos, Utenos ir Varėnos matavimo stotyse, tačiau Vilniaus MS pastebima, jog nuo 2014 m. fiksuojama kritulių kiekio didėjimo tendencija (3.3 pav.).



3.3 pav. Visų nagrinėjamų MS kritulių pasiskirstymas mėnesiais 1998–2018 m.

Nagrinėjamose MS daugiausia kritulių nustatoma liepos ir rugpjūčio mėnesiais, kuriais iškrenta vidutiniškai po 13 % visų metinių kritulių. Sausiausi nustatyti vasario ir kovo mėnesiai, kurie sulaukia tik po 5 % kritulių (3.4 pav).



3.4 pav. Nagrinėjimų MS kritulių pasiskirstymas sezonais 1998–2018 m.

Daugiausia kritulių, net 37 % iškrenta vasarą, ketvirtadalis – rudeni, žiemą ir pavasarį tik po penktadalį viso metinio kritulių kiekio.

Atlikus statistinės analizės neparametrinį Mann-Kendall'io testą metiniams kritulių kiekiams nagrinėjamo laikotarpiu galima pastebėti, jog tik vienintelės – Vilniaus MS duomenys yra patikimi bei rodantys, jog nagrinėjamo laikotarpiu kritulių kiekis reikšmingai mažėja, ką patvirtina ir Spearman'io Rho testas (3.1 lentelė).

3.1 lentelė. Mann-Kendall'io ir Spearman'io Rho testų rezultatai nagrinėjamo laikotarpio kritulių kiekiams visu nagrinėjamo laikotarpiu.

Laikotarpis	Testas	Laukuva		Utena		Varėna		Vilnius	
		Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas
1998-2018	Mann-Kendall'io	-0,091	NS	-0,725	NS	0,03	NS	-2,627	S (0,01)
	Spearman'o Rho	-0,157	NS	-0,662	NS	0,041	NS	-2,306	S (0,05)

Visų kitų MS duomenys visu dvidešimties metų laikotarpiu nėra patikimi, todėl MS duomenys suskirstomi penkmečiais. Rezultatai pateikiami 3.2 lentelėje.

3.2 lentelė. Mann-Kendall'io ir Spearman'o Rho testų rezultatai nagrinėjamo laikotarpio kritulių kiekiams penkmečiais.

Laikotarpis	Testas	Laukuva		Utena		Varėna		Vilnius	
		Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas
1998-2003	Mann-Kendall'io	-0,735	S (0,01)	-0,751	S (0,01)	0,000	NS	-0,376	NS
	Spearman'o Rho	-1,000	S (0,01)	-0,831	S (0,01)	-0,447	S (0,01)	-0,958	S (0,01)
2003-2008	Mann-Kendall'io	0,751	S (0,01)	-1,127	S (0,01)	0,376	NS	-1,127	S (0,01)
	Spearman'o Rho	1,086	S (0,01)	-1,214	S (0,01)	0,447	S (0,1)	-1,214	S (0,01)
2008-2013	Mann-Kendall'io	1,225	S (0,01)	0,751	S (0,01)	-0,376	NS	-1,503	S (0,01)
	Spearman'o Rho	1,400	S (0,01)	0,831	S (0,01)	-0,703	S (0,01)	-1,725	S (0,01)
2013-2018	Mann-Kendall'io	0,000	NS	0,000	NS	0,000	NS	0,376	NS
	Spearman'o Rho	0,064	NS	-0,192	NS	-0,319	NS	0,192	NS

Iš 3.2 lentelėje matomų duomenų akivaizdu, kad tik paskutinio penkmečio visų MS duomenys nėra patikimi, kas yra siejama su fiksuotu staigiu kritulių kiekio kritimu 2018 m., kuomet visose tiriamose MS kritulių iškrito 1 400 mm mažiau nei 2017 m.

Laukuvos MS 1998–2003 m. pastebimas kritulių kiekio mažėjimas, vėliau, nuo 2003-ųjų stebimas kritulių kiekio nuoseklus didėjimas. Utenos MS kritulių kiekio didėjimas matomas tik nuo 2008 metų. Tuo tarpu Varėnos ir Vilniaus MS pastebima kritulių mažėjimo tendencija.

Nustatyti kiekvienos nagrinėjamos upės Pirsono koreliacijos koeficientai tarp maksimalių ir vidutinių debitų ir kritulių (3.3 ir 3.4 lentelės).

3.3 lentelė. Maksimalių debitų ir kritulių Pirsono koreliacijos koeficientai ir p reikšmės.

Sezonas	Koeficientas	Bartuva	Šešuvis	Širvinta	Šušvė	Ūla	Verknė
Visais sezonais	r	0,486	0,845	0,133	0,682	0,465	0,667
	p	0,024	0,000	0,570	0,000	0,032	0,000
Vasaros sezonas	r	0,161	0,633	0,286	0,568	0,345	0,592
	p	0,490	0,001	0,212	0,006	0,126	0,003
Rudens sezonas	r	0,198	0,568	0,054	0,608	0,492	0,409
	p	0,395	0,006	0,819	0,002	0,022	0,065
Šiltasis sezonas	r	0,281	0,761	0,205	0,665	0,147	0,577
	p	0,219	0,000	0,377	0,000	0,531	0,005

Stiprus koreliacinis ryšys nustatytas tik tarp Šešuvio visų sezonų ir šiltojo sezono maksimalių nuotėkių ir kritulių kiekio ir buvo didesnė už 0,7. Šušvės ir Verknės upių nuotėkio ir kritulių koreliacijos koeficiento reikšmės yra vidutiniškai teigiamos (tarp 0,5 ir 0,7), Ūlos upės dominuoja silpnai teigiami koeficientai (0,3–0,5). Bartuvos upės tik visų sezonų maksimalaus debito ir kritulių kiekio silpnai teigiama, likusių sezonų, kaip ir visų Širvintos sezonų maksimalaus nuotėkio ir kritulių kiekio koreliacija yra labai silpna (iki 0,3).

Vertinant Pirsono koreliacijos koeficiento reikšmių patikimumą, visos Šešuvio ir Šušvės p reikšmės yra mažesnės už 0,05, koreliacijos koeficientai yra patikimi, tuo tarpu Širvintos upės visos p reikšmės gerokai viršija 0,05, koeficientai nėra patikimi. Bartuvos upės koreliacija yra patikima tik visų sezonų laikotarpiu, Ūlos – visų sezonų ir rudens. Verknės upės tik rudens sezono p reikšmė viršija 0,05.

3.4 lentelė. Vidutinių debitų ir kritulių Pirsono koreliacijos koeficientai ir p reikšmės.

Sezonas	Koeficientas	Bartuva	Šešuvis	Širvinta	Šušvė	Ūla	Verknė
Visais sezonais	r	0,762	0,884	0,506	0,762	0,456	0,517
	p	0,000	0,000	0,018	0,000	0,036	0,015
Vasaros sezonas	r	0,638	0,692	0,684	0,663	0,520	0,747
	p	0,001	0,000	0,000	0,000	0,014	0,000
Rudens sezonas	r	0,719	0,866	0,363	0,756	0,341	0,515
	p	0,000	0,000	0,107	0,000	0,131	0,015
Šiltasis sezonas	r	0,773	0,898	0,349	0,756	0,572	0,790
	p	0,000	0,000	0,121	0,000	0,005	0,000

Nustatytos Bartuvos, Šešuvio ir Šušvės upių vidutinių nuotėkių ir kritulių koreliacijos koeficientų reikšmės, išskyrus vasaros sezono, yra stipriai teigiamos, vasaros sezono – vidutiniškai teigiamos. Verknės upės vasaros ir šiltojo sezonų vidutinių nuotėkių ir kritulių koreliacijos koeficientų reikšmės yra stiprios, visų sezonų ir rudens – vidutinės. Širvintos upės visų sezonų ir vasaros koreliacijos koeficientų yra vidutiniškai teigiamos, kaip ir Ūlos upės vasaros ir šiltojo sezono.

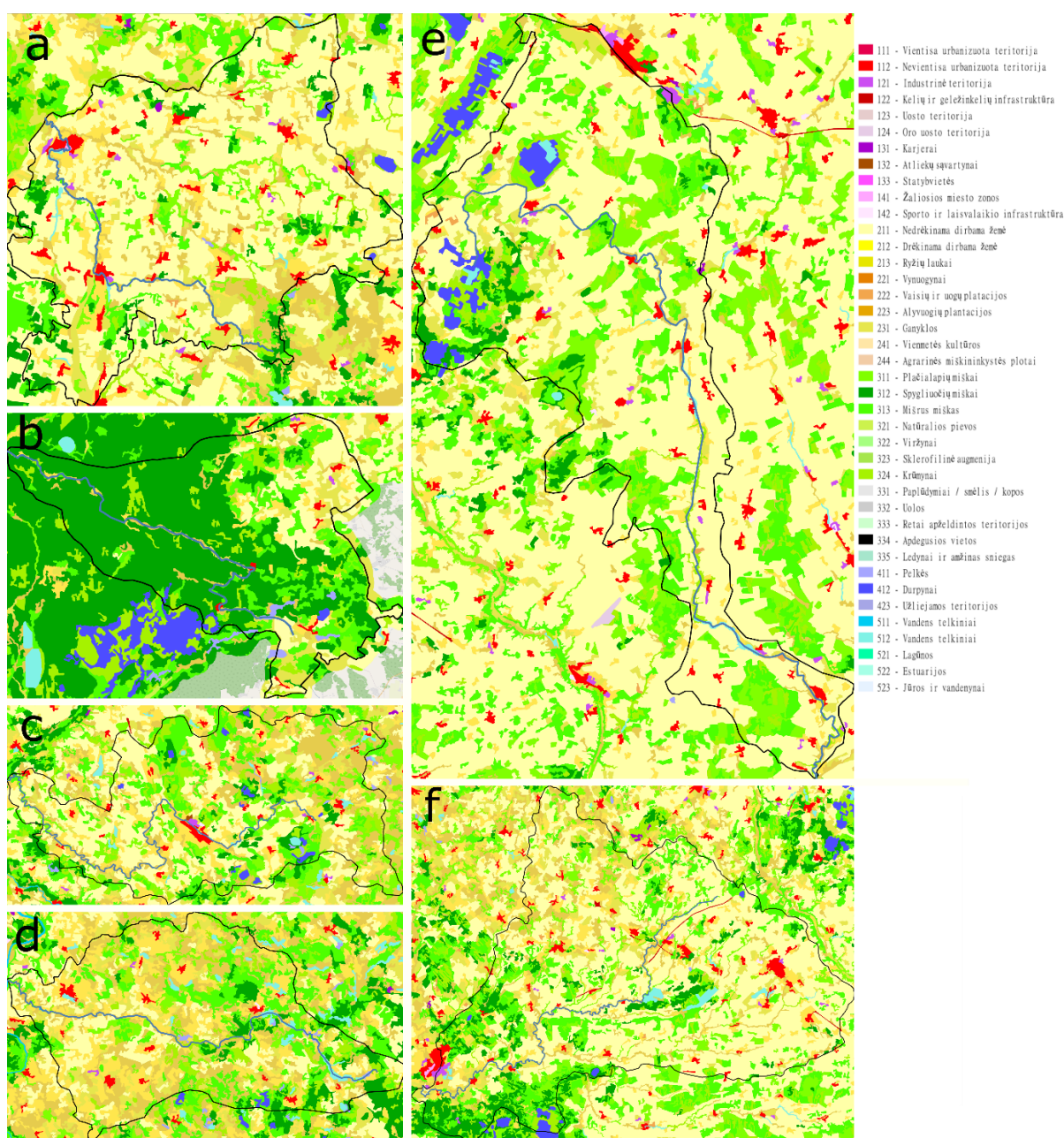
Vertinant koreliacijos koeficientų patikimumą, matoma, jog p reikšmės, didesnės už 0,05 nustatytos tik Širvintos upės rudens ir šiltojo sezono ir Ūlos upės rudens sezonų.

Apibendrinant:

Nagrinėjamu laikotarpiu Lietuvoje sausiausi metai fiksuoti 2018 m., lietingiausi – 1998 m. ir 2017 m. 1998–2003 m. pastebėtas kritulių kiekio mažėjimas, 2003–2013 m. laikotarpiu kritulių kiekis nežymiai didėjo, o nuo 2013 m. vėl pastebėta kritulių kiekio mažėjimo tendencija, kas yra susiję su klimato kaitos poveikiu.

3.2. Upių baseinų geomorfologinių sąlygų analizė

Naudojantis Europos Sąjungos Žemės stebėjimo programa *Copernicus* nustatyti žemėnaudų plotai nagrinėjamuose upių baseinuose. Sudaryti žemėnaudų žemėlapiai pateikti 3.5 pav. (detalūs kiekvieno baseino žemėlapiai pateikti 1–6 priede), procentinė žemėnaudų plotų išraiška pateikta 3.6 lentelėje.



3.5 pav. Nagrinėjamų upių baseinų žemėnaudų pasiskirstymas (a–Bartuvos, b–Ūlos, c–Širvintos, d–Verknės, e–Šušvės, f–Šešuvio upių baseinai)

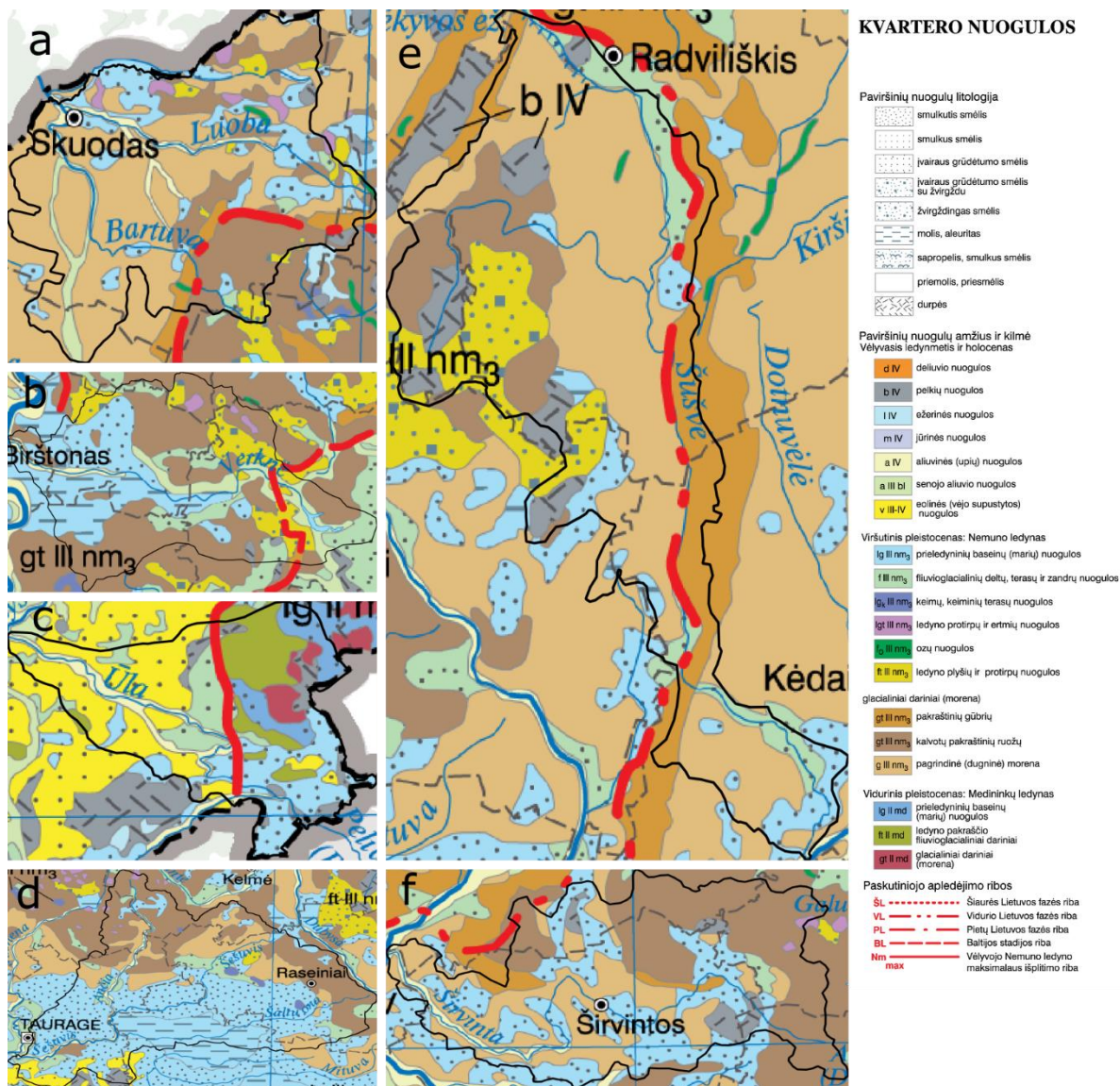
Bartuvos upės baseino plotas Lietuvos teritorijoje – 743 km², teritoriniu požiūriu baseine vyrauja dirbamų žemių plotai, kurie dengia 83 % bendro baseino ploto. Miškai dengia apie 8 %, laukai ir ganyklos apie 6 %, urbanizuotos teritorijos ~3 % upės baseino ploto, mažiausią dalį sudaro šlapžemės ir vandens telkiniai – atitinkamai po 0,2 % ir 0,5 %. Šešuvio upės baseinas yra triskart didesnis už Bartuvos baseiną ir užima 1 910 km², kuriame taip pat vyrauja dirbamų žemių plotai, dengiantys 76 % bendro baseino ploto, miškai dengia apie 17 %, laukai ir ganyklos apie 4 %, urbanizuotos teritorijos 2 % viso Šešuvio baseino ploto. Vandens telkiniai užima 1 %, šlapžemės – 0,5 %. Už Šešuvio baseiną kiek mažesnis yra Šušvės baseinas, užimantis 1 147 km². Didžiąją dalį Šušvės baseino ploto dengia dirbamos žemės plotai, kurie sudaro 77 % bendro baseino ploto, miškai dengia apie 14 %, laukai ir ganyklos apie 4 %, šlapžemės ir pelkės 3 % viso baseino ploto. Mažiausią Šušvės baseino ploto dalį sudaro urbanizuotos teritorijos ir vandens telkiniai – po 1 %. Širvintos upės baseine, užimančiame 922 km², kaip ir prieš tai minėtuose baseinuose dominuoja dirbamų žemių plotai, dengiantys 74 % bendro baseino ploto. Miškai dengia apie 15 %, laukai ir ganyklos apie 8 % Širvintos baseino ploto. Urbanizuotos teritorijos, vandens telkiniai ir pelkės su šlapžemėmis dengia tik po 1 % baseino ploto. Verknės baseine (726 km²) dirbamos žemės plotai sudaro 70 % bendro baseino ploto, miškai apie 18 %, laukai ir ganyklos apie 8 %, vandens telkiniai 2 %. Mažiausią dalį Verknės baseine sudaro urbanizuotos teritorijos ir šlapžemės – atitinkamai 1 % ir 0,3 %. Mažiausiame nagrinėjamame pagal plotą nagrinėjamame baseine – Ūlos (440 km²), kitaip nei anksčiau aptartuose upių baseinuose, didžiąją dalį baseino ploto dengia miškai, sudarantys 77 % bendro baseino ploto. Dirbami laukai šiame baseine dengia apie 13 %, laukai ir ganyklos apie 7 %, urbanizuotos teritorijos, vandens telkiniai ir šlapžemės sudaro tik po 1 % viso baseino ploto.

3.5 lentelė. Žemėnaudų pasiskirstymas nagrinėjamų upių baseinuose.

Žemėnauda	Bartuva		Šešuvis		Šušvė		Širvinta		Verknė		Ūla	
	Plotas, km ²	Dalis, %	Plotas, km ²	Dalis, %	Plotas, km ²	Dalis, %	Plotas, km ²	Dalis, %	Plotas, km ²	Dalis, %	Plotas, km ²	Dalis, %
Dirbami laukai	614	83	1448	76	887	77	685	74	508	70	56	13
Miškai, iš jų:	62	8	334	17	165	14	136	15	133	18	340	77
<i>Mišrūs</i>	25	3	77	4	69	6	68	7	47	6	34	8
<i>Lapuočiai</i>	20	3	117	6	63	5	48	5	67	9	51	11
<i>Spygliuočiai</i>	17	2	140	7	33	3	20	2	20	3	255	57
Laukai ir ganyklos	42	6	70	4	49	4	74	8	60	8	33	7
Urbanizuotos teritorijos	20	3	38	2	9	1	13	1	7	1	5	1
Pelkės ir šlapžemės	2	0	7	0	29	3	9	1	2	0	3	1
Vandens telkiniai	4	1	14	1	8	1	6	1	16	2	3	1

Visų upių baseinų teritorijose virš 70 % viso ploto užima dirbami laukai, 8 – 18 % miškai, 4 – 6 % laukai ir ganyklos, urbanizuotos teritorijos iki 3 %, o pelkės, šlapžemės ir vandens telkiniai iki 2,5 %. Išimtis – Ūlos baseinas, kuriame net 77 % užima miškai, dirbami laukai tik 13 %. Likusių žemėnaudų pasiskirstymas panašus į kitų upių baseinų.

Nuogulos nagrinėjamuose upių baseinuose vertintos naudojant Kvartero nuogulų žemėlapi iš geoportal.lt. Sudaryti žemėlapiai pateikti 3.6 pav. (detalūs kiekvieno baseino žemėlapiai pateikti 7–12 priede), procentinė sudėtis pateikta 3.6 lentelėje.



3.6 pav. Nagrinėjamų upių baseinų nuogulų pasiskirstymas (a–Bartuvos, b–Verknės, c–Ūlos, d–Šešuvio, e–Šušvės, f–Širvintos upių baseinai)

Bartuvos baseine vyrauja priemolio dirvožemio plotai, sudarantys 83 % bendro baseino ploto, smėlio dirvožemio plotai apie 16 %, molio dirvožemio plotai ir durpynai tik po 1 %. Didžiąją Šešuvio baseino nuogulų dalį sudaro priemolio (52 %) ir smėlio (39 %) dirvožemio plotai. Molingi dirvožemiai sudaro 9 %, durpynai 1 %. Šušvės baseine vyrauja priemolio dirvožemiai, sudarantys 70 %, smėlingi dirvožemiai užima 21 % viso baseino ploto, molingi – 5 % ir 3 % baseino ploto užima durpynai. Didžiąją Širvintos baseino ploto užima priemolio dirvožemio plotai – 63 %. Smėlingi dirvožemiai užima 35 % baseino ploto, durpynai ir molingi dirvožemiai po 1 %. Verknės baseine vyrauja priemoli dirvožemio plotai, sudarantys 66 % baseino ploto, smėlingi užima 9 % baseino ploto, molio dirvožemio plotai 24 % ir durpynai 1 %. Kitaip nei anksčiau aptartuose upių baseinuose, Ūlos baseine didžiąją dalį ploto užima smėlingi dirvožemiai, sudarantis 75 % bendro baseino ploto. Priemolio dirvožemio plotai užima apie 20 %, durpynai 3 % ir molingi dirvožemiai sudaro tik 1 % viso baseino ploto.

3.6 lentelė. Nuogulų pasiskirstymas nagrinėjamų upių baseinuose

Nuogulos	Bartuva		Šešuvis		Šušvė		Širvinta		Verknė		Ūla	
	Plotas, km ²	Dalis, %	Plotas, km ²	Dalis, %	Plotas, km ²	Dalis, %	Plotas, km ²	Dalis, %	Plotas, km ²	Dalis, %	Plotas, km ²	Dalis, %
Priemolis	615	83	985	52	805	70	584	63	477	66	89	20
Smėlis	116	16	741	39	243	21	321	35	64	9	331	75
Molis	6	1	174	9	62	5	8	1	177	24	4	1
Durpės	6	1	11	1	36	3	9	1	8	1	15	3

Daugumos baseinų teritorijose dominuoja priemolis, užimantis 52 – 83 %. Tarp vyraujančių nuogulų smėlis dominuoja tik Ūlos baseine. Smėlis paprastai sudaro 9–39 %, molis iki 24 %, durpės iki 3 % (3.7 lentelė).

3.7 lentelė. Žemėnaudų pasiskirstymas nuogulose

	Bartuva, km ²				Šešuvis, km ²				Šušvė, km ²			
	Priemolis	Smėlis	Molis	Durpės	Priemolis	Smėlis	Molis	Durpės	Priemolis	Smėlis	Molis	Durpės
Dirbami laukai	552	59	2	1	820	501	127	0	680	153	53	1
Mišrūs miškai	11	12	1	1	32	40	4	1	36	28	3	2
Lapuočių miškai	7	12	1	0	36	69	9	2	32	27	2	1
Spygliuočių miškai	2	14	0	1	19	110	11	0	8	23	1	1
Laukai ir ganyklos	39	3	0	0	34	15	20	1	36	9	1	3
Urbanizuotos teritorijos	17	2	1	0	31	6	1	0	7	1	0	0
Pelkės ir šlapžemės	0	0	0	2	0	0	0	6	1	1	1	26
Vandens telkiniai	1	1	1	1	13	0	1	0	6	0	0	2
	Širvinta, km ²				Verknė, km ²				Ūla, km ²			
	Priemolis	Smėlis	Molis	Durpės	Priemolis	Smėlis	Molis	Durpės	Priemolis	Smėlis	Molis	Durpės
Dirbami laukai	477	203	5	0	314	34	160	0	45	10	1	0
Mišrūs miškai	14	53	1	0	35	7	4	1	4	27	1	1
Lapuočių miškai	12	35	1	0	50	10	5	1	5	43	1	2
Spygliuočių miškai	5	15	0	0	15	3	2	0	26	222	0	8
Laukai ir ganyklos	59	13	0	1	45	9	5	1	5	26	0	1
Urbanizuotos teritorijos	10	2	1	0	5	1	1	0	2	2	1	0
Pelkės ir šlapžemės	1	0	0	7	0	0	0	2	0	0	0	3
Vandens telkiniai	3	0	2	0	2	0	12	2	0	0	2	1

Nagrinėjamuose baseinuose didžioji dalis dirbamų laukų yra priemolio dirvožemio plotuose – net 57 – 90 %. Didesnioji dalis miškų plyti smėlingose nuogulose, kiek mažesnė – priemolio dirvožemio plotuose. Spygliuočiai miškai vyrauja smėlinguose dirvožemiuose, lapuočiai – priemolio dirvožemio plotuose. Laukai ir ganyklos visuose baseinuose paplitę priemolio dirvožemio plotuose, išskyrus Ūlos, kurioje laukai ir ganyklos vyrauja smėlingose nuogulose. Urbanizuotos teritorijos išvystytos daugiausia priemolio dirvožemio plotuose, pelkės ir šlapžemės plyti durpingose žemėse, vandens telkiniai – molingose.

Apibendrinant:

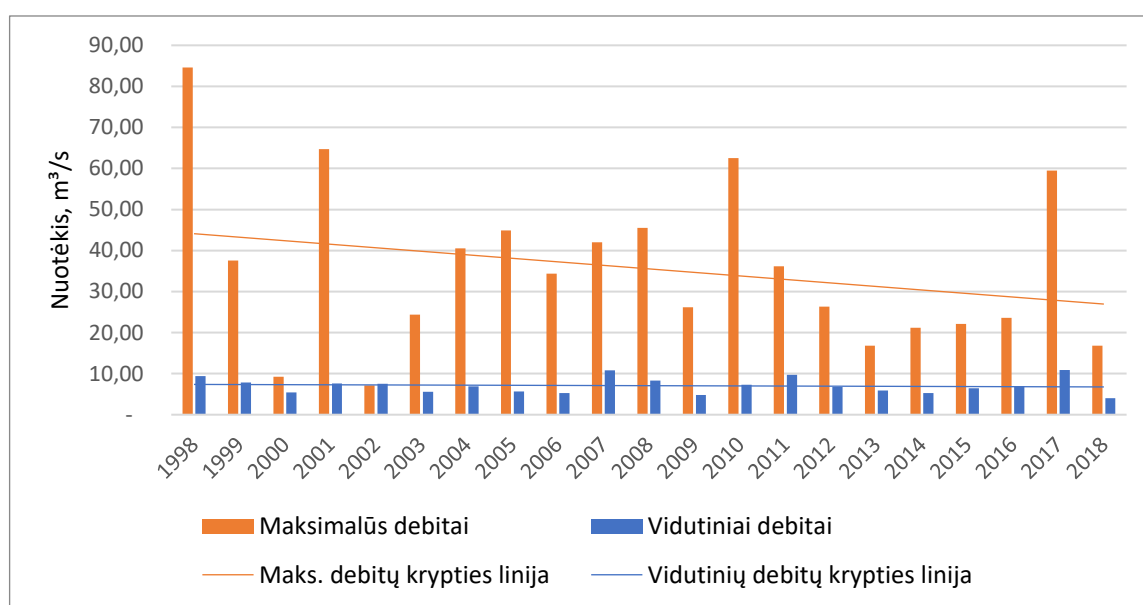
- Nustatyta, kad nagrinėjamų upių baseinuose dominuoja priemolio dirvožemių plotai, dengiantys iki 83 % upių baseinų ploto, smėlingi dirvožemiai dengia iki 35 %, molingi dirvožemiai – iki 9 % viso baseino ploto. Išskirtiniai nustatyti Verknės ir Ūlos upių baseinai. Verknės baseine net 24 % baseino dengia molio dirvožemio plotai, Ūlos baseine smėlingi dirvožemiai sudaro didžiausią nuogulų dalį – apie 75 %.

- Lyginant nagrinėjamų upių baseinuose vyraujančias žemėnaudas matoma, jog dirbama žemė sudaro didžiausią dalį baseinų ploto, net iki 83 %, miškai užima iki 18 % ploto, laukai ir ganyklos iki 8 %, urbanizuotos teritorijos iki 5 %, šlapžemės iki 3 % ir vandens telkiniai iki 1 % baseinų teritorijos. Išskirtinis yra Ūlos baseinas, kurio net 77 % užima miškai, o dirbami laukai tik 13 %.

3.3. Hidrologinių duomenų analizė

Atlikus nagrinėjamų upių maksimalių ir vidutinių debitų analizę dvidešimties (1998–2018) metų laikotarpiu matomos gana skirtingos nuotėkio kitimo tendencijos. Maksimalių bei vidutinių debitų pasikartojimų dažnumas šiuo laikotarpiu yra netolygus, Bartuvos upė išsiskiria dažniais vandens nuotėkio padidėjimais.

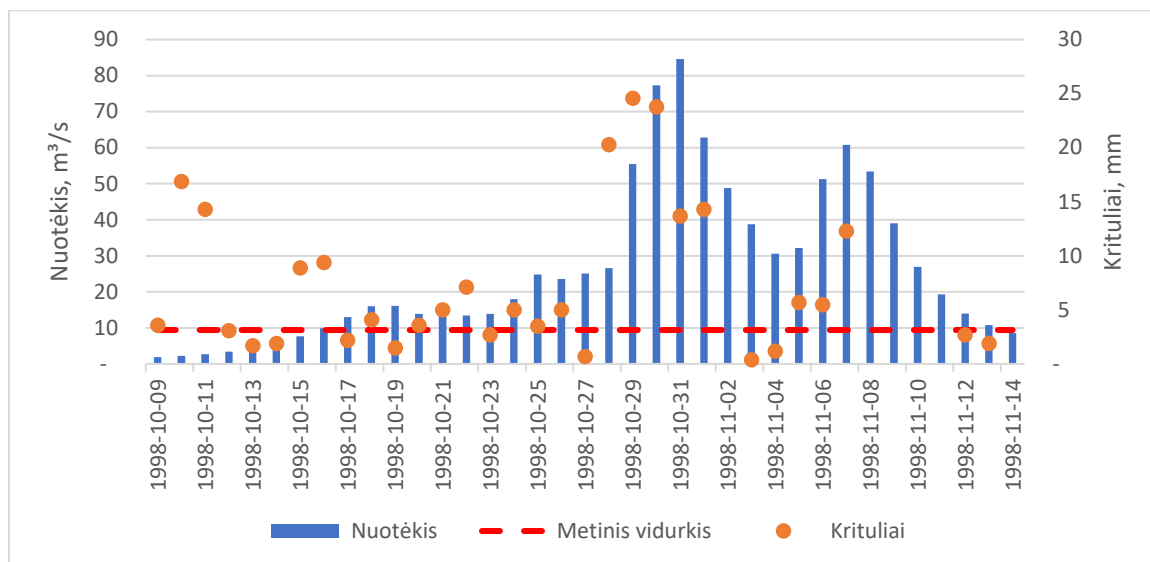
Didžiausi nuotėkiai Bartuvos upėje pastebimi 1998, 2001 ir 2010 metais, kai maksimalus debitas 8,5–9 kartus viršijo vidutinį metinį debitą (3.7 pav.).



3.7 pav. Bartuvos upės maksimalūs ir vidutiniai debitai 1998–2018 m.

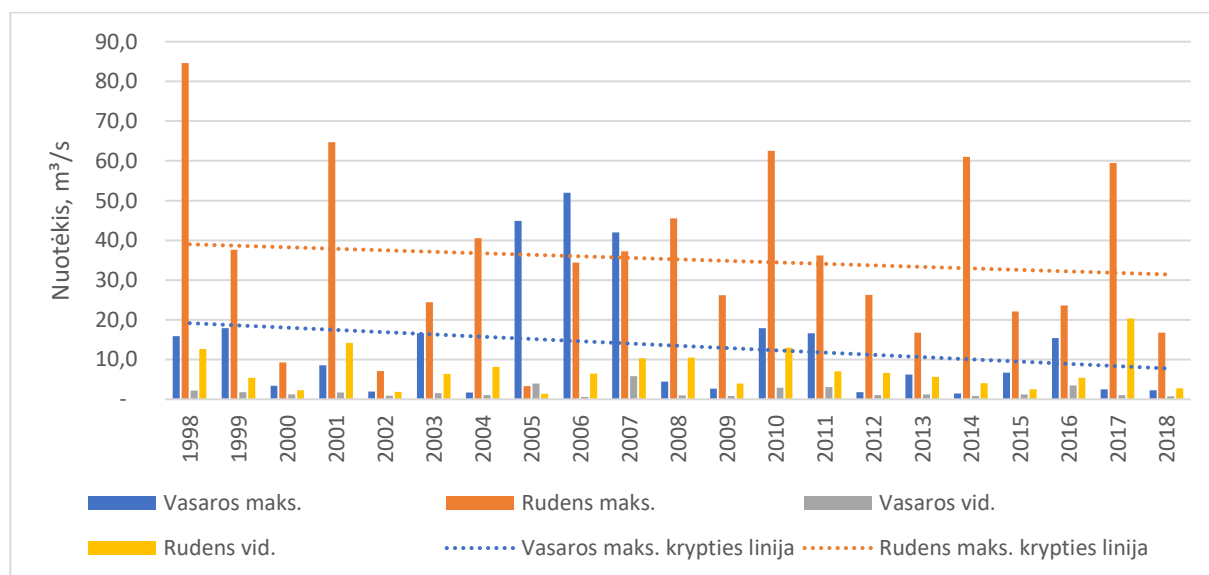
1998 metų nuotėkio maksimumas ($84,6 \text{ m}^3/\text{s}$) siejamas su Laukuvos MS fiksuotu spalio 28 d. – lapkričio 1 d., 5 paras trukusiu lietumi, kurio metu iškrito net $96,7 \text{ mm}$ kritulių. Poplūdžio trukmė – 29 dienos. Nuo 2001 m. spalio 27 d. iki lapkričio 13 d. iškritę 124 mm kritulių sukėlė poplūdį Bartuvos upėje, kuomet nuotėkis pasiekė $64,7 \text{ m}^3/\text{s}$ maksimumą lapkričio 10 d. Poplūdžio trukmė – 32 dienos. 2010 metais lapkričio 3 – 14 dienomis užsitęsęs lietus, kurio metu iškrito $82,1 \text{ mm}$ kritulių, sukėlė upės nuotėkio padidėjimą iki $62,5 \text{ m}^3/\text{s}$ lapkričio 14 d. Poplūdžio trukmė – 37 dienos (3.8 pav.).

Vandeningiausi fiksuoti 2007, 2011 ir 2017 metai, kuriais vidutinis upės vandens debitas siekė $9,7 - 10,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Visais minėtais metais Laukuvos MS fiksuotas iškritusių kritulių kiekis viršijo vidutinį metinį kritulių kiekį Lietuvoje – 789 mm , atitinkamai po 970 mm , 839 mm ir 959 mm .



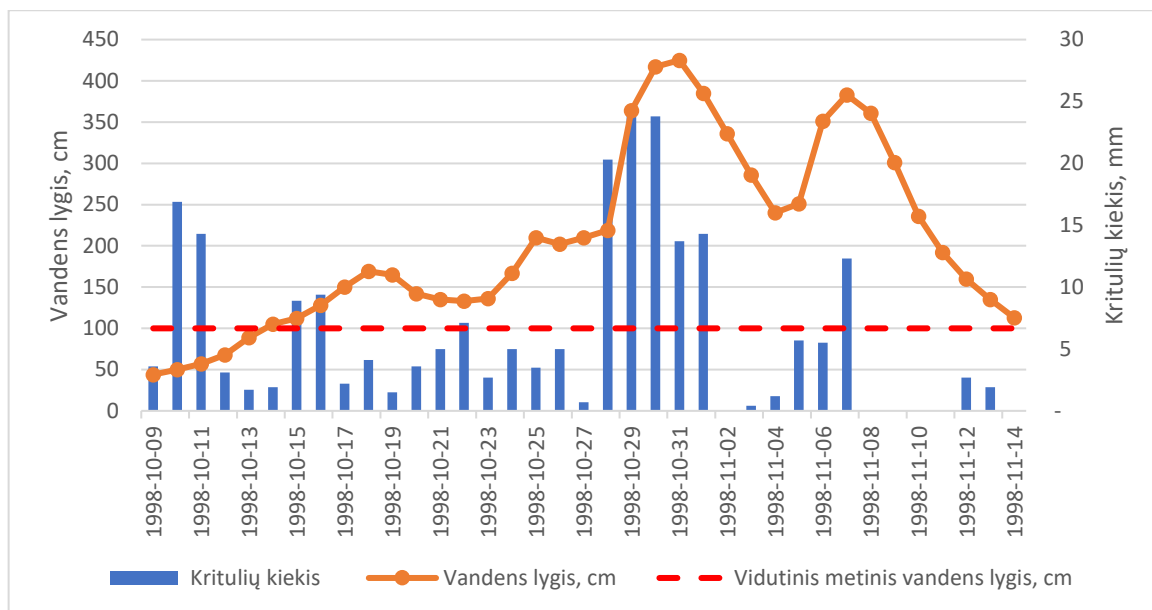
3.8 pav. Bartuvos upės 1998 m. rudens poplūdis

Dažniausiai didžiausi poplūdžiai Bartuvoje įvyksta rudens metu. Vasarą poplūdžiai fiksuoti 2005 – 2007 metais. Vandeningiausias taip pat yra ruduo, išskyrus 2005 metus, kuomet vasaros vidutinis debitas buvo 2,8 karto didesnis už rudens (3.9 pav.).



3.9 pav. Bartuvos upės vasaros ir rudens debitai

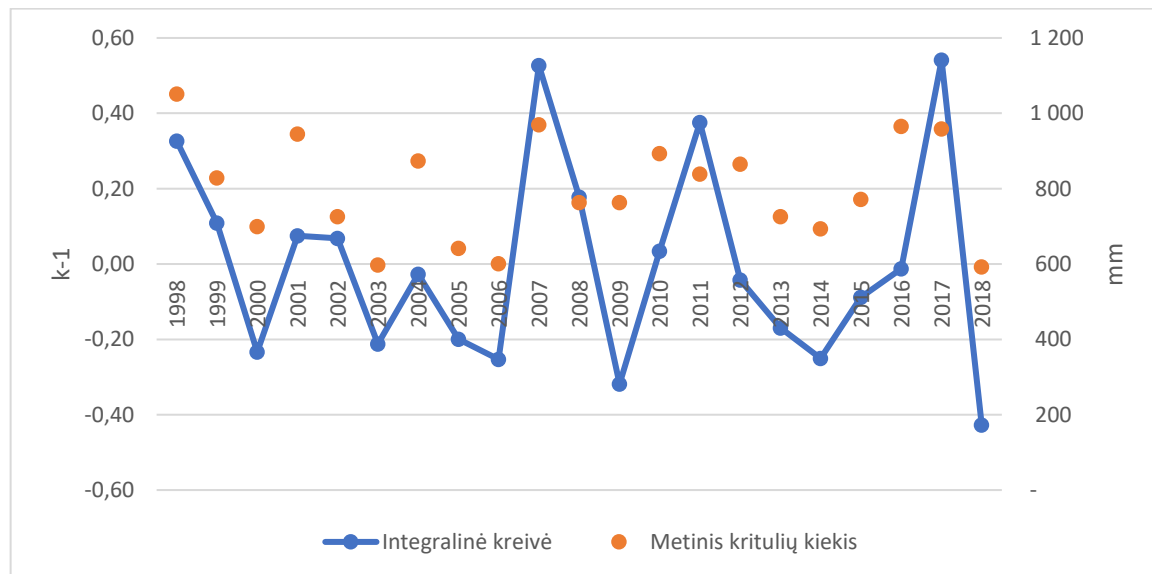
1998 metų rudens poplūdžio metu vandens lygis pakilo iki 425 cm arba net 325 cm aukščiau už tuometinį vidutinį metinį vandens lygį. Žymus vandens lygio pakilimas taip pat fiksuotas ir 2001, 2008, 2010 ir 2017 metais, atitinkamai buvęs 4,6, 4,1, 4,7 ir 3,9 karto didesnis už vidutinius metinius vandens lygius. Vandens lygio pakilimas Bartuvos upėje trunka nuo 24 dienų iki 1,5 mėnesio. Žymus, 2 kartus už vidutinį didesnis vandens lygis trunka nuo 10 iki 21 dienos (3.10 pav.).



3.10 pav. Bartuvos upės vandens lygiai poplūdžio metu

Integralinių kreivių grafikai parodo, kurioje fazėje, vandeningoje ar sausringoje, yra nagrinėjama upė. Vandeningoji fazė – tai grupė paeiliui einančių metų, kuriais nuotėkis yra didesnis už vidutinį nuotėkį, sausrų fazė – grupė mažesnių už vidutinį nuotėkį metų.

3.11 paveiksle pateikta Bartuvos upės integralinė kreivė 1998–2018 metais rodo, jog vandeningoji fazė kartojasi kas antrus / ketvirtus metus ir trunka iki dviejų metų. Taip pat matoma, jog Bartuvai esant vandeningoje fazėje Laukuvos MS fiksuojami 1,2–1,5 karto didesni kritulių kiekiai už esančius sausringoje fazėje.



3.11 pav. Bartuvos upės integralinė kreivė

Šešuvio upėje didžiausių poplūdžių metu (1998, 2007, 2017 m.) nustatytas maksimalus debitas buvo 5,6–9,4 kartus didesnis už vidutinį metinį upės debitą.

Didžiausias stebimojo laikotarpio poplūdis, įvykęs 1998 metais siejamas su Laukuvos MS nustatytu itin lietingu spalio mėnesiu, kuomet lijo 22 dienas iš eilės bei iškrito net 182,6 mm kritulių. Poplūdžio trukmė – 24 dienos. Nuo 2007 m. liepos 3 d. iki liepos 10 d. iškrito 94,2 mm kritulių sukėlė poplūdį Šešuvio upėje, kuomet nuotėkis pasiekė 131 m³/s maksimumą liepos 11 d. Poplūdžio trukmė – 10 dienų. 2017 metais spalio 3–14 dienomis užsitęsęs lietus,

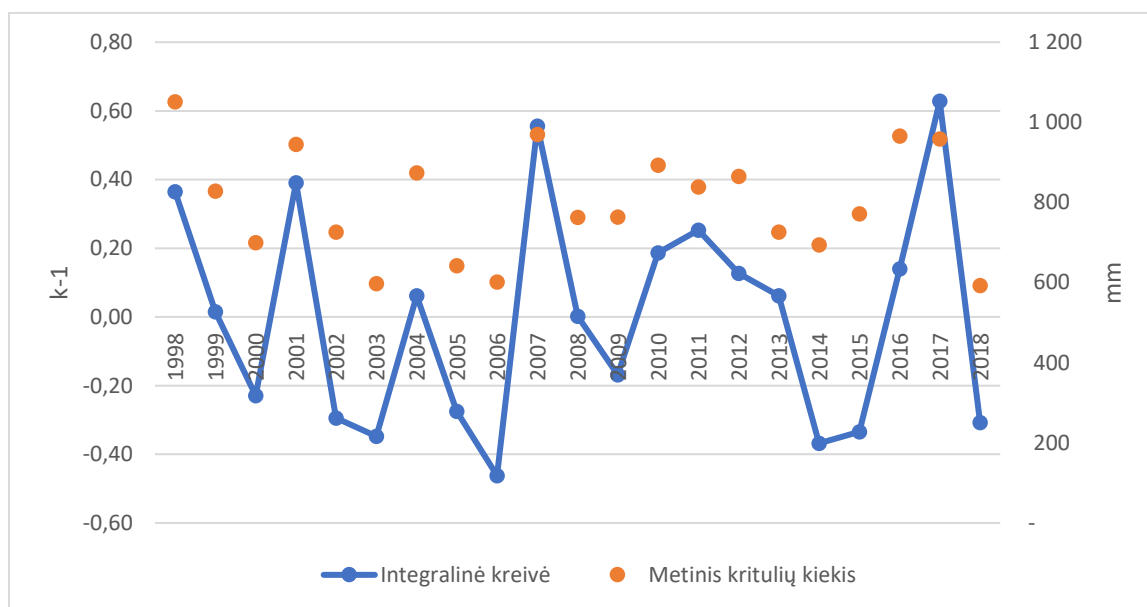
kurio metu iškrito 119,8 mm kritulių, sukėlė upės nuotėkio padidėjimą iki 130 m³/s spalio 14 d. Poplūdžio trukmė – 16 dienų.

Pačiais vandeningiausiais stebimojo laikotarpio Šešuvio metais (2001, 2007 ir 2017) vidutinis upės vandens debitas siekė 21,4–24,7 m³/s. Minėtais metais iškritusių kritulių kiekis viršijo Laukuvos MS vidutinį metinį kritulių kiekį tiriamuoju 20 metų laikotarpiu.

Rudens sezonu Šešuvio upėje nustatoma daugiausia poplūdžių, vasaromis poplūdžiai fiksuoti tik 2005 ir 2007 metais. 2017 metų poplūdis yra antras didžiausias fiksuotas 1998–2018 m. laikotarpiu. Vandeningiausias sezonas taip pat yra ruduo, išskyrus 2005 ir 2014 metus, kuomet vasaros vidutinis debitas buvo 1,2 karto didesnis už rudens.

Didžiausias, net 508 cm vandens lygio pakilimas Šešuvio upėje nustatytas 1998 metų rudens poplūdžio metu. Kiti žymūs vandens lygio pakilimai taip pat fiksuoti ir 2007, 2010, 2012 ir 2017 metais, buvę 3,4–3,7 karto didesni už tuometinius vidutinius metinius vandens lygius. Vandens lygio pakilimas Šešuvio upėje paprastai trunka nuo 11 dienų iki 2 mėnesių. Du kartus už vidutinį didesnis vandens lygis trunka nuo 7 iki 28 dienų.

Iki keturių metų trunkanti vandeningoji fazė Šešuvio upėje kartojasi kas antrus / trečius metus. Laukuvos MS nustatomi 1,1–1,25 karto didesni kritulių kiekiai Šešuviui esant vandeningoje fazėje už esančius sausringoje fazėje (3.12 pav.).



3.12 pav. Šešuvio upės integralinė kreivė

Širvintos upėje stebimuoju laikotarpiu didžiausi nuotėkiai, 3,2–3,9 kartus viršijantys vidutinį metinį debitą nustatyti 2011, 2012 ir 2017 metais.

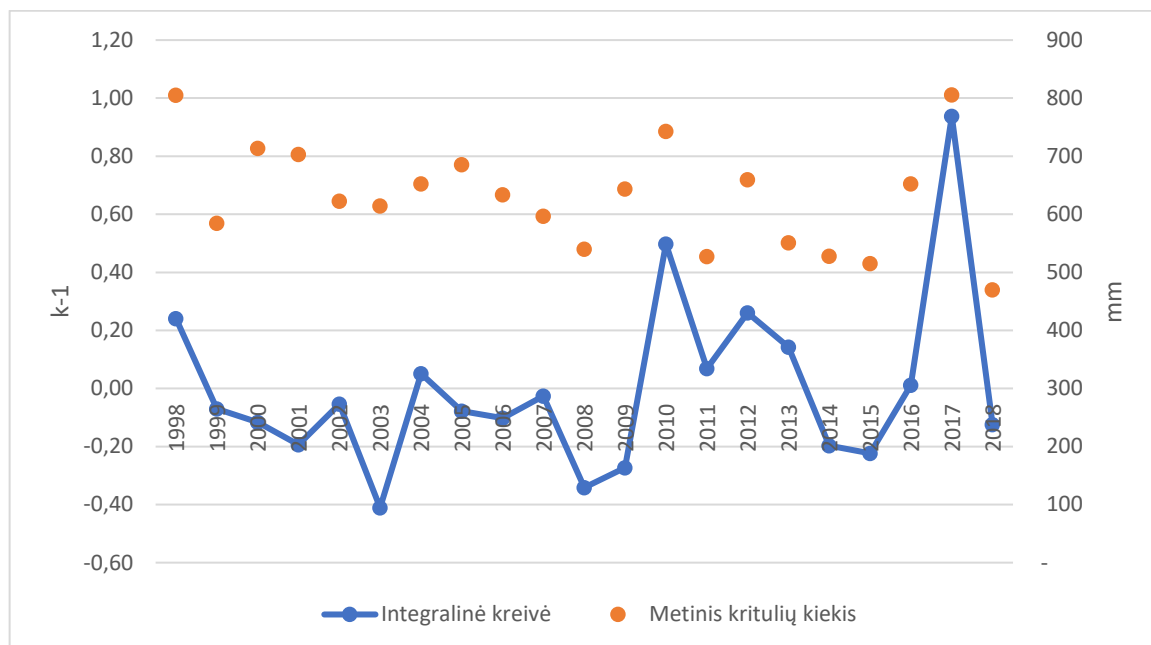
2011 m. lapkričio mėnesį per 12 dienų rytiniuose Lietuvos rajonuose iškritę 31 mm kritulių sukėlė poplūdį Širvintos upėje, kuomet nuotėkis pasiekė 24,7 m³/s maksimumą lapkričio 13 d. Poplūdžio trukmė – 15 dienų. 2012 metų nuotėkio maksimumas, pasiektas lapkričio 12 d. (28,5 m³/s), siejamas su Utenos MS fiksuotu lapkričio 2–9 d. trukusiu lietumi. Poplūdžio trukmė – 21 diena. 2017 metais spalio 26 d. – lapkričio 25 dienomis užsitęsęs lietus, kurio metu iškrito 60,2 mm kritulių, sukėlė upės nuotėkio padidėjimą iki 39,9 m³/s lapkričio 6 d. Poplūdžio trukmė – 31 diena.

Stebimojo laikotarpio vandeningiausi Širvintos upės fiksuoti 2010, 2011 ir 2017 metai, kuriais vidutinis upės vandens debitas siekė 11,3–21,1 m³/s. Minėtais metais Utenos ir Vilniaus MS iškritusių kritulių kiekis viršijo vidutinį metinį kritulių kiekį tiriamuoju 20 metų laikotarpiu.

Didžiausi poplūdžiai Širvintos upėje nustatomi tiek vasaros, tiek ir rudens sezonais. Rudeniniu poplūdžiu išsiskiria 2017 metai su didžiausiu fiksuotu poplūdžiu Širvintos upėje 1998–2018 m. Rudens sezonas yra vandeningiausias Širvintos upėje.

Širvintos upėje poplūdžių metu vandens lygiai paprastai pakyla 1,6–1,8 kartus už vidutinį metinį vandens lygį. Vandens lygio pakilimas Širvintos upėje trunka nuo 10 dienų iki 1,5 mėnesio. Tiriamuoju laikotarpiu žymių, du kartus už vidutinį didesnių vandens lygių nefiksuota.

Vandeningoji fazė Širvintos upėje kartojasi kas du / penkis metus bei gali trukti iki keturių metų. Širvintai esant vandeningoje fazėje rytiniuose šalies regionuose fiksuojami 1,1–1,3 karto didesni kritulių kiekiai už esančius sausringoje fazėje (3.13 pav.).



3.13 pav. Širvintos upės integralinė kreivė

Didžiausi poplūdžiai Šušvės upėje nustatyti 2004, 2016 ir 2017 metais, kuomet maksimalus debitas 3,6–9,5 karto viršijo vidutinį metinį debitą.

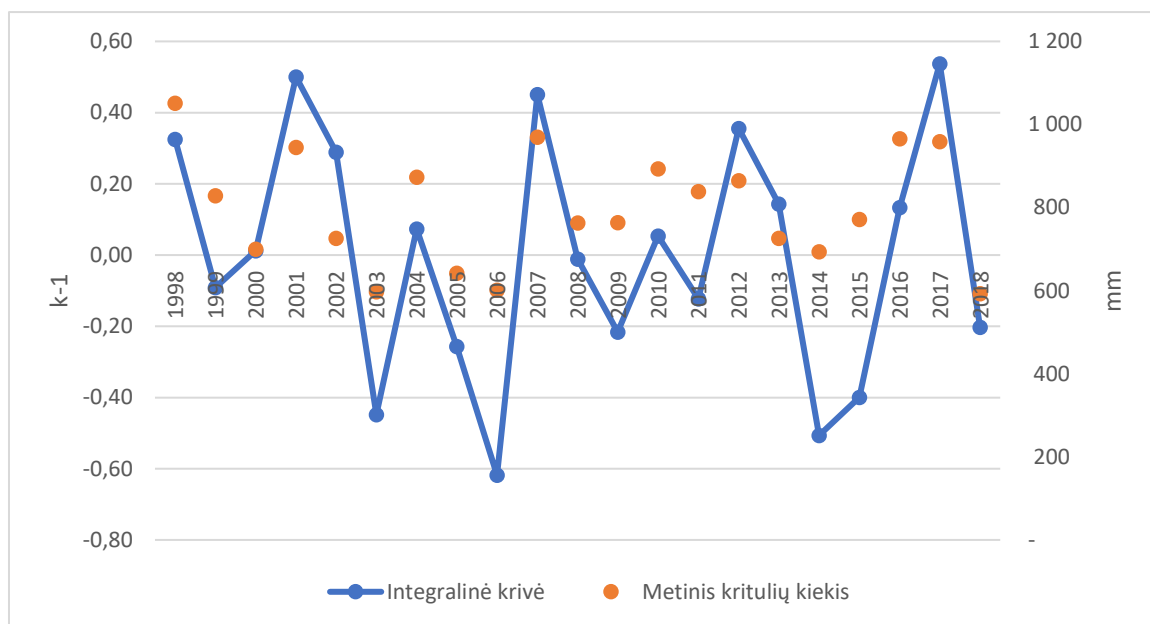
44,5 m³/s poplūdžio maksimumas 2004 metais, pasiektas lapkričio 2 d. siejamas su Laukuvos MS fiksuotu spalio 29 – lapkričio 18 d. trukusiu lietumi, kurio metu iškrito 95 mm kritulių. Poplūdžio trukmė – 21 diena. 2016 m. lietinga antroji rudens pusė sukėlė poplūdį Šušvės upėje, kuomet nuotėkis pasiekė 64,4 m³/s maksimumą lapkričio 21 d. Poplūdžio trukmė – 36 dienos (iki gruodžio 1 d.), padidėjęs nuotėkis užsitęsė ir žiemos laikotarpiu. 2017 metais rugsėjo 18 d. – spalio 27 dienomis užsitęsęs lietus, kurio metu iškrito net 197 mm kritulių, sukėlė upės nuotėkio padidėjimą iki 33,1 m³/s spalio 14 d. Poplūdžio trukmė – 40 dienų (3.23 pav.).

Vandeningiausiais metais (2001, 2007 ir 2017) vidutinis upės vandens debitas siekė 8,7–9,2 m³/s. Visais minėtais metais Laukuvos MS iškritusių kritulių kiekis viršijo vidutinį metinį kritulių kiekį tiriamuoju 20 metų laikotarpiu – 789 mm, atitinkamai po 945 mm, 970 mm ir 959 mm.

Dažniausiai poplūdžiai Šušvėje paprastai įvyksta rudens laikotarpiu. Rudeniniu poplūdžiu išsiskiria 2016 metai su didžiausiu fiksuotu poplūdžiu (64,4 m³/s) Šušvės upėje 1998-2018 m. Vandeningiausias laikotarpis yra ruduo, kuomet vidutinis nuotėkis yra 2-5 kartus didesnis nei vasaros.

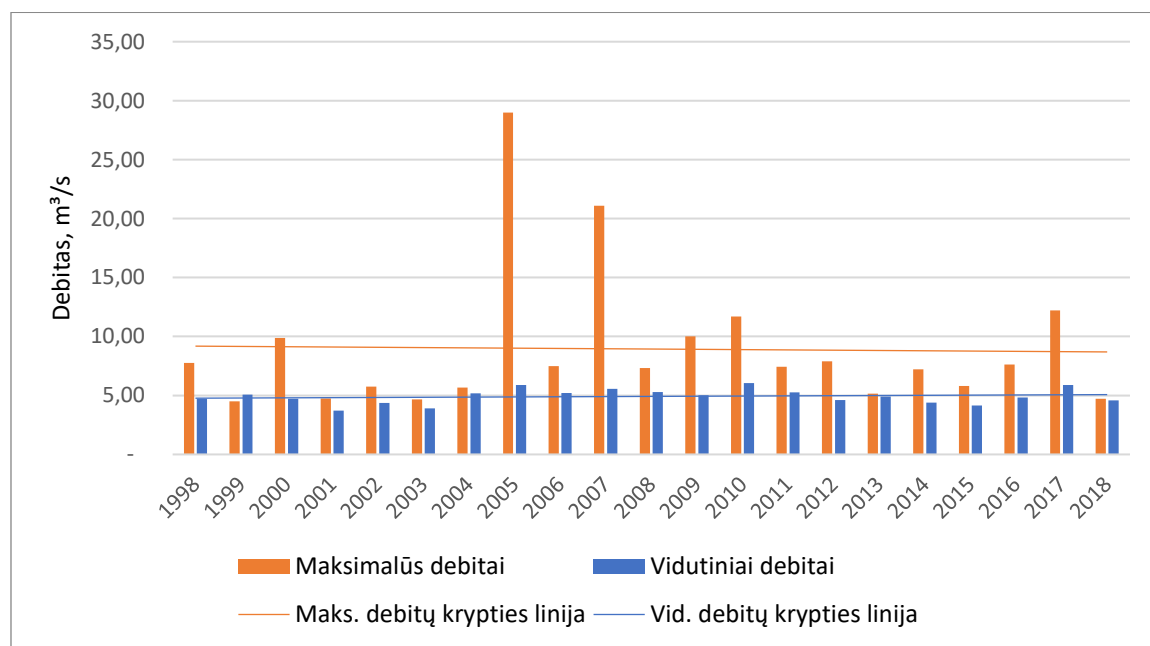
2004 metų rudens poplūdžio metu vandens lygis pakilo iki 173 cm arba 154 cm aukščiau už tuometinį vidutinį metinį vandens lygį. Žymus vandens lygio pakilimas taip pat fiksuotas ir 2001, 2007, 2016 ir 2017 metais, buvęs 3,2–8,4 karto didesnis už vidutinius metinius vandens lygius. Žymus vandens lygio pakilimas Šušvės upėje trunka nuo 25 dienų iki 1,5–2 mėnesių.

Iki dviejų metų trunkanti Šušvės upės vandeningoji fazė kartojasi kas vienus / du metus. Laukuvos MS nustatomi 1,2–1,5 karto didesni kritulių kiekiai Šušvei esant vandeningoje fazėje už esančius sausringoje fazėje (3.14 pav.).



3.14 pav. Šušvės upės integralinė kreivė

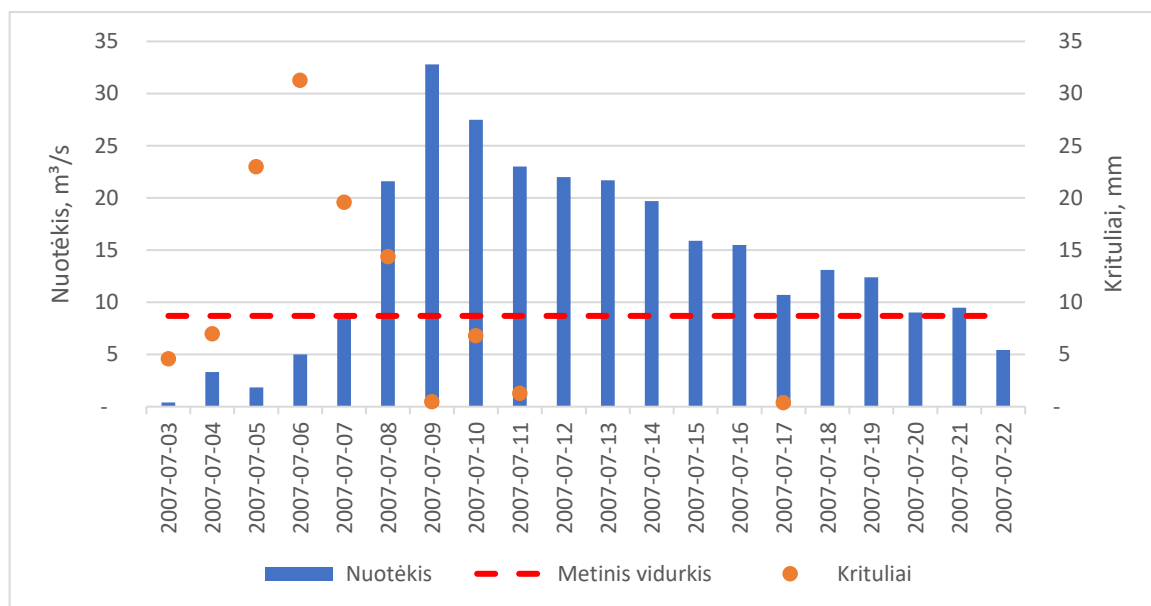
Ūlos upėje 2005 m. poplūdžio metu pasiektas nuotėkis buvo 5,2 karto didesnis už vidutinį vandens debitą (3.15 pav).



3.15 pav. Ūlos upės maksimalūs ir vidutiniai debitai 1998-2018 m.

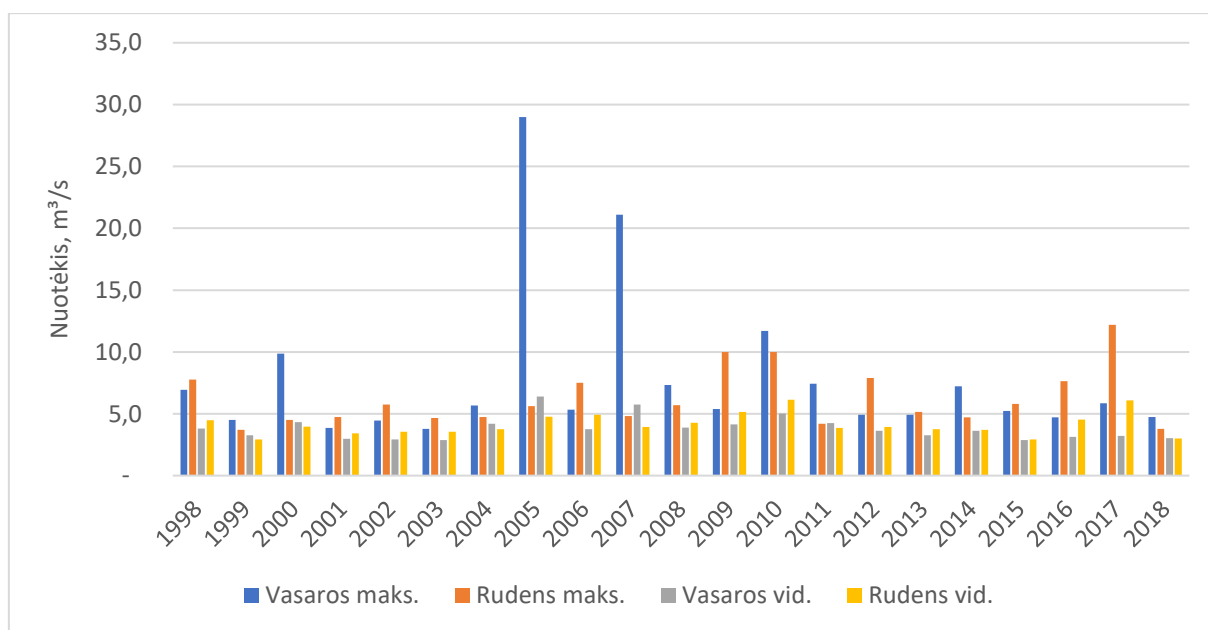
21-ą dieną trukęs poplūdis Ūlos upėje savo maksimalų nuotėkį ($29 \text{ m}^3/\text{s}$) pasiekė 2005 m. rugpjūčio 3 d. Poplūdžio trukmė – 21 dieną. 2007 metų nuotėkio maksimumas, pasiektas liepos 11 d. ($21,1 \text{ m}^3/\text{s}$), siejamas su Varėnos MS fiksuotu liepos 3–11 d. trukusiu intensyviu lietumi, kuomet iškrito 109 mm lietaus. Poplūdžio trukmė – 17 dienų. 2017 metais nuo spalio 8 d. prasidėję rudeniniai lietūs sukėlė upės nuotėkio padidėjimą iki $12,2 \text{ m}^3/\text{s}$ lapkričio 5–6 d. Poplūdžio trukmė – 52 dienos (iki gruodžio 1 d.), padidėjęs nuotėkis užsitęsė ir žiemos laikotarpiu (3.16 pav).

Ūlos upės vandeningumas visu stebėtu laikotarpiu svyruoja labai nežymiai, siekia $\sim 5 \text{ m}^3/\text{s}$. Patys vandeningiausi fiksuoti 2005, 2010 ir 2017 metai, kuriais vidutinis upės vandens debitas siekė $5,9\text{--}6,1 \text{ m}^3/\text{s}$.



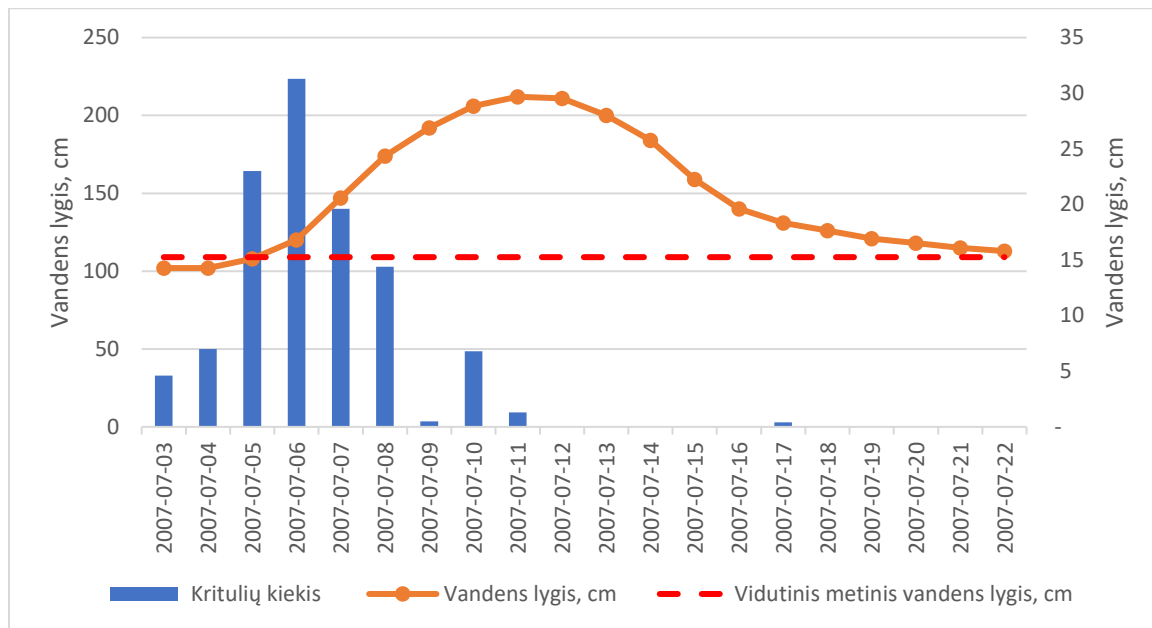
3.16 pav. Ūlos upės 2007 m. vasaros poplūdis

Didžiausi poplūdžiai Ūloje pastebimi tiek vasarą, tiek ir rudenį. Vasaros sezonu nustatyti net trys didžiausi Ūlos poplūdžiai 1998–2018 m. laikotarpiu. Rudeniniu poplūdžiu išsiskiria 2017 metai. Tuo tarpu tik 1,2 karto didesnis vandeningumas fiksuojamas rudenį (3.17 pav.).



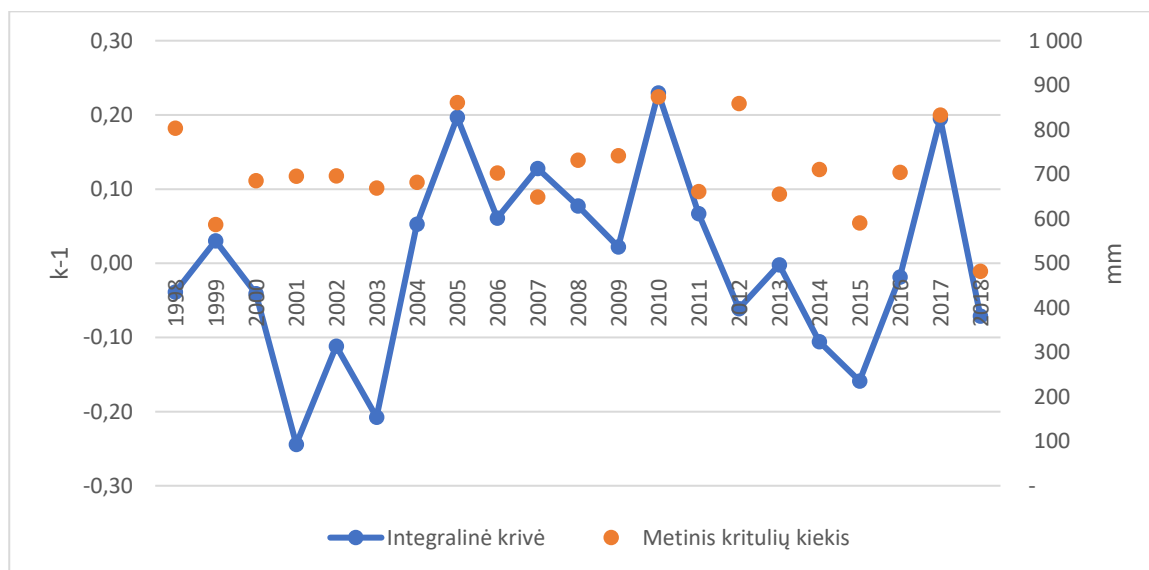
3.17 pav. Ūlos upės vasaros ir rudens nuotėkiai

Vandens lygis Ūlos upėje poplūdžių metu paprastai pakyla apie 1,5 karto. Vandens lygio pakilimas Ūlos upėje trunka nuo 9 dienų iki 1,5 mėnesio. Tiriamuoju laikotarpiu žymių, 2 kartus už vidutinį didesnių vandens lygių nefiksuota (3.18 pav.).



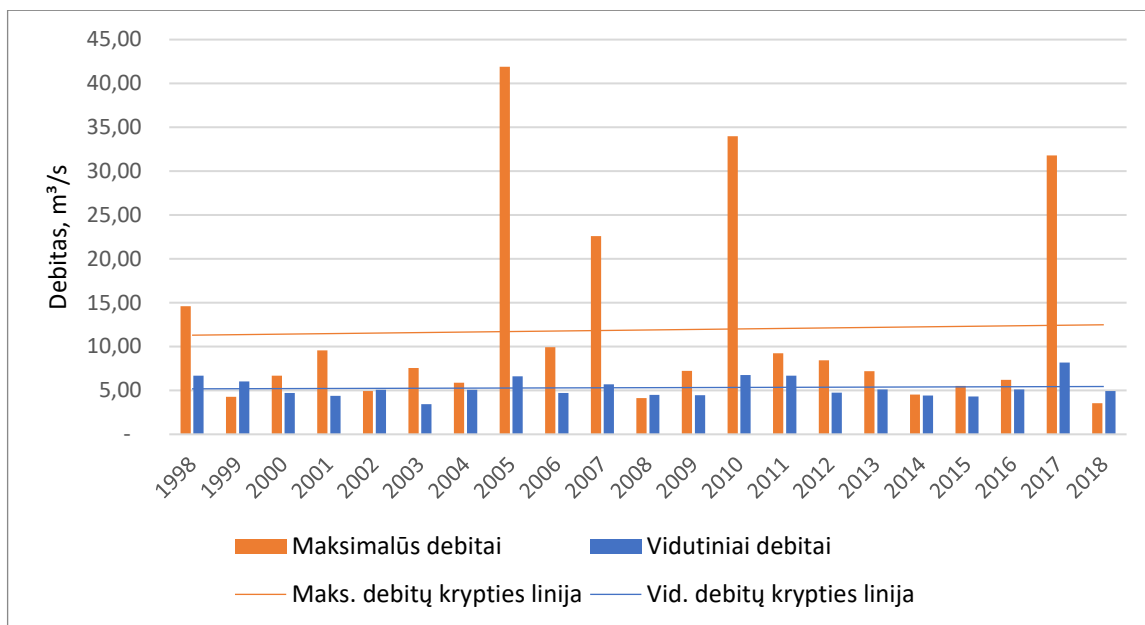
3.18 pav. Ūlos upės vandens lygiai poplūdžio metu

Ūlos upės vandeningoji fazė, galinti trukti net iki septynių metų, kartojasi kas keturis / penkis metus. Varėnos MS nustatomi 1,2–1,3 karto didesni kritulių kiekiai Ūlai esant vandeningoje fazėje už esančius sausringoje fazėje (3.19 pav.).



3.19 pav. Ūlos upės integralinė kreivė

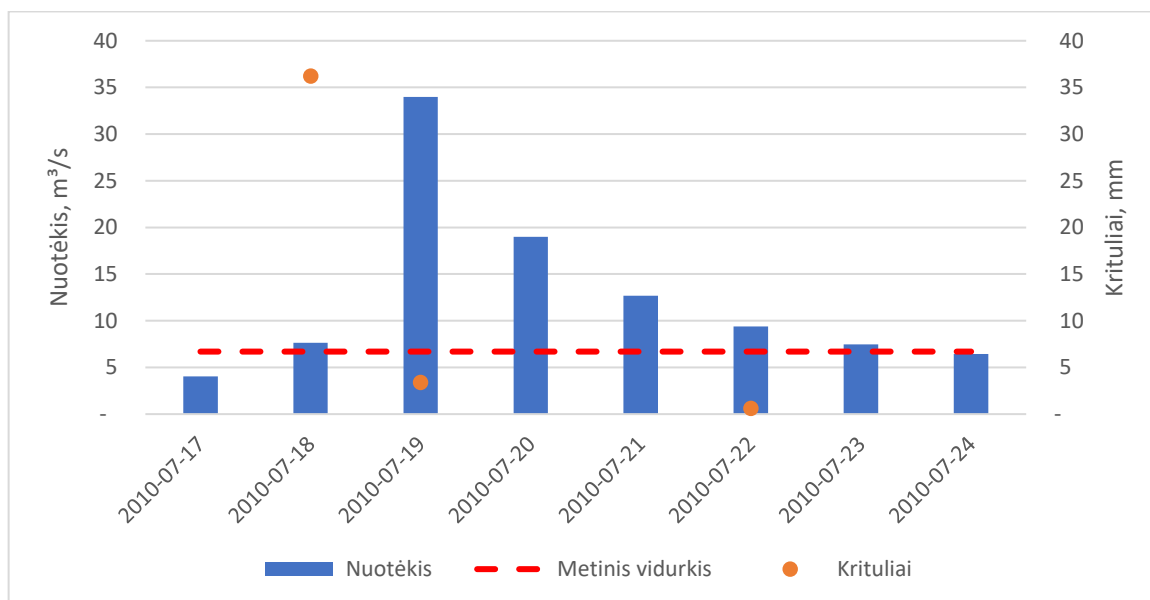
Verknės upėje poplūdžių metu didžiausi nuotėkiai nustatyti 2005, 2010 ir 2017 metais, kuomet maksimalus debitas 3,9–6,3 kartus viršijo vidutinį metinį debitą (3.20 pav.).



3.20 pav. Verknės upės maksimalūs ir vidutiniai debitai 1998-2018 m.

2005 m. birželio 5–11 d. trukęs lietus sukėlė poplūdį Verknės upėje, kuomet nuotėkis pasiekė 41,9 m³/s maksimumą birželio 9 d. Poplūdžio trukmė – 10 dienų. 2010 metų nuotėkio maksimumas, pasiektas liepos 19 d. (34 m³/s), siejamas su Varėnos MS fiksuota liepos 18 d. vykusia liūtimi. Poplūdžio trukmė – 6 dienos. 2017 metais liepos 11–13 dienomis užsitęsęs stiprus lietus sukėlė upės nuotėkio padidėjimą iki 31,8 m³/s liepos 14 d. Poplūdžio trukmė – 8 dienos (3.21 pav.).

Vandeningiausi Verknės fiksuoti 2010, 2011 ir 2017 metai, kuriais vidutinis upės vandens debitas siekė 6,7–8,17 m³/s.

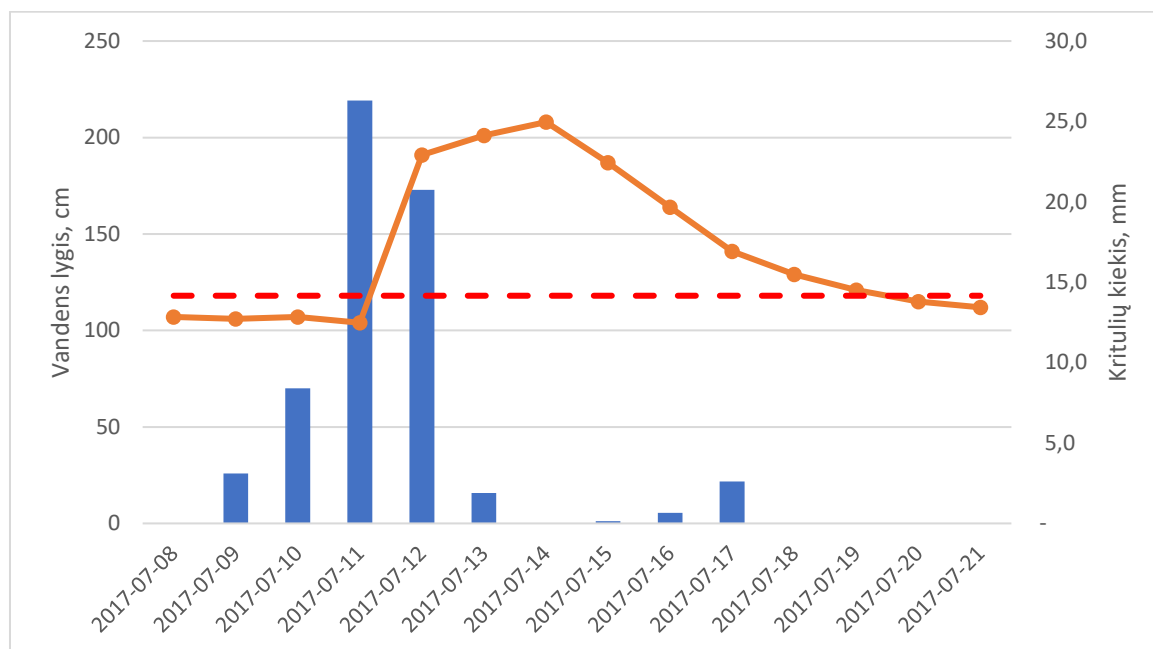


3.21 pav. Verknės upės 2017 m. vasaros poplūdis

Poplūdžiai Verknėje dažniausi pastebimi tiek vasarą, tiek rudenį. Rudens laikotarpiu 2017 m. fiksuotas didžiausias poplūdis 1998–2018 m. laikotarpiu. Vandeningiausias laikotarpis paprastai yra ruduo, tačiau rudens vidutinis debitas nuo vasaros nesiskiria daugiau kaip 2 kartus.

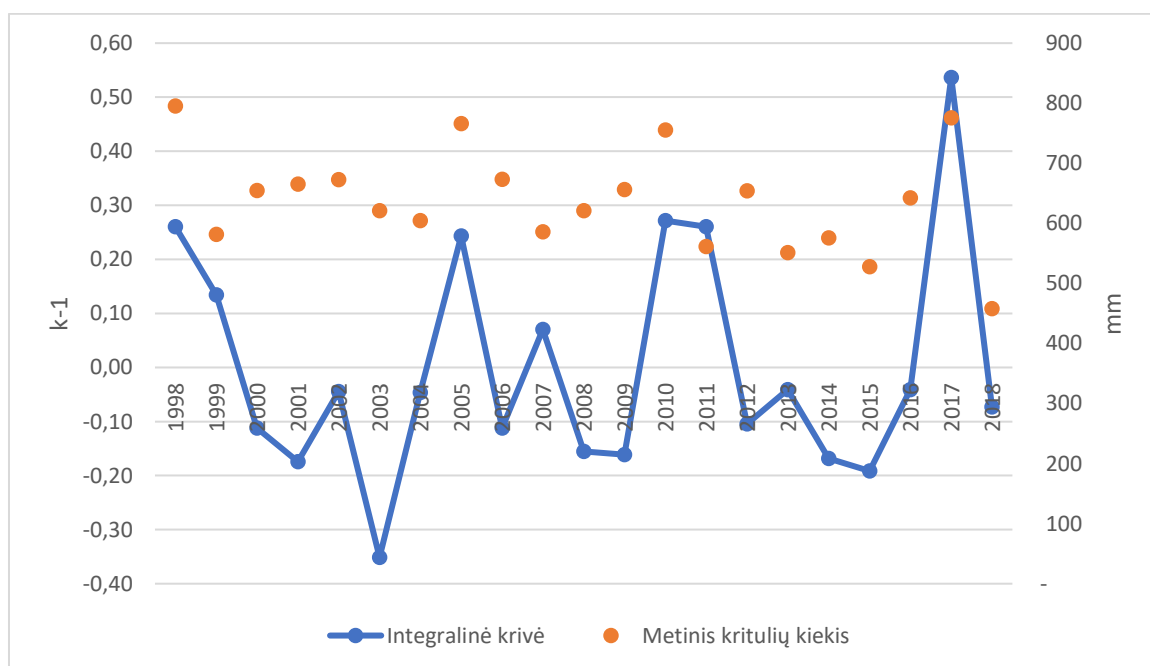
2017 metų vasaros poplūdžio metu vandens lygis pakilo iki 208 cm arba 90 cm aukščiau už tuometinį vidutinį metinį vandens lygį. Žymus vandens lygio pakilimas taip pat fiksuotas ir 1998, 2005 bei 2007 metais, buvęs 1,3–1,8 karto didesnis už vidutinius metinius vandens lygius.

Vandens lygio pakilimas Verknės upėje trunka nuo 9 dienų iki 30 dienų. Tiriamuoju laikotarpiu žymių, 2 kartus už vidutinį didesnių vandens lygių nefiksuota (3.22 pav.).



3.22 pav. Verknės upės vandens lygiai poplūdžio metu

Verknės upės vandeningoji fazė kartojasi kas tris / penkis metus bei gali trukti iki dviejų metų. Verknei esant vandeningoje fazėje Varėnos ir Vilniaus MS fiksuojami 1,1–1,3 karto didesni kritulių kiekiai už esančius sausringoje fazėje (3.23 pav.).



3.23 pav. Verknės upės integralinė kreivė

Atlikus statistinės analizės neparametrinį Mann-Kendall'io testą maksimaliems metiniams upių nuotėkiams nagrinėjamu laikotarpiu pastebima, jog visų nagrinėjamų upių maksimalių nuotėkių duomenys nėra patikimi, ką patvirtina ir Spearman'o Rho testas (3.8 lentelė).

3.8 lentelė. Mann-Kendall'io ir Spearman'o Rho testų rezultatai maksimaliems metiniams nuotėkams visu nagrinėjamu laikotarpiu

Laikotarpis	Testas	Bartuva		Šešuvis		Širvinta		Šušvė		Ūla		Verknė	
		Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas
1998-2018	Mann-Kendall'io	-1,359	NS	-0,211	NS	0,785	NS	-0,302	NS	-0,151	NS	-0,664	NS
	Spearman'o Rho	-1,307	NS	-0,227	NS	0,604	NS	-0,587	NS	0,174	NS	-0,616	NS

Atlikti Mann-Kendall'io ir Spearman'o Rho testai vidutiniams metiniams upių nuotėkams nagrinėjamu taip pat nerodo duomenų patikimumo (3.9 lentelė).

3.9 lentelė. Mann-Kendall'io ir Spearman'o Rho testų rezultatai vidutiniams metiniams nuotėkams visu nagrinėjamu laikotarpiu

Laikotarpis	Testas	Bartuva		Šešuvis		Širvinta		Šušvė		Ūla		Verknė	
		Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas
1998-2018	Mann-Kendall'io	-1,117	NS	-0,272	NS	-0,151	NS	-0,664	NS	-1,208	NS	-0,181	NS
	Spearman'o Rho	-1,034	NS	-0,314	NS	-0,052	NS	-0,552	NS	-0,877	NS	-0,035	NS

Mann-Kendall'io ir Spearman'o Rho testams nerodant duomenų patikimumo visu nagrinėjamu dvidešimties metų periodu maksimalūs ir vidutiniai upių nuotėkai skirstomi penkmečiais: 1998-2003, 2003-2008, 2008-2013 ir 2013-2018. Rezultatai pateikti 3.10 ir 3.11 lentelėse.

3.10 lentelė. Mann-Kendall'io ir Spearman'o Rho testų rezultatai maksimaliems metiniams nuotėkams penkmečiais

Laikotarpis	Testas	Bartuva		Šešuvis		Širvinta		Šušvė		Ūla		Verknė	
		Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas
1998-2003	Mann-Kendall'io	-1,127	S (0,01)	-0,376	NS	-0,376	NS	-1,127	S (0,01)	-0,376	NS	0	NS
	Spearman'o Rho	-1,134	S (0,01)	-0,319	NS	-0,319	NS	-1,342	S (0,01)	-0,575	S (0,05)	-0,319	NS
2003-2008	Mann-Kendall'io	1,503	S (0,01)	0,376	NS	0	NS	0	NS	0,751	S (0,01)	0	NS
	Spearman'o Rho	1,597	S (0,01)	0,703	S (0,01)	-0,192	NS	-0,319	NS	1,086	S (0,01)	-0,192	NS
2008-2013	Mann-Kendall'io	-1,127	S (0,01)	0	NS	0,939	S (0,01)	0,751	S (0,01)	-0,376	NS	0	NS
	Spearman'o Rho	-1,214	S (0,01)	0,319	NS	0,958	S (0,01)	0,831	S (0,01)	-0,703	S (0,01)	0,447	S (0,1)
2013-2018	Mann-Kendall'io	0	NS	0	NS	0	NS	0	NS	0,376	NS	0	NS
	Spearman'o Rho	0,192	NS	-0,064	NS	-0,319	NS	0,575	S (0,05)	0,192	NS	-0,447	S (0,1)

3.11 lentelė. Mann-Kendall'io ir Spearman'o Rho testų rezultatai vidutiniams metiniams nuotėkams penkmečiais

Laikotarpis	Testas	Bartuva		Šešuvis		Širvinta		Šušvė		Ūla		Verknė	
		Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas
1998-2003	Mann-Kendall'io	-1,503	S (0,01)	-1,503	S (0,01)	0	NS	-0,376	NS	-1,503	S (0,01)	-1,879	S (0,01)

Laiko- tarpis	Testas	Bartuva		Šešuvio		Širvinta		Šušvė		Ūla		Verknė	
		Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas	Testo statistika	Patikimumas
	Sprearman'o Rho	-1,469	S (0,01)	-1,469	S (0,01)	0,047	S (0,1)	-0,703	S (0,01)	-1,725	S (0,01)	-1,853	S (0,01)
2003-2008	Mann-Kendall'io	0,751	S (0,01)	0,376	NS	-1,879	S (0,01)	0,376	NS	1,127	S (0,01)	0	NS
	Sprearman'o Rho	1,214	S (0,01)	0,703	S (0,01)	-1,853	S (0,01)	0,703	S (0,01)	1,342	S (0,01)	0,319	NS
2008-2013	Mann-Kendall'io	-0,376	NS	0,376	NS	0,376	NS	1,127	S (0,01)	-1,127	S (0,01)	0,376	NS
	Sprearman'o Rho	-0,447	S (0,1)	0,958	S (0,01)	0,958	S (0,01)	1,469	S (0,01)	-1,469	S (0,01)	0,958	S (0,01)
2013-2018	Mann-Kendall'io	0,376	NS	0,751	S (0,01)	0	NS	0,376	NS	0	NS	0,188	NS
	Sprearman'o Rho	0,192	NS	0,831	S (0,01)	0,319	NS	0,447	S (0,1)	0,319	NS	0,703	S (0,01)

Kaip yra matoma 3.10 lentelėje, patikimiausi yra Bartuvos maksimalių nuotėkių duomenys, tik paskutinio penkmečio duomenys nėra patikimi. Nepatikimiausi yra Šešuvio upės maksimalūs nuotėkiai. Pakankamai mažas patikimų duomenų skaičius siejamas su maksimalių poplūdžių netolygumu ir dideliu skirtumu, pavyzdžiai, Šešuvio upės maksimalūs debitai 2008–2013 metų laikotarpiu svyruoja nuo 26,0 m³/s iki 84,2 m³/s, t. y. maksimalūs nuotėkiai skiriasi net 3,3 karto.

Nagrinėjant patikimus duomenis matoma, jog Bartuvos upės maksimalūs nuotėkiai pirmą ir trečią penkmečius mažėjo, antrą – didėjo. Maksimalaus nuotėkio didėjimas spartesnis nei mažėjimas. Šušvės upėje pirmą penkmetį pastebimas mažėjimas, trečią ir ketvirtą kiek mažesnis didėjimas. Maksimalaus nuotėkio didėjimo tendencija pastebima Ūlos upėje antrą penkmetį bei mažėjimo pirmą ir trečią penkmečius. Verknės upėje trečio penkmečio didėjimas tolygus ketvirto penkmečio mažėjimui.

Vidutinių nuotėkių analizė penkmečiais (3.11 lentelė) rodo, jog mažiausiai patikimi yra paskutinio penkmečio duomenys. Šio laikotarpio nuotėkių nepatikimumas siejamas su itin mažu kritulių kiekiu 2018 metais ir dėl to net iki 2,7 karto sumažėjusiu nagrinėjamų upių vidutiniu nuotėkiu.

Nagrinėjant patikimus (kurių patikimumas nėra NS) duomenis matoma, jog Bartuvos ir Ūlos upių vidutiniai nuotėkiai pirmą ir trečią penkmečius mažėjo, antrą – didėjo. Šešuvio ir Šušvės upių vidutiniai nuotėkiai nuo antro ketvirčio vis didėja. Vidutinio nuotėkio didėjimo tendencija pastebima Širvintos upėje pirmą ir trečią penkmečius bei mažėjimo antrą penkmetį. Verknės upėje trečio penkmečio didėjimas tolygus ketvirto penkmečio mažėjimui. Paskutinių dviejų penkmečių vidutinių nuotėkių didėjimo tendencija pastebima Verknės upėje.

Apibendrinant:

- Analizuojant 1998–20018 m. hidrologinius duomenis nustatyta, jog Bartuvos, Šešuvio ir Šušvės baseinuose dažniausi rudeniniai poplūdžiai, o Širvintos, Ūlos ir Verknės baseinuose poplūdžiai pastebimi tiek vasarą, tiek rudenį.

- TREND programa atlikus penkmečių upių vidutinių metinių nuotėkių analizę nustatyta, kad Bartuvos, Šešuvio, Ūlos ir Verknės upių vidutiniai nuotėkiai 1998–2003 m. laikotarpiu mažėjo (testo statistika svyruoja nuo -0,376 iki -1,879), nežymus didėjimas (+0,047) nustatytas tik Širvintos upėje. 2003–2008 m. laikotarpiu Bartuvos, Šešuvio, Šušvės ir Ūlos upėse vidutinis nuotėkis didėjo (testo statistika svyruoja nuo +0,319 iki +1,342), Širvintos

– mažėjo (-1,879). 2008–2013 metais nuotėkio mažėjimas pastebėtas Bartuvos ir Ūlos upėse (-0,447 ir -1,469 atitinkamai), paskutinio penkmečio metu didėjo visų upių nuotėkiai (iki +0,831).

• Penkmečių upių maksimalių metinių nuotėkių analizės metu nustatyta, visų nagrinėjamų upių maksimalūs poplūdžių nuotėkiai 1998–2003 m. laikotarpiu mažėjo (iki -1,342). Sekančiu, 2003–2008 m. laikotarpiu Bartuvos, Šešuvio ir Ūlos upėse maksimalus nuotėkis didėjo (testo statistika svyruoja nuo +0,703 iki +1,579), likusių – nežymiai mažėjo (iki -0,319). 2008–2013 metų laikotarpiu žymus maksimalių nuotėkių didėjimas (nuo +0,751 iki +0,958) nustatytas Širvintos ir Šušvės upėse, tuo tarpu Bartuvos upėje nustatytas iki -1,214 maksimalaus nuotėkio mažėjimas. Paskutiniu laikotarpiu maksimalaus nuotėkio didėjimas nustatytas tik Šušvės upėje.

3.4. Upių nuotėkių prognozė

Naudojant GFDL-CM3 kritulių pokyčių prognozę 2081-2100 metais, nustatyti prognozuojami kritulių kiekiai nagrinėjamose MS tiriamuoju šiltuoju vasaros-rudens sezonu. Duomenys pateikti 3.12 lentelėje.

3.12 lentelė. Prognozuojami kritulių pokyčiai ir kritulių kiekiai vasaros-rudens sezonu 2081–2100 m.

Meteorologinė stotis	RCP	2.6	4.5	6.0	8.5
Laukuva	Prognozuojamas pokytis, %	+16	+10	+12	+11
	Prognozuojamas kritulių kiekis, mm	571	541	551	546
Utena	Prognozuojamas pokytis, %	+14	+17	+14	+8
	Prognozuojamas kritulių kiekis, mm	493	506	493	467
Varėna	Prognozuojamas pokytis, %	+17	+15	+15	+10
	Prognozuojamas kritulių kiekis, mm	477	468	469	448
Vilnius	Prognozuojamas pokytis, %	+13	+16	+14	+8
	Prognozuojamas kritulių kiekis, mm	439	451	420	432

Didžiausias kritulių pokytis nustatytas esant RCP 2.6 scenarijui, kuomet, kaip prognozuojama, 2081–2100 metais Laukuvos, Utenos, Varėnos ir Vilniaus MS fiksuotas suminis kritulių kiekis birželio-lapkričio mėnesiais išaugs 15 %. Esant RCP 4.5 scenarijui, suminis keturių MS stočių kritulių kiekis išaugs 14 %, RCP 6.0 scenarijus rodo 12 %, o RCP 8.5 scenarijus – 10 % kritulių kiekio augimą šiltuoju sezonu.

Naudojant *Curve Expert 2.7* programa, suvedus nagrinėjamų upių hidrologinius duomenis gauti modeliai (2.11–2.15 formulės), jų charakteristikos (priedai Nr. 13–24) bei grafikai (3.24 ir 3.25 pav.).

Bartuvos upės vidutinio nuotėkio prognozei taikytas modelis (*Reciprocal Quadratic*):

$$y = \frac{1}{a+b \cdot x+c \cdot x^2}; \quad (2.11)$$

kur

$$a - 4,10 \times 10^{-8}$$

$$b - (-1,29 \times 10^{-5})$$

$$c - 6,13 \times 10^{-7}.$$

Bartuvos upės maksimalaus nuotėkio prognozei taikytas modelis (*Rational Model*):

$$y = \frac{a+b \cdot x}{1+c \cdot x+d \cdot x^2}; \quad (2.12)$$

kur

$$a - 376$$

$$b - 6,24$$

c – 0,02
d – $8,10 \times 10^{-5}$.

Šešuvio upės vidutinio nuotėkio prognozei taikytas 2.12 modelis (*Rational Model*)

$$y = \frac{a+b \cdot x}{1+c \cdot x+d \cdot x^2}; \quad (2.12)$$

kur

a – 292
b – 5,68
c – (–0,02)
d – $1,20 \times 10^{-3}$.

Šešuvio upės maksimalaus nuotėkio prognozei taikytas 2.12 modelis (*Rational Model*):

$$y = \frac{a+b \cdot x}{1+c \cdot x+d \cdot x^2}; \quad (2.12)$$

kur

a – 332
b – 1,45
c – $(-1,53 \times 10^{-3})$
d – $1,60 \times 10^{-5}$.

Širvintos upės vidutinio nuotėkio prognozei taikytas modelis (*Rational Model-YD*):

$$y = \frac{x}{a+b \cdot x+c \cdot x^2}; \quad (2.13)$$

kur

a – $2,82 \times 10^{-3}$
b – 0,14
c – $3,50 \times 10^{-5}$.

Širvintos upės maksimalaus nuotėkio prognozei taikytas 2.12 modelis (*Rational Model*):

$$y = \frac{a+b \cdot x}{1+c \cdot x+d \cdot x^2}; \quad (2.12)$$

kur

a – (–803)
b – 812
c – 9,32
d – 0,01.

Šušvės upės vidutinio nuotėkio prognozei taikytas modelis (*Modified Hoerl*):

$$y = a \cdot b^{1/x} \cdot x^c; \quad (2.14)$$

kur

a – 0,85
b – 1,06
c – 0,24.

Šušvės upės maksimalaus nuotėkio prognozei taikytas 2.12 modelis (*Rational Model*):

$$y = \frac{a+b \cdot x}{1+c \cdot x+d \cdot x^2}; \quad (2.12)$$

kur

a – 332
b – 14,4
c – (–0,01)
d – $3,62 \times 10^{-4}$.

Ūlos upės vidutinio nuotėkio prognozei taikytas 2.14 modelis (*Modified Hoerl*):

$$y = a \cdot b^{1/x} \cdot x^c; \quad (2.14)$$

kur

a – 639

b – $2,63 \times 10^{-3}$

c – (–0,79).

Ūlos upės maksimalaus nuotėkio prognozei taikytas modelis (*Farazdaghi-Harris-YD*):

$$y = \frac{x}{a+b \cdot x^\gamma}; \quad (2.15)$$

kur

a – 9,05

b – $2,60 \times 10^{-4}$

γ – 1,62.

Verknės upės vidutinio nuotėkio prognozei taikytas 2.14 modelis (*Modified Hoerl*):

$$y = a \cdot b^{1/x} \cdot x^c; \quad (2.14)$$

kur

a – 14,4

b – 0,69

c – (–0,20).

Verknės upės maksimalaus nuotėkio prognozei taikytas 2.15 modelis (*Farazdaghi-Harris-YD*):

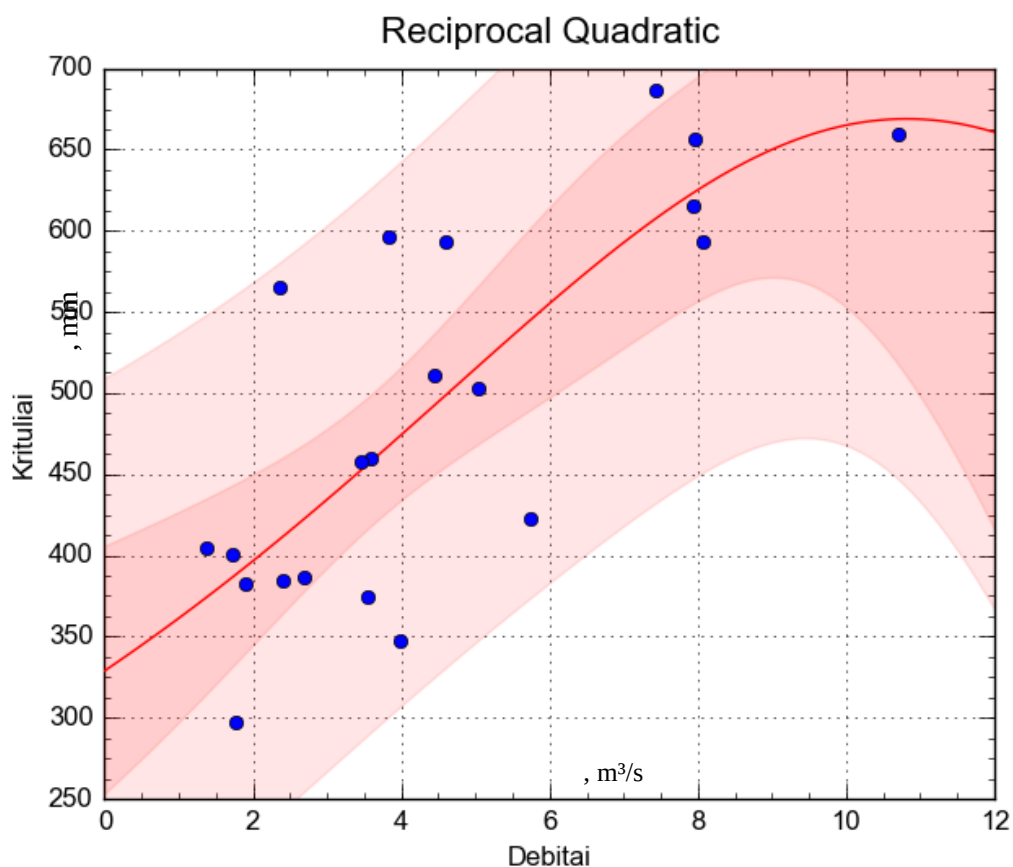
$$y = \frac{x}{a+b \cdot x^\gamma}; \quad (2.15)$$

kur

a – 6,58

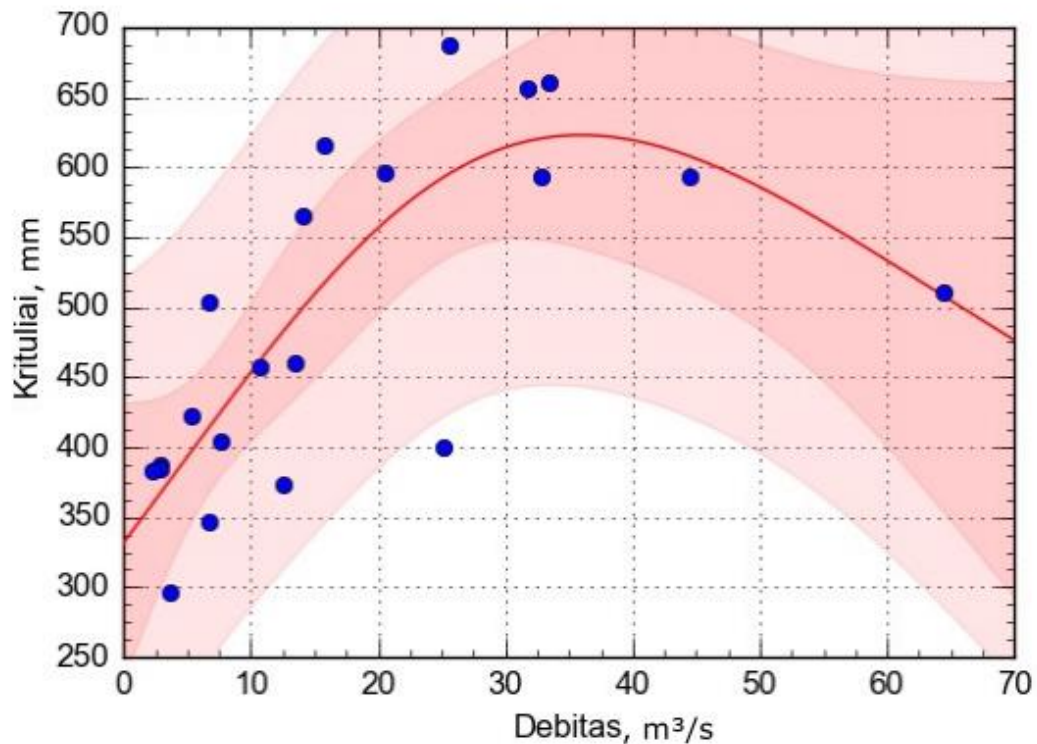
b – $1,23 \times 10^{-3}$

γ – 1,12.



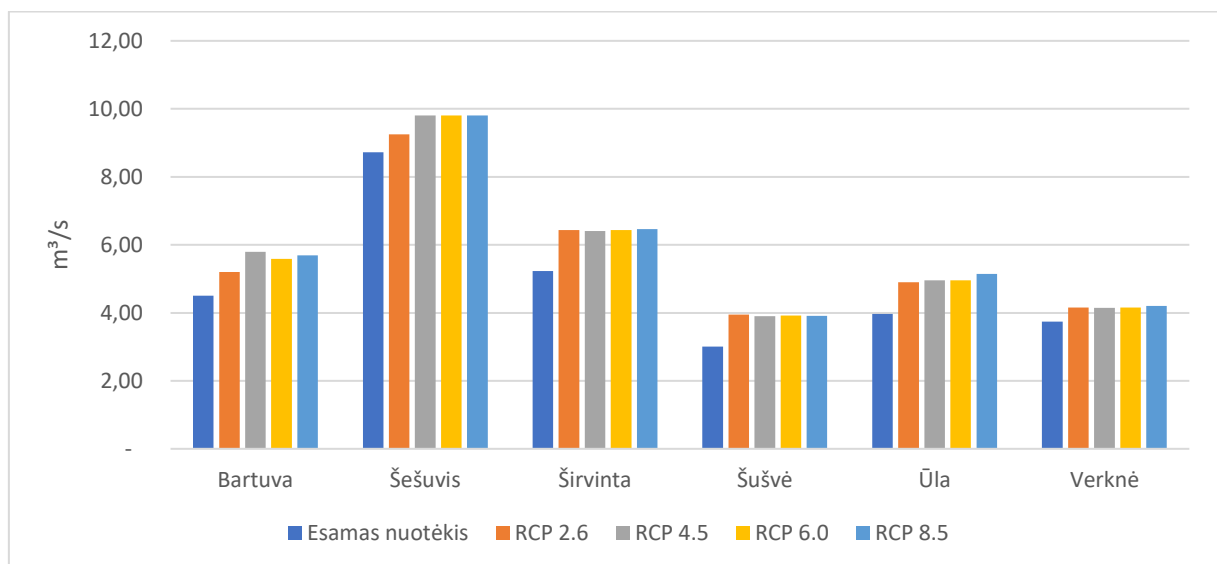
3.24 pav. Bartuvos upės vidutinių nuotėkių lygties *Reciprocal Quadratic* grafikas

Tarp Bartuvos upės vidutinių nuotėkių ir kritulių kiekio nustatytas tiesinis ryšys, t. y. kuo daugiau kritulių iškrenta, tuo didesnis vidutinis nuotėkis. Tarp Šušvės upės maksimalių nuotėkių ir kritulių kiekio ne visuomet egzistuoja tiesinis, pavyzdžiui, tiriamuoju laikotarpiu, kuomet buvo nustatyti du didžiausi Šušvės upės nuotėkio maksimumai kritulių kiekis nebuvo nustatytas didžiausias tiriamuoju laikotarpiu.



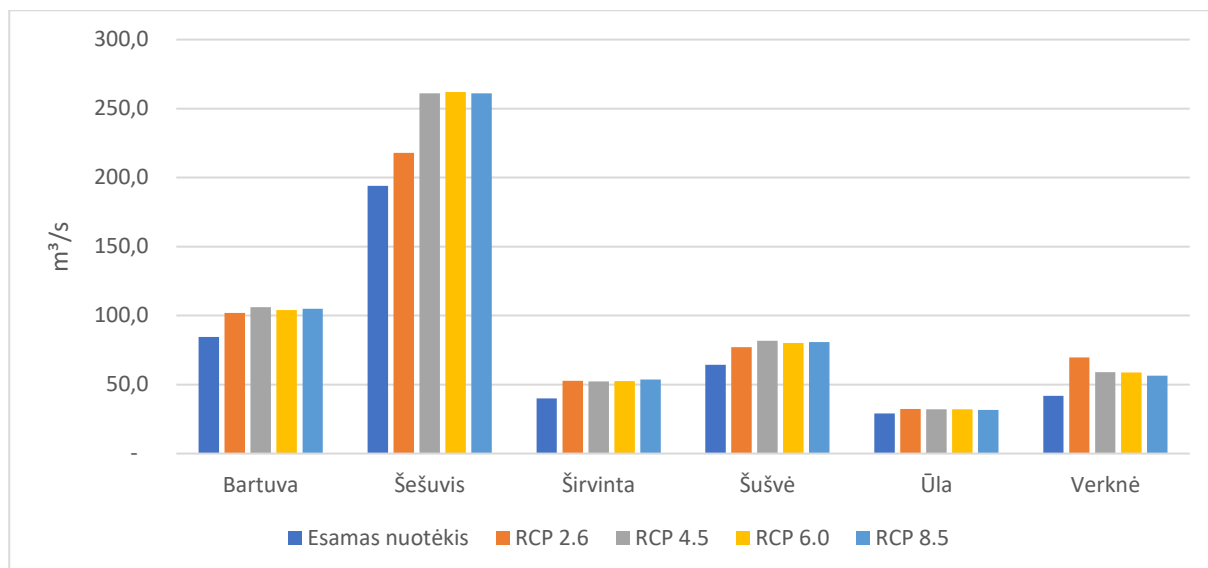
3.25 pav. Šušvės upės maksimalių nuotėkių lygties *Rational model* grafikas

Remiantis 3.14 lentelėje pateiktomis kritulių kiekio prognozėmis bei 2.2 poskyryje pateiktomis 2.11–2.15 formulėmis, apskaičiuojamos nagrinėjamų upių vidutinių bei maksimalių nuotėkių prognozės, kurios pateiktos 3.26 ir 3.27 paveiksluose.



3.26 pav. Nagrinėjamų upių prognozuojami vidutiniai nuotėkiais skirtingais scenarijais

Visais RCP scenarijais didesnis nei 30 % vidutinio nuotėkio kilimas prognozuojamas Šušvės upėje, kurios vidutinis nuotėkio išaugs iki 3,9–3,95 m³/s. Širvintos ir Ūlos upių vidutiniai nuotėkiai, kaip prognozuojama, turėtų padidėti 23–25 %, Bartuvos upės vidutiniai nuotėkiai esant RCP 4.5, 6.0 ir 8.5 scenarijais turi padidėti 24–29 %. Mažiausi vidutinio nuotėkio didėjimai, siekiantys 6–13 %, nustatyti Šešuvio ir Verknės upėse.



3.27 pav. Nagrinėjamų upių prognozuojami maksimalūs nuotėkiais skirtingais scenarijais

Atlikus poplūdžių prognozę nustatyta, jog Verknės upėje poplūdžių maksimalūs nuotėkiai 2081–2100 metais visais scenarijais bus didesni net 35–66 % palyginus su tiriamuoju laikotarpiu ir sieks 56,4–69,6 m³/s. Širvintos upėje visais scenarijais ir Šešuvio upės RCP 4.5, 6.0 ir 8.5 scenarijais maksimalūs poplūdžio nuotėkiai, kaip prognozuojama, turi didėti 31–35 %, Šušvės ir Bartuvos upėse – 20–27 %. Mažiausi maksimalūs poplūdžio nuotėkiai prognozuojami Ūlos upėje visais scenarijais ir Šešuvio upėje RCP 2.6 scenarijui, kuomet maksimalus nuotėkis turėtų didėti 9–12 %.

Apibendrinant:

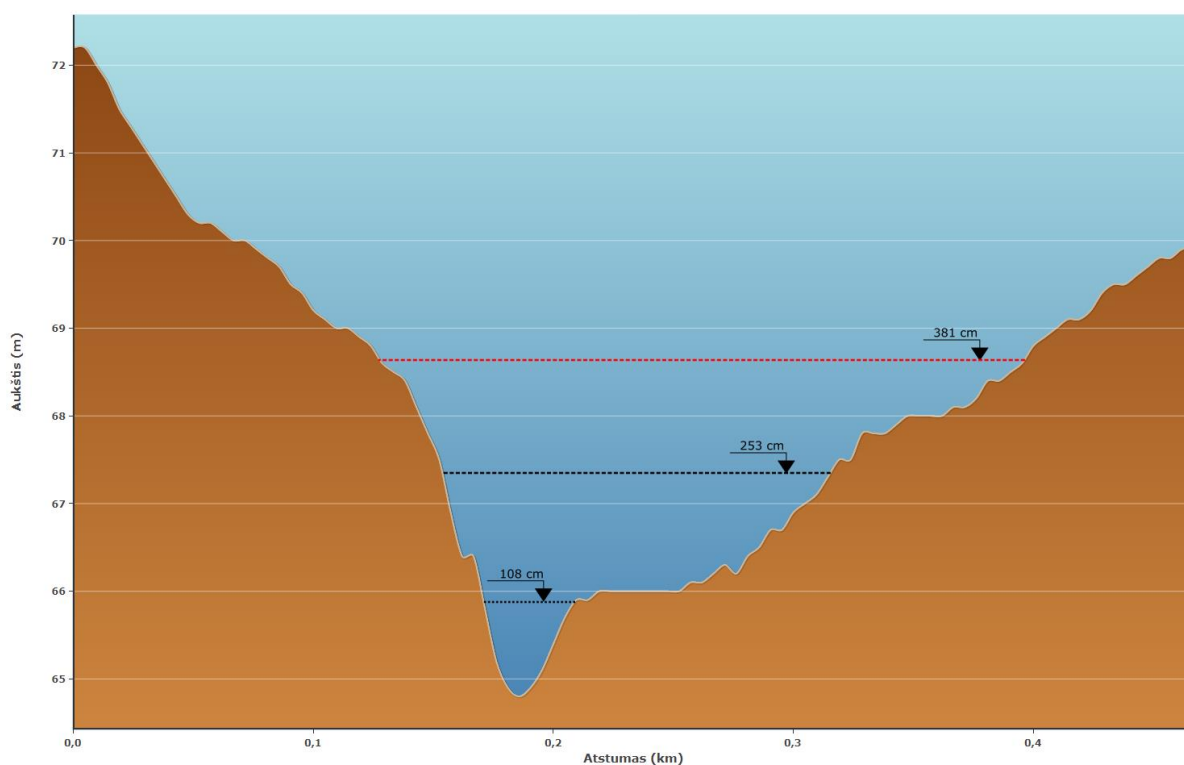
Visais RCP scenarijais prognozuojamas Bartuvos, Šešuvio, Širvintos, Šušvės, Ūlos ir Verknės vidutinių ir maksimalių poplūdžių nuotėkio didėjimas tiriamuoju birželio-lapkričio mėnesių laikotarpiu. Didžiausias vidutinis nuotėkio didėjimas (31 %) prognozuojamas Šušvės upėje bei sieks 3,95 m³/s, tuo tarpu didžiausias maksimalaus poplūdžio nuotėkio (66 %) nustatytas Verknės upėje, sieksiantis 69,9 m³/s.

4. VANDENS LYGIO ĮTAKA UPIŲ PAKRANTĖMS

Siekiant paviršinius vandens telkinius apsaugoti nuo pavojingų medžiagų patekimo į juos, apsaugoti krantus nuo erozijos ir abrazijos, užtikrinti vandens telkinių pakrančių ekosistemų stabilumą, saugoti pakrančių kraštovaizdį Lietuvos Respublikos Aplinkos ministro įsakymu patvirtintos Paviršinio vandens telkinių apsaugos zonų ir pakrančių apsaugos juostų nustatymo taisyklės. Šiose taisyklėse nustatomos (Lietuvos Respublikos Aplinkos... 2001):

- paviršinio vandens telkinio apsaugos zona – teritorija prie paviršinio vandens telkinio, kurioje ūkinė ir kita veikla leidžiama tik naudojant specialiąsias (agronomines, inžinerines ir kitas) priemones, apsaugančias vandens telkinį bei jo aplinką nuo degradacijos. Zonos dalyje prie vandens telkinio yra pakrantės apsaugos juosta;
- paviršinio vandens telkinio pakrantės apsaugos juosta – paviršinio vandens telkinio pakrantės želdynų (medžių, krūmų, daugiamečių žolių) ruožas, kuriame ūkinės ir kitos veiklos apribojimai gerokai griežtesni negu likusioje zonos dalyje.

Išskiriant vandens telkinių apsaugos zonas ir pakrančių apsaugos juostas visai neatsižvelgiama į dirvožemio ir grunto struktūrą, augalijos kiekį ir aukščiau apsaugos juostos ar zonos esančios teritorijos ūkinį naudojimą. Nekreipiamas dėmesys, kad tam tikros mechaninės sudėties gruntuose teršalai lengvai sklinda požeminiu keliu (Povilaitis et al., 2011). Taip pat nėra vertinama upių poplūdžių ir potvynių rizika bei užliejamos teritorijos.



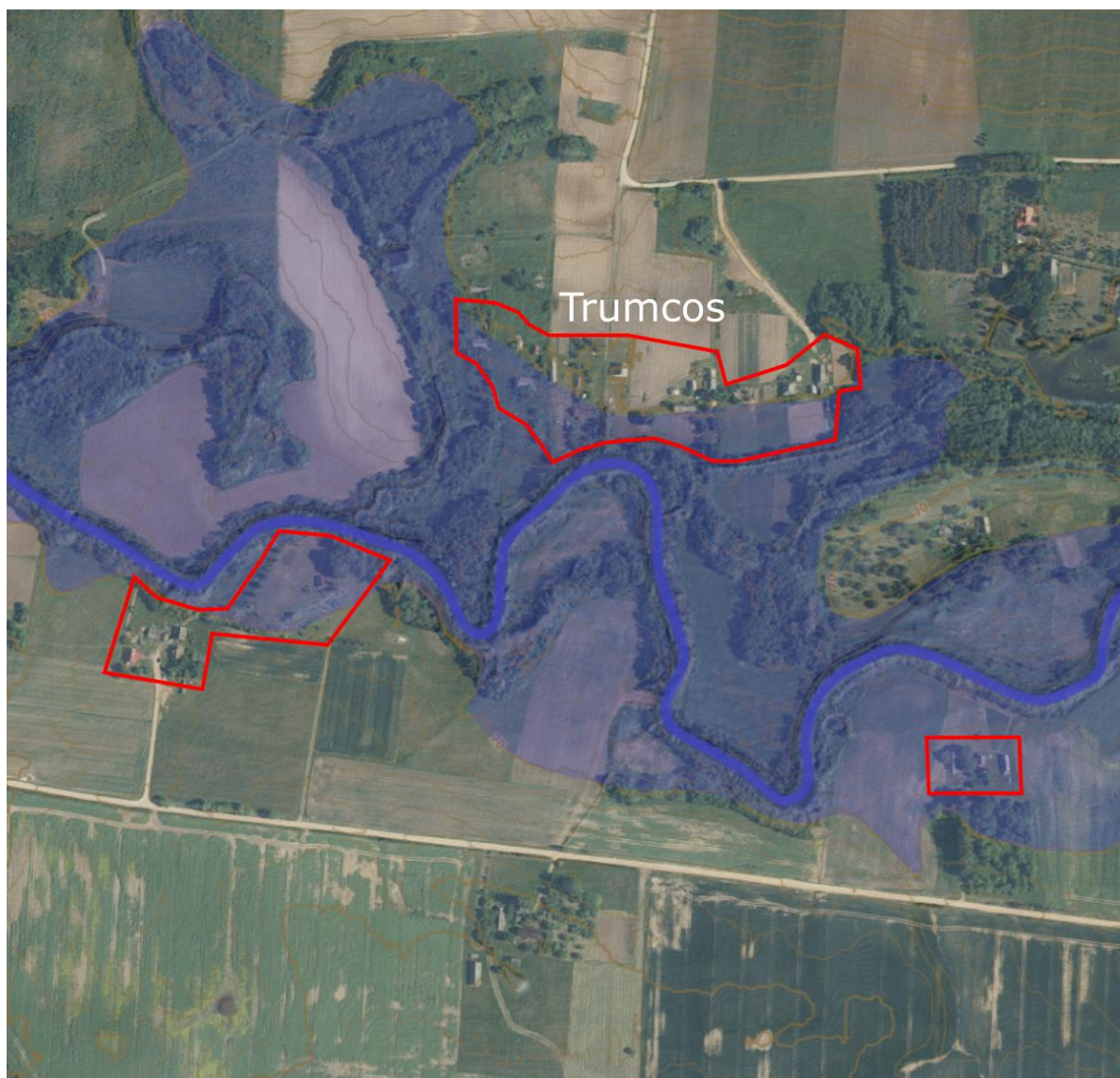
4.1 pav. Verknės upės ties Verbyliškėmis esamas vidutinis, nagrinėjamu laikotarpiu nustatytas didžiausias ir prognozuojamas didžiausias vandens lygiai

Verknės upės krantai pakankamai statūs, staigiai pakilęs vandens lygis gali paskatinti krantų eroziją (4.1 pav.).

Staigiai pakilęs upės debitas poplūdžio metu sukelia krantų erozijas. Krantų eroziją lemia daugybė geomorfinių procesų, atliekančių svarbų vaidmenį upės vagos evoliucijoje. Ji ypač pasireiškia formuojantis meandrams ir užliejamoms lygumoms, šoninei kanalo migracijai atsitraukiant krantams bei nuosėdų pernešimui baseine. Krantų erozija turi didelę reikšmę upių ekosistemoms, upių ekologijai, teršalų sklaidai ir natūralioms buveinėms, taip pat žmonių populiacijai, nes daugelis miestų centrų, žemės ūkio paskirties žemių ir ekonominės veiklos

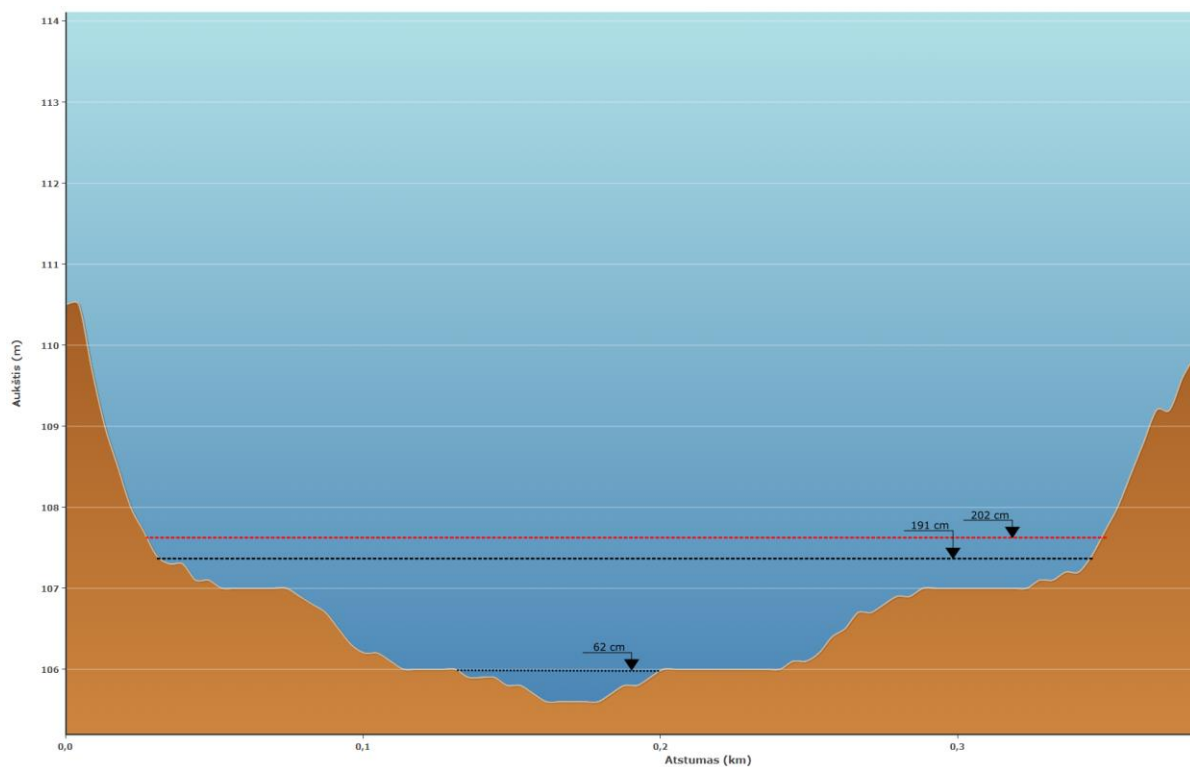
(geriamojo vandens tiekimas, žvejybos pramonė, laivų transportas, hidroenergetika ir t. t.) yra glaudžiai susiję su upėmis visame pasaulyje (Chassiot et al., 2020).

Verknės upės netoli Verbyliškių VMS prognozuojama poplūdžių metu užliejama teritorija 2081–2100 metais (4.2 pav.) daugiausia apims natūralias gamtos buveines. Dėl pakankamai stačių šlaitų gyvenamųjų sodybų bei dirbamų laukų užliejami plotai nebus dideli.



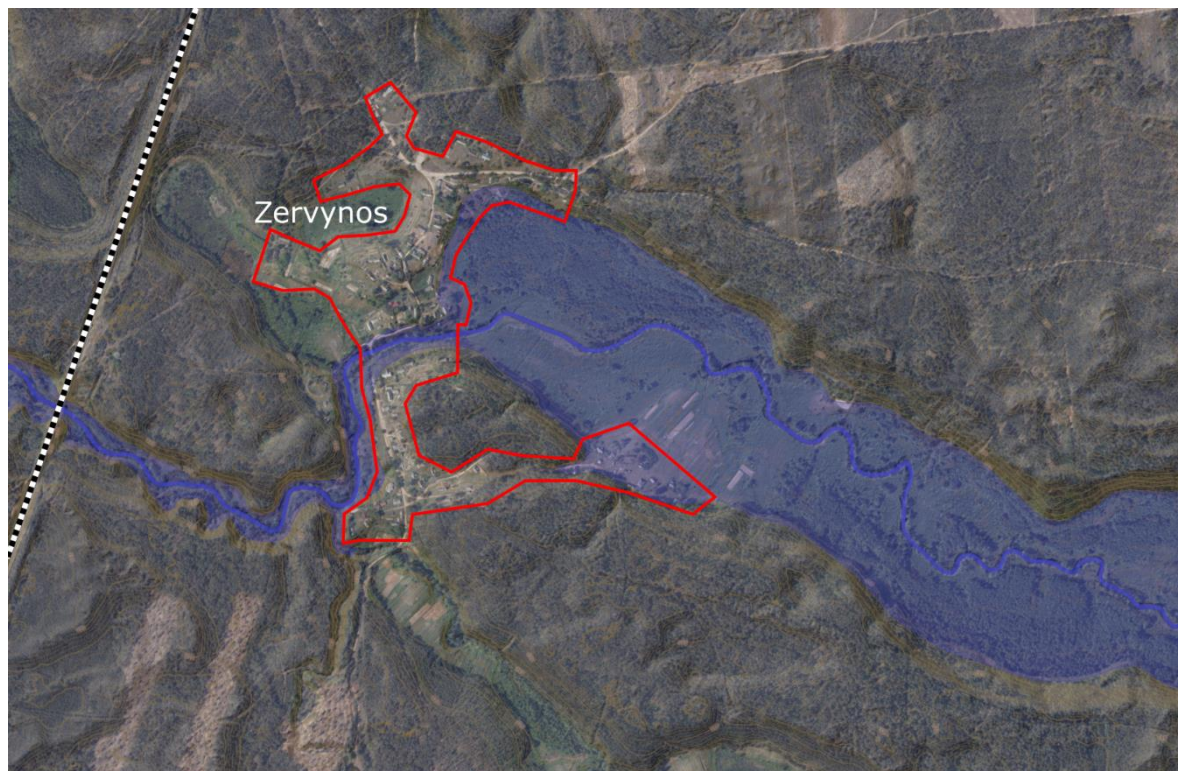
4.2 pav. Verknės upės netoli Verbyliškių VMS prognozuojama poplūdžių metu užliejama teritorija

Tuo tarpu Ūlos upė nėra gili, krantai lygūs (4.3 pav.). Poplūdžio metu užliejama teritorija būna didesnė, lyginant su stačių krantų upėmis, tačiau krantų erozija ne tokia intensyvi.



4.3 pav. Ūlos upės ties Zervynomis esamas vidutinis, nagrinėjamu laikotarpiu nustatytas didžiausias ir prognozuojamas didžiausias vandens lygiai

Kaip yra matoma iš 4.4 pav. pateikto prognozuojamos Ūlos upės užliejamos teritorijos prie Zervynų žemėlapiu, poplūdžio metu pakilęs vandens lygis užlies ne tik natūralias gamtos buveines, bet ir sodybas, dirbamus laukus, bei, tikėtina, ir dalį Zervynų kaimo.



4.4 pav. Ūlos upės ties Zervynomis prognozuojama poplūdžių metu užliejama teritorija

Poplūdžių metu urbanizuotose teritorijose užliejami ne tik gyvenamieji namai, bet ir lauko tualetai, gamybinės patalpos, sandėliai ir pan., iš kurių pakilęs vandens lygis šiuose

objektuose esančius teršalus išplauna į vandens telkinius bei gali paskleisti teršalus po visą užliejamą teritoriją. Iš užliejamų dirbamų laukų išplaunamos ne tik dirvožemyje esančios maistinės medžiagos, bet ir trąšos, kurios patekusios į natūralias gamtos buveines gali pakenkti ten gyvenančiai florai ir faunai.

IŠVADOS

1. Meteorologinių stočių duomenis išanalizavus su TREND programa nustatyta, kad 2013–2018 metų laikotarpiu nei vienos analizuojamos MS duomenys nėra patikimi, t. y. kritulių duomenų variacija yra labai didelė, pavyzdžiui, 2017 m. suminis visų 4-ių MS kritulių kiekis nustatytas didžiausias, sekančiais, 2018 metais kritulių kiekis nustatytas pats mažiausias, sumažėjęs 42 %. Šiuos kritulių pokyčius lemia klimato kaita.

2. Nustatyta, kad nagrinėjamų upių baseinuose dominuoja priemolio dirvožemių plotai, dengiantys iki 83 % upių baseinų ploto, smėlingi dirvožemiai dengia iki 35 %, molingi dirvožemiai – iki 9 % viso baseino ploto. Išskirtiniai nustatyti Verknės ir Ūlos upių baseinai. Verknės baseine net 24 % baseino dengia molio dirvožemio plotai, Ūlos baseine smėlingi dirvožemiai sudaro didžiausią nuogulų dalį – apie 75 %.

3. TREND programa atlikus penkmečių upių vidutinių metinių nuotėkių analizę nustatyta, jog Bartuvos, Šešuvio, Ūlos ir Verknės upių vidutiniai nuotėkiai 1998–2003 m. laikotarpiu mažėjo (testo statistika svyruoja nuo -0,376 iki -1,879), nežymus didėjimas (+0,047) nustatytas tik Širvintos upėje. 2003–2008 m. laikotarpiu Bartuvos, Šešuvio, Šušvės ir Ūlos upėse vidutinis nuotėkis didėjo (testo statistika svyruoja nuo +0,319 iki +1,342), Širvintos – mažėjo (-1,879). 2008–2013 metais nuotėkio mažėjimas pastebėtas Bartuvos ir Ūlos upėse (-0,447 ir -1,469 atitinkamai), paskutinio penkmečio metu didėjo visų upių nuotėkiai (iki +0,831).

4. Penkmečių upių maksimalių metinių nuotėkių analizės metu nustatyta, visų nagrinėjamų upių maksimalūs poplūdžių nuotėkiai 1998–2003 m. laikotarpiu mažėjo (iki -1,342). Kitu, 2003–2008 m. laikotarpiu, Bartuvos, Šešuvio ir Ūlos upėse maksimalus nuotėkis didėjo (testo statistika svyruoja nuo +0,703 iki +1,579), likusių – nežymiai mažėjo (iki -0,319). 2008–2013 metų laikotarpiu žymus maksimalių nuotėkių didėjimas (nuo +0,751 iki +0,958) nustatytas Širvintos ir Šušvės upėse, tuo tarpu Bartuvos upėje nustatytas iki -1,214 maksimalaus nuotėkio mažėjimas. Paskutiniu laikotarpiu maksimalaus nuotėkio didėjimas nustatytas tik Šušvės upėje.

5. Remiantis atlikta nagrinėjamų upių baseinų geomorfologinių sąlygų ir hidrologinių duomenų analize nustatyta, jog nuogulos daro įtaką poplūdžių formavimuisi. Bartuvos, Šešuvio, Šušvės ir Širvintos upių baseinuose, kurių geomorfologinės sąlygos yra panašios (priemolių dirvožemio plotai sudaro iki 83 %, smėlio dirvožemio plotai iki 35 % baseino ploto) poplūdžiai trunka iki 60 dienų, nes apie penktadalį baseino ploto užimantys smėlingi dirvožemiai leidžia pripildyti upės nuotėkį taip ištesiant poplūdžio trukmę ir po lietaus. Ūlos upės baseine, kuriame dominuoja smėlingos nuogulos, itin lietingais metais, tokiais kaip 2017-aisiais, poplūdžiai gali užsitęsti net iki 50 dienų, sausringais metais poplūdžiai gali netrukti ir savaitės, nes visas vandens perteklius per smėlingą dirvožemį susigers į gruntinius vandenius. Išskirtinis yra Verknės baseinas, kuriame dominuoja priemolio ir molio dirvožemio plotai, dėl ko poplūdžiai šiame baseine užtrunka vidutiniškai apie 10 dienų, nes dėl vandeniui laidaus smėlingo dirvožemio trūkumo gruntiniai vandenys negali palaikyti pakilusio vandens lygio po lietaus.

6. Atlikus Bartuvos, Šešuvio, Širvintos, Šušvės, Ūlos ir Verknės upių nuotėkio prognozę 2081–2100 m., nustatyta, jog Verknės upėje poplūdžių maksimalūs nuotėkiai 2081–2100 metais visais scenarijais bus didesni net 35–66 % palyginus su tiriamuoju laikotarpiu ir sieks 56,4–69,6 m³/s. Širvintos upėje visais scenarijais ir Šešuvio upės RCP 4.5, 6.0 ir 8.5 scenarijais maksimalūs poplūdžio nuotėkiai, kaip prognozuojama, turi didėti 31–35 %, Šušvės ir Bartuvos upėse – 20–27 %. Mažiausi maksimalūs poplūdžio nuotėkiai prognozuojami Ūlos upėje visais scenarijais ir Šešuvio upėje RCP 2.6 scenarijui, kuomet maksimalus nuotėkis turėtų didėti 9–12 %.

REKOMENDACIJA

Šiame darbe nustatčius, jog ateityje Lietuvos upėse šiltuoju sezonu poplūdžių daugės ir jie didės iki 66 %, rekomenduojama paviršinio vandens telkinių apsaugos zonų ir pakrančių apsaugos juostų nustatymo metu įvertinti upės baseinų nuogulas, aplinkui vyraujančią žemės paskirtį, poplūdžių keliamas rizikas bei užliejamas teritorijas.

LITERATŪRA

- Akstinas, V. (2019). *Assessment of floods of Lithuanian rivers and their risk in the context of climate change*. <http://ktu.edu>
- Akstinas, V., Meilutytė-Lukauskienė, D., & Kriaučiūnienė, J. (2019). Consequence of meteorological factors on flood formation in selected river catchments of Lithuania. *Meteorological Applications*, 26(2), 232–244. <https://doi.org/10.1002/met.1757>
- Anderson, H.W., Hoover, M.D., Reinhart, K.G., 1976. Forests and Water: Effects of Forest Management on Floods, Sedimentation, and Water Supply. *General Technical Report PSW-18/1976*. United States Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley, California.
- Arner, G. G., Va N Lo On, A. F., Stel, C., Rudho Mme, P., Id, D., & Hannah, M. (2015). *Hydroclimatology of extreme river flows*. <https://doi.org/10.1111/fwb.12667>
- Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė, L., & Lukianas, A. (2010). *Inžinerinė hidrologija ir hidraulika*. Technika.
- Banerjee, C., Sharma, A., & Kumar, N. (2020). *Decline in terrestrial water recharge with increasing global temperatures*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142913>
- Brázdil, R., Kundzewicz, Z. W., & Benito, G. (2010). Historical hydrology for studying flood risk in Europe. In *Hydrological Sciences Journal*, 51 (5), 739–764). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1623/hysj.51.5.739>
- Calder, I.R., Aylward, B., 2006. Forest and floods: moving to an evidence-based approach to watershed and integrated flood management. *Int. Water Resour. Assoc.: Water Int.* 31 (1), 87–99.
- Chassiot, L., Lajeunesse, P., & Bernier, J.-F. (2020). Riverbank erosion in cold environments: Review and outlook. *Earth-Science Reviews*, 207.
- Chiew, F., & Siriwardena, L. (2005). TREND User Guide. In *Catchment Modelling Toolkit*.
- Clark, M. P., Wilby, R. L., Gutmann, E. D., Vano, J. A., Gangopadhyay, S., Wood, A. W., Fowler, H. J., Prudhomme, C., Arnold, J. R., & Brekke, L. D. (2016). Characterizing Uncertainty of the Hydrologic Impacts of Climate Change. In *Current Climate Change Reports*, 2 (2), 55–64). <https://doi.org/10.1007/s40641-016-0034-x>
- CORINE Land Cover. <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>.
- Crawford, S. E., Brinkmann, M., Ouellet, J. D., Lehmkuhl, F., Reicherter, K., Schwarzbauer, J., Bellanova, P., Letmathe, P., Blank, L. M., Weber, R., Brack, W., van Dongen, J. T., Menzel, L., Hecker, M., Schüttrumpf, H., & Hollert, H. (2022). Remobilization of pollutants during extreme flood events poses severe risks to human and environmental health. *Journal of Hazardous Materials*, 421, 126691. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126691>
- Česnulevičius A. (1998). *Vilniaus miesto mažųjų upelių baseinų infiltracinės savybės ir jų sąsaja su reljefo erozija*, 34(1), 5–10. Geografija.
- Dumbrasukas, A. (2000). *Liūčių struktūros analizė ir paviršinio nuotėkio formavimosi skaitmeninis eksperimentas*. <https://www.researchgate.net/publication/318820533>
- Endriukaitis, J. D. (2010). *Upė Bartuva. Aprašymas, informacija, vandens turizmo maršrutas, atstumai. Vandens lygis*. <http://upese.lt/index.php/b/bartuva>.
- Endriukaitis, J. D. (2012) a. *Upė Šešuvis. Aprašymas, informacija, vandens turizmo maršrutas, atstumai. Vandens lygis*. <http://upese.lt/index.php/sh/sesuvis>.
- Endriukaitis, J. D. (2012) b. *Upė Šušvė, Nevėžio intakas. Aprašymas, informacija, vandens turizmo maršrutas, atstumai. Vandens lygis*. <http://upese.lt/index.php/sh/susve>.
- Endriukaitis, J. D. (2012) c. *Upė Širvinta, Šventosios intakas. Aprašymas, informacija, vandens turizmo maršrutas, atstumai. Vandens lygis*. <http://upese.lt/index.php/sh/sirvinta>.
- Endriukaitis, J. D. (2012) d. *Upė Verknė, Nemuno intakas. Aprašymas, informacija, vandens turizmo maršrutas, atstumai. Vandens lygis*. <http://upese.lt/index.php/v/verkne>.
- Endriukaitis, J. D. (2012) e. *Upė Ūla, Merkio intakas. Aprašymas, informacija, vandens turizmo maršrutas, atstumai. Vandens lygis*. <http://upese.lt/index.php/uu/ula>.

Endriukaitis, J. D. (2021). *Lietuvos pajūrio upių baseinų upės - Baltijos jūros intakai*. <http://www.upese.lt/index.php/upes-pagal-baseinus/pajrio-baseinas>.

Foley, A. M. (2010). Uncertainty in regional climate modelling: A review. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 34(5), 647–670. <https://doi.org/10.1177/0309133310375654>

Fong, C. R., Gaynus, J., & Carpenter, R. C. (2020). Extreme rainfall events pulse substantial nutrients and sediments from terrestrial to nearshore coastal communities: a case study from French Polynesia. *Nature Research*. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-59807-5>

GFDL Models (2022). *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*. <https://www.gfdl.noaa.gov/model-development/>

Global Climate Model, CM3 (2022). *Geophysical Fluid Dynamics Laboratory*. <https://www.gfdl.noaa.gov/coupled-physical-model-cm3/>

Gündoğdu, S., Çevik, C., Ayat, B., Aydoğan, B., & Karaca, S. (2018). How microplastics quantities increase with flood events? An example from Mersin Bay NE Levantine coast of Turkey. *Environmental Pollution*, 239, 342–350. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.04.042>

Hobbie, S. E., & Grimm, N. B. (2020). Nature-based approaches to managing climate change impacts in cities. *Philosophical Transactions*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0124>

Hümann, M., Schüler, G., Müller, C., Schneider, R., Johst, M., & Caspari, T. (2011). Identification of runoff processes - The impact of different forest types and soil properties on runoff formation and floods. *Journal of Hydrology*, 409(3–4), 637–649. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.08.067>

Yamamoto, K., & Sayama, T. (2021). Impact of climate change on flood inundation in a tropical river basin in Indonesia. *Progress in Earth and Planetary Science*. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8, 5. <https://doi.org/10.1186/s40645-020-00386-4>

Yang, H., & Yang, D. (2011). Derivation of climate elasticity of runoff to assess the effects of climate change on annual runoff. *Water Resources Research*, 47(7), 7526. <https://doi.org/10.1029/2010WR009287>

Yang, H., & Yang, D. (2011). Derivation of climate elasticity of runoff to assess the effects of climate change on annual runoff. *Water Resources Research*, 47(7), 7526. <https://doi.org/10.1029/2010WR009287>

Yao, L., Wei, W., & Chen, L. (2016). How does imperviousness impact the urban rainfall-runoff process under various storm cases? *Ecological Indicators*, 60, 893–905. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.08.041>

Jačiunskytė, V. (2018). *Azoto ir fosforo srautų pokyčiai Šušvės upėje pagal skirtingus klimato kaitos scenarijus*.

Janilionis, V. (2021). *Koreliacinės ir regresinės analizės pagrindai*. https://www.lidata.eu/index.php?file=files/mokymai/Janilionis_III/jan_III.html&course_file=jan_III_1.html

Juodkazis V. (1992). *Lietuvos karstas: hidrogeologija ir požeminio vandens apsauga*. 1-osios politechnikos m-klos sp. Vilnius. P. 189.

Kabite, G., & Gessesse, B. (2018). Hydro-geomorphological characterization of Dhidhessa River Basin, Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2), 175–183. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.02.003>

Kay, A. L., Rudd, A. C., Fry, M., Nash, G., & Allen, S. (2021). Climate change impacts on peak river flows: Combining national-scale hydrological modelling and probabilistic projections. *Climate Risk Management*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2020.100263>

Keršytė, D., Rimkus, E., & Kažys, J. (2015). *Klimato rodiklių scenarijai Lietuvos teritorijoje XXI a. Geologija. Geografija*, 1(1). <https://doi.org/10.6001/geol-geogr.v1i1.3069>

Khanal, S., Lutz, A. F., Immerzeel, W. W., de Vries, H., Wanders, N., & van den Hurk, B. (2019). The impact of meteorological and hydrological memory on compound peak flows in the Rhine river basin. *Atmosphere*, 10(4), 171. <https://doi.org/10.3390/atmos10040171>

Kilkus, K., & Stonevičius, E. (2011). *Lietuvos vandenų geografija*. Vilniaus universitetas.

Koreliacija SPSS. (2013). <http://spsspagalba.lt/>

Kundzewicz, Z. W., Pinskiwar, I., & Brakenridge, G. R. (2018). Changes in river flood hazard in Europe: A review. *Hydrology Research*, 49(2), 294–302. <https://doi.org/10.2166/nh.2017.016>

Laurenz, L., Lüdecke, H.-J., & Lüning, S. (2019). Influence of solar activity changes on European rainfall. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.01.012>

Leigh, C., Bush, A., Harrison, E. T., Ho, S. S., Luke, L., Rolls, R. J., & Ledger, M. E. (2015). Ecological effects of extreme climatic events on riverine ecosystems: Insights from Australia. *Freshwater Biology*, 60(12), 2620–2638. <https://doi.org/10.1111/fwb.12515>

Lietuvos erdvinės informacijos portalas. <https://www.geoportal.lt/geoportal/>.

Lietuvos Respublikos aplinkos ministro įsakymas Dėl Paviršinių vandens telkinių apsaugos zonų ir pakrančių apsaugos juostų nustatymo tvarkos aprašo patvirtinimo (2001). <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.153823?jfwid>

Lukianas, A. (1998). *Hidrologiniai skaičiavimai: metodikos nurodymai*. https://aleph.library.lt/F?func=find-b&request=Hidrologiniai+skaičiavimai%3A+Metodikos+nurodymai&find_code=WRD&adjacent=N&local_base=VGT01&filter_code_1=WLN&filter_request_1=&filter_code_2=WYR&filter_request_2=&filter_code_3=WYR&filter_request_3=&filter_c

Madsen, H., Lawrence, D., Lang, M., Martinkova, M., & Kjeldsen, T. R. (2014). Review of trend analysis and climate change projections of extreme precipitation and floods in Europe. *Journal of Hydrology*, 519(PD), 3634–3650. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.003>

Man Kam, P., Aznar-Siguan, G., Schewe, J., Milano, L., Ginnetti, J., Willner, S., McCaughey, J. W., & Bresch, D. N. (2021). Global warming and population change both heighten future risk of human displacement due to river floods. *Environ. Res. Lett*, 16, 44026. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd26c>

Mann-Kendall Test For Monotonic Trend. https://vsp.pnnl.gov/help/vsample/design_trend_mann_kendall.htm

McGregor, G. R. (2019). Climate and rivers. *River Research and Application*, 35(8), 1119–1140. <https://doi.org/10.1002/rra.3508>

Meilutytė-Barauskienė, D., Kovalenkoviėnė, M., & Irbinskas, V. (2008). Lietuvos upių vandens ištekliai klimato kaitos fone. *Geografija*, 44(2). <https://www.researchgate.net/publication/272160681>

Meilutytė-Lukauskienė, D., Akstinas, V., Kriaučiūnienė, J., Šarauskienė, D., & Jurgelėnaitė, A. (2017). Insight into variability of spring and flash flood events in Lithuania. *Acta Geophysica*, 65(1), 89–102. <https://doi.org/10.1007/s11600-017-0009-x>

Naujos vidutinės Lietuvos klimato sąlygos. (2021). LHMT Klimato ir tyrimų skyrius. http://www.meteo.lt/lt/naujienos/-/asset_publisher/RrOmWx3nFPCR/content/2021-12-17-naujos-vidutines-lietuvos-klimato-salygos?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.meteo.lt%2Flt%2Fnaujienos%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_RrOmWx3nFPCR%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D1

Paiva, R. C. D., Collischonn, W., & Tucci, C. E. M. (2011). Large scale hydrologic and hydrodynamic modeling using limited data and a GIS based approach. *Journal of Hydrology*, 406(3–4), 170–181. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.06.007>

Palmer, M., & Ruhi, A. (2019). Linkages between flow regime, biota, and ecosystem processes: Implications for river restoration. *Science*, 365(6459). <https://doi.org/10.1126/science.aaw2087>

Panagos, P., Borrelli, P., Meusburger, K., Yu, B., Klik, A., Lim, K. J., Yang, J. E., Ni, J., Miao, C., Chattopadhyay, N., Sadeghi, S. H., Hazbavi, Z., Zabihi, M., Larionov, G. A., Krasnov, S. F., Gorobets, A. v., Levi, Y., Erpul, G., Birkel, C., ... Ballabio, C. (2017). Global

rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04282-8>

Pauliukevičius, H. (2004). Mažos upės nuotėkio ypatybės metais su sausu šiltuoju laikotarpiu. *Geografijos Metraštis*, 37, 18–34.

Pauliukevičius, H. (2007). Nuotėkį lemiančių veiksnių santykinė reikšmė ir regresijos lygčių taikymo galimybės. *Vandens Ūkio Inžinerija*, 58–65.

Pearson Product-Moment Correlation - When you should run this test, the range of values the coefficient can take and how to measure strength of association. <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/pearson-correlation-coefficient-statistical-guide.php>

Plate, E. J. (2009). Classification of hydrological models for flood management. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13. www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/1939/2009/

Povilaitis, A., Taminskas, J., Gulbinas, Z., Linkevičienė, R., & Pileckas, M. (2011). *Lietuvos šlapynės ir jų vandensauginė reikšmė*.

QGIS. Prieiga per internetą: <https://www.qgis.org/en/site/>.

Sanuy, M., Rigo, T., Jiménez, J. A., & Llasat, M. C. (2021). Classifying compound coastal storm and heavy rainfall events in the north-western Spanish Mediterranean. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(6), 3759–3781. <https://doi.org/10.5194/HESS-25-3759-2021>

Sarauskiene, D., Kriaučiūnienė, J., Reihan, A., & Klavins, M. (2015). Flood pattern changes in the rivers of the baltic countries. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 23(1), 28–38. <https://doi.org/10.3846/16486897.2014.937438>

Sitterson, J., Knightes, C., Parmar, R., Wolfe, K., Avant, B., & Muche, M. (2018). An Overview of Rainfall-Runoff Model Types. <https://scholarsarchive.byu.edu/iemssconferencehttps://scholarsarchive.byu.edu/iemssconference/2018/Stream-C/41Thisoralpresentation>

Skinderytė, L., & Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė, L. (2018). *Lietuvos upių nuotėkio kaitos dėsningumai El Nino ir La Nina reiškinių kontekste*. <https://doi.org/10.3846/aainz.2018.012>

Spearman's Rank-Order Correlation - A guide to when to use it, what it does and what the assumptions are. (2021). <https://statistics.laerd.com/statistical-guides/spearmans-rank-order-correlation-statistical-guide.php>

Stonevičius, E., Rimkus, E., Valiūškevičius, G., & Kažys, J. (2010). *Potvynių Smelteje poveikio švelninimo ir adaptacijos prie jų galimybės atsižvelgiant į numatomus klimato pokyčius*. https://www.researchgate.net/profile/Gintaras-Valiuskevicius/publication/280561952_Potvyniu_Smelteje_poveikio_svelninimo_ir_adaptacij_os_prie_ju_galimybes_atsizvelgiant_i_numatomus_klimato_pokycius/links/5ac70a3c0f7e9bcd5193315a/Potvyniu-Smelteje-poveikio-

Škiudas, K., Kubilius, A., & Urbanavičius, J. (2020). Žmonijos veiklos sukelta klimato kaita: priežastys, pasekmės, galimybės. *Europos Politika: Lietuvoje Ir Europoje*.

Tabari, H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability. *Scientific Reports*, 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70816-2>

Tompkins, A. M., de Zátarate, M. I. O., Saurral, R. I., Vera, C., Saulo, C., Merryfield, W. J., Sigmond, M., Lee, W. S., Baehr, J., Braun, A., Butler, A., Déqué, M., Doblas-Reyes, F. J., Gordon, M., Scacafe, A. A., Imada, Y., Ishii, M., Ose, T., Kirtmatmatman, B., ... Yasuda, T. (2017). The climate-system historical forecast project: Providing open access to seasonal forecast ensembles from centers around the globe. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(11), 2293–2301. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0209.1>

Zhang, Y., Li, Z., Ge, W., Chen, X., Xu, H., & Guan, H. (2021). Evaluation of the impact of extreme floods on the biodiversity of terrestrial animals. *Science of the Total Environment*, 790, 148227. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2021.148227>

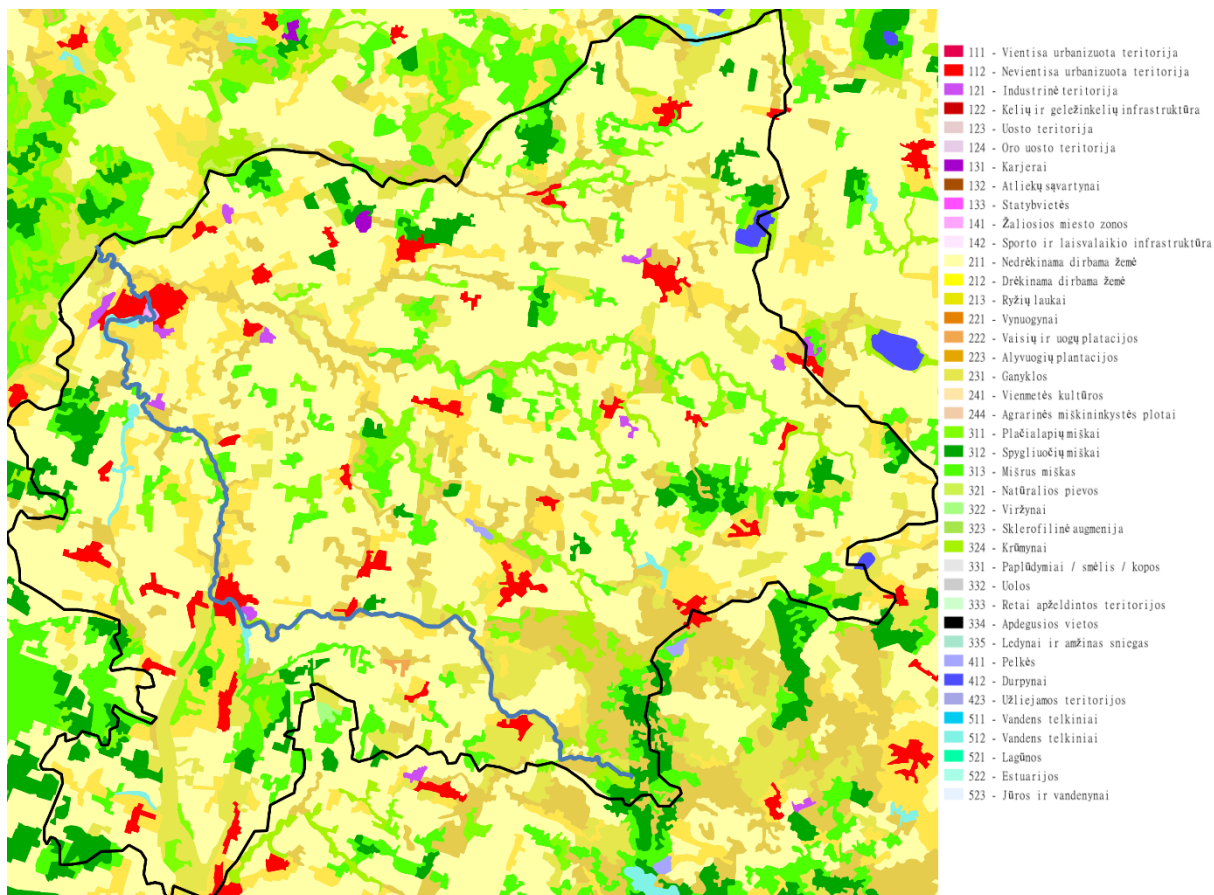
Zhang, Y., Wang, Y., Chen, Y., Liang, F., & Liu, H. (2019). Assessment of future flash flood inundations in coastal regions under climate change scenarios-A case study of Hadahe

River basin in northeastern China. *Science of the Total Environment*, 693, 133550.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.356>

PRIEDAI

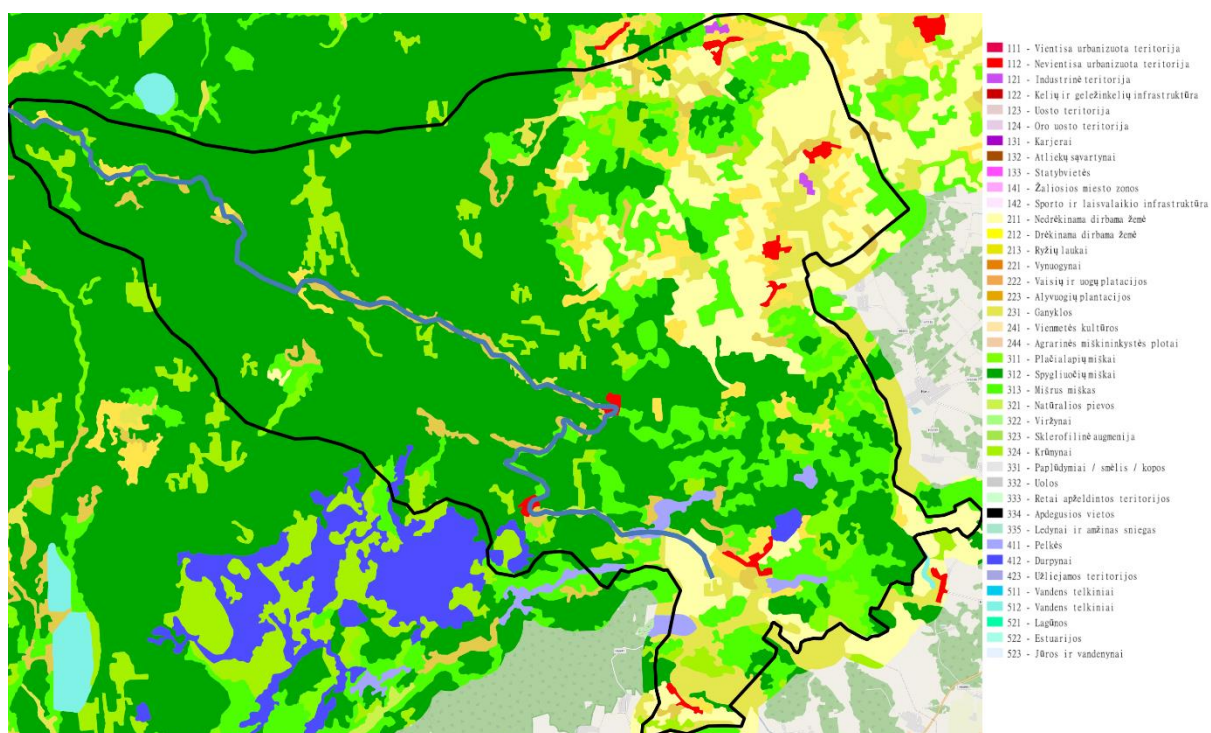
Priedas Nr. 1

Bartuvos upės baseino žemėnaudų žemėlapis.



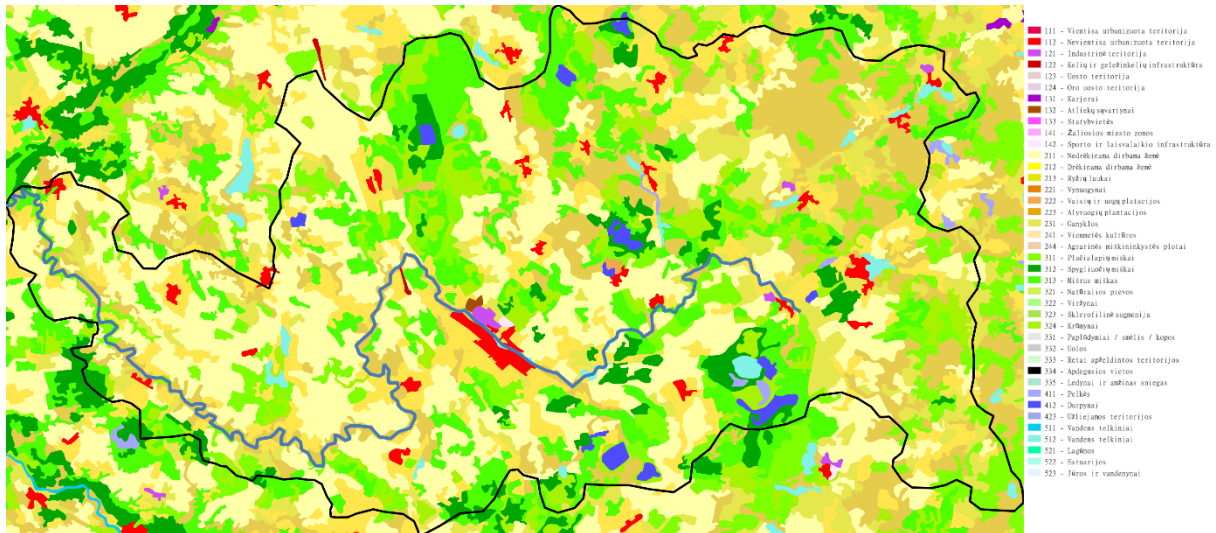
Priedas Nr. 2

Ūlos upės baseino žemėnaudų žemėlapis.



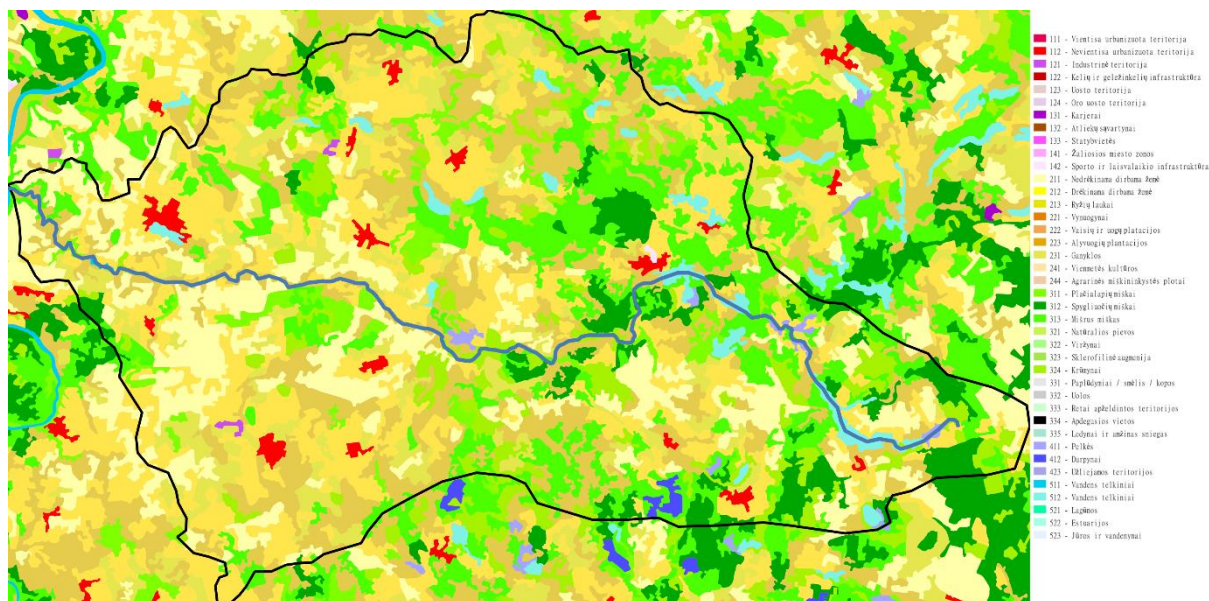
Priedas Nr. 3

Širvintos upės baseino žemėnaudų žemėlapis.



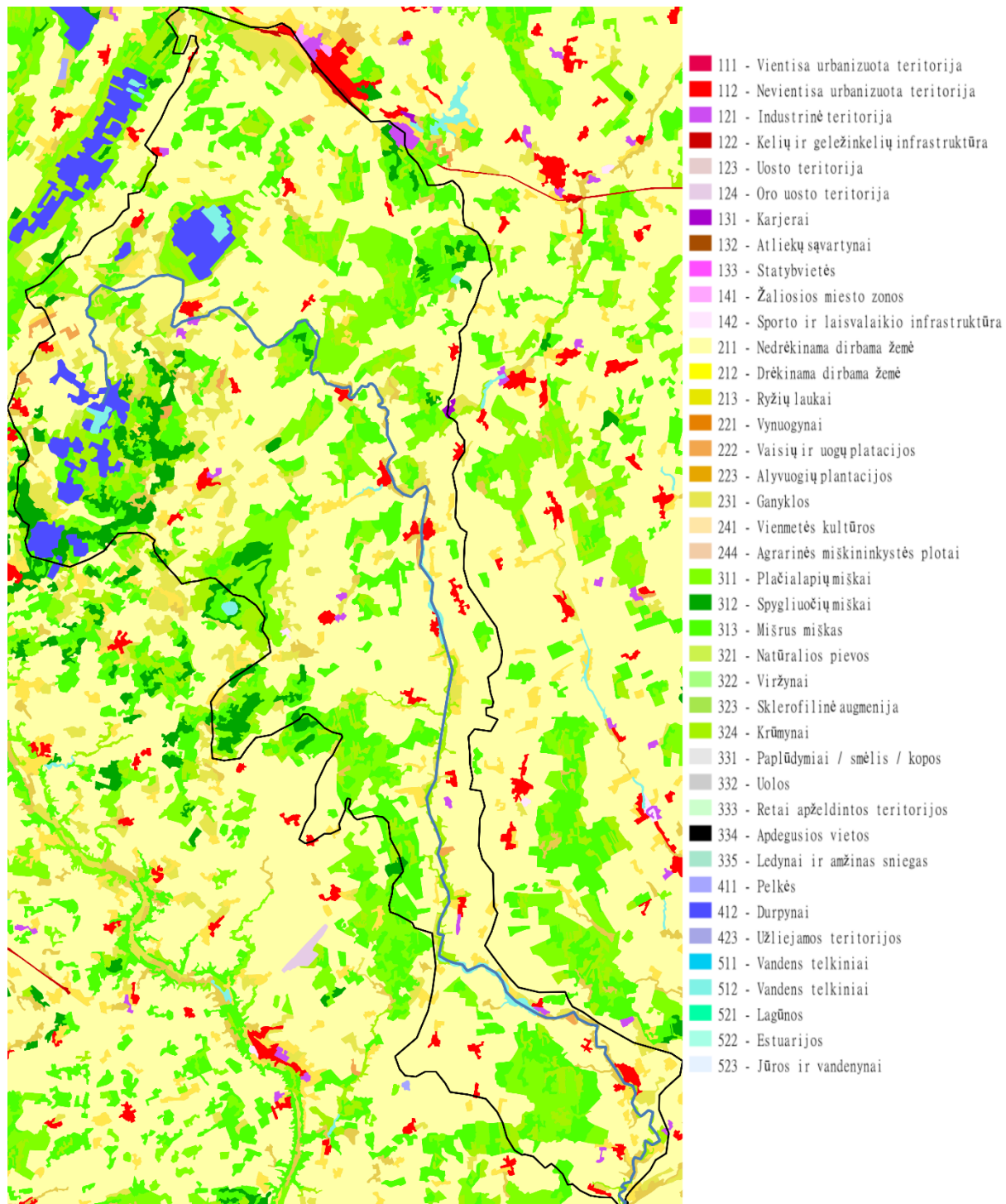
Priedas Nr. 4

Verknės upės baseino žemėnaudų žemėlapis.



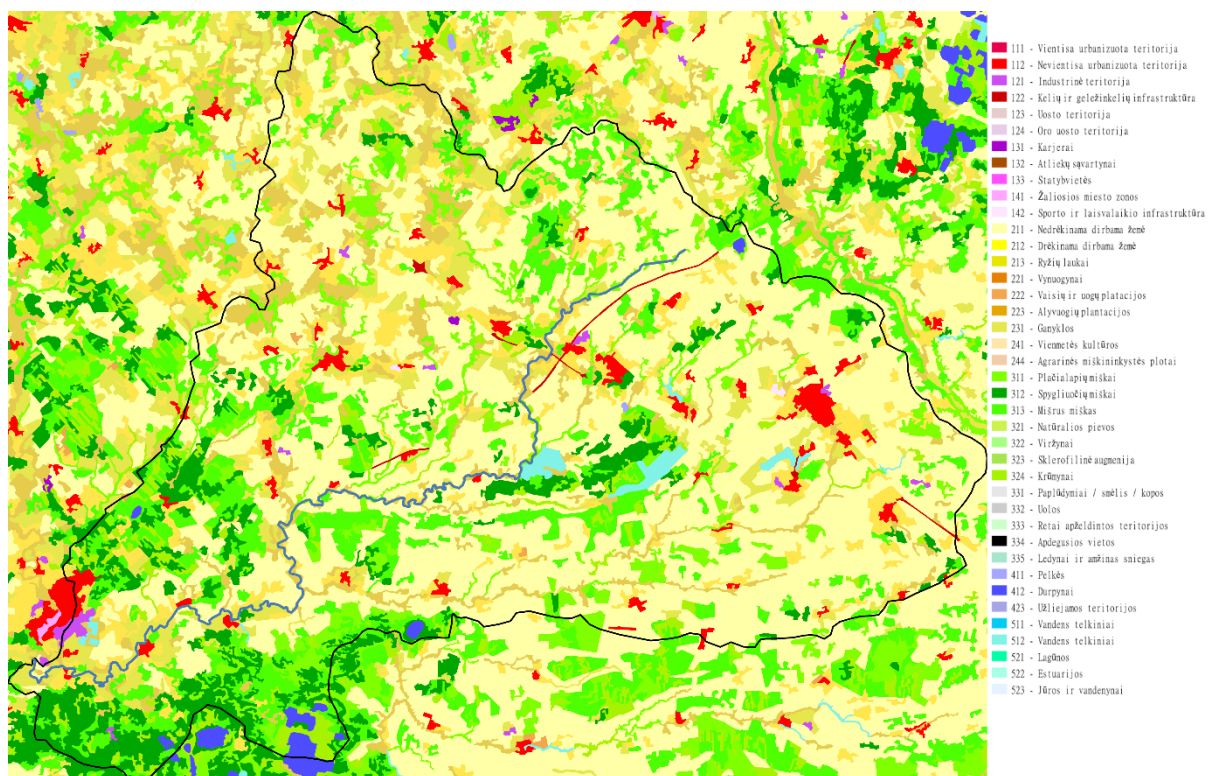
Priedas Nr. 5

Šušvės upės baseino žemėnaudų žemėlapis.



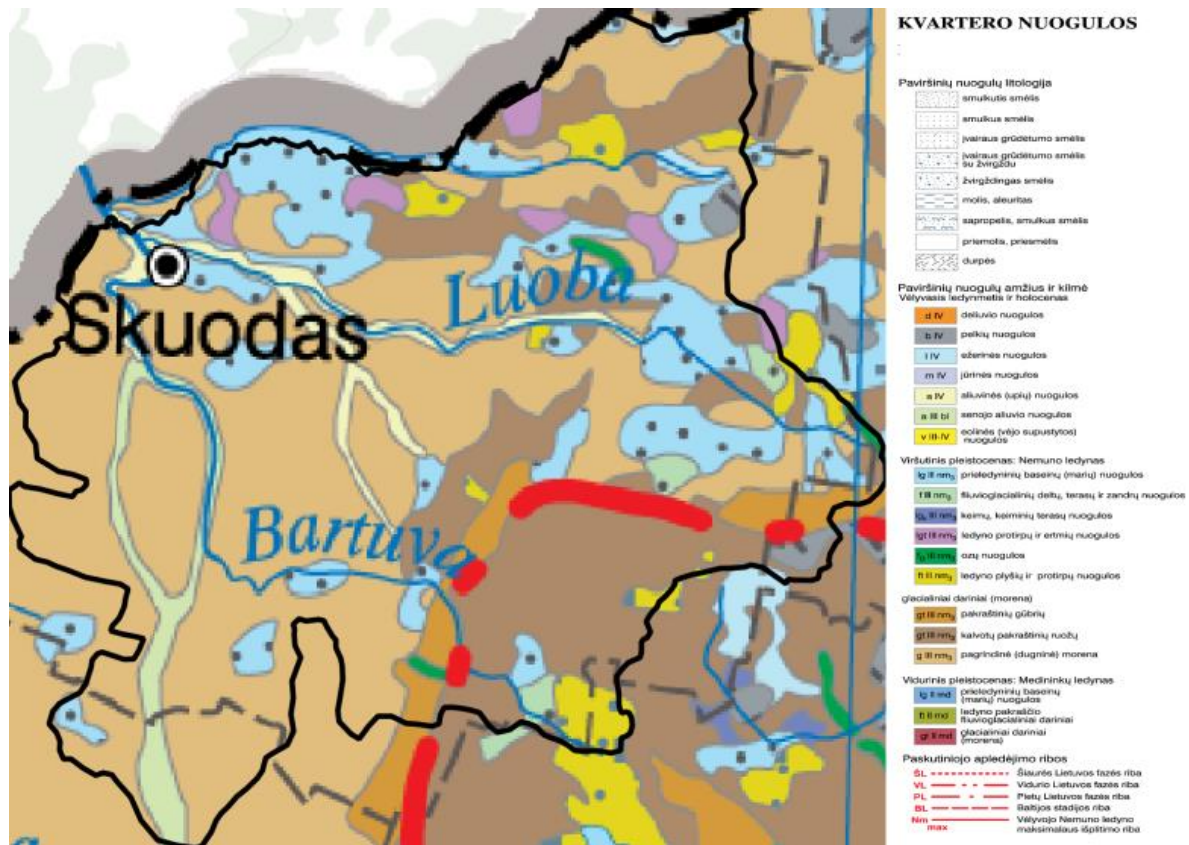
Priedas Nr. 6

Šešuvio upės baseino žemėnaudų žemėlapis.

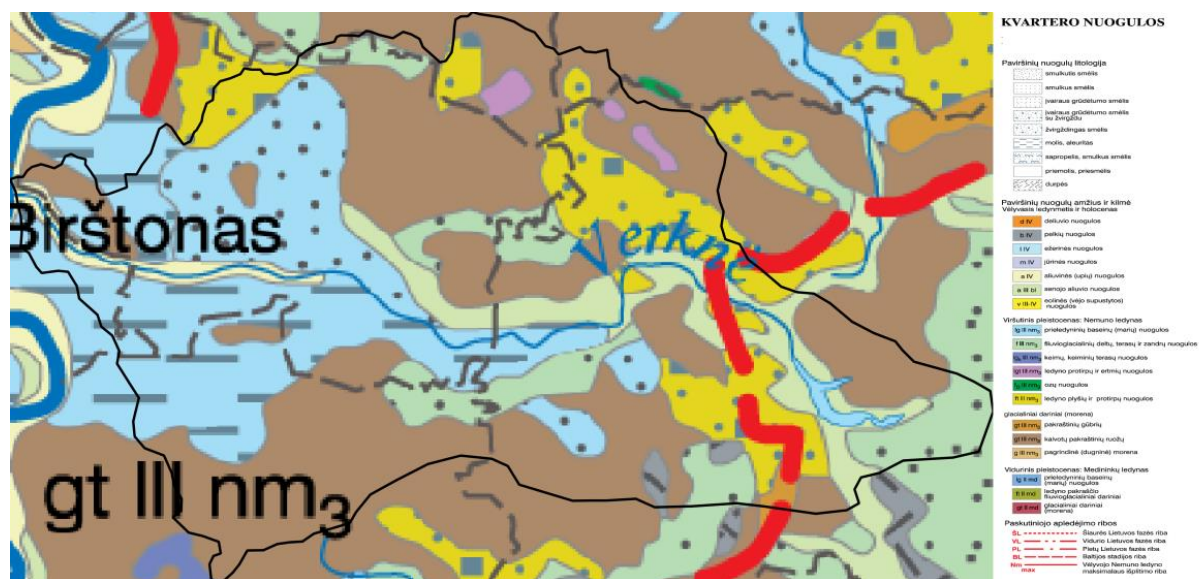


Priedas Nr. 7

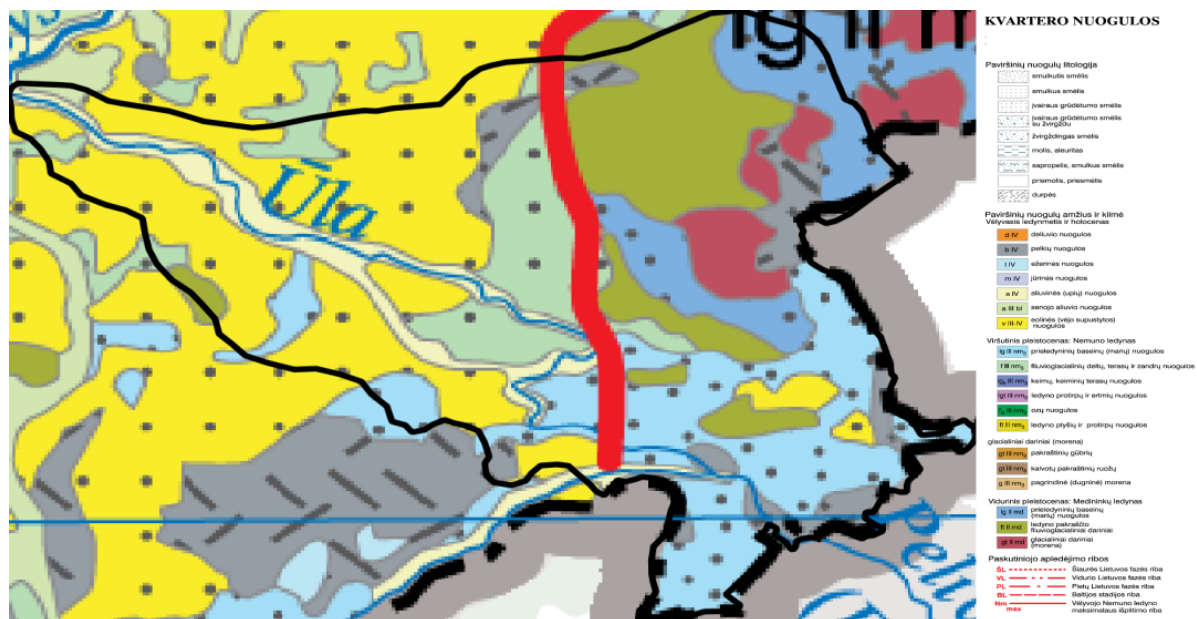
Bartuvos upės baseino nuogulų žemėlapis.



Verknės upės baseino nuogulų žemėlapis.

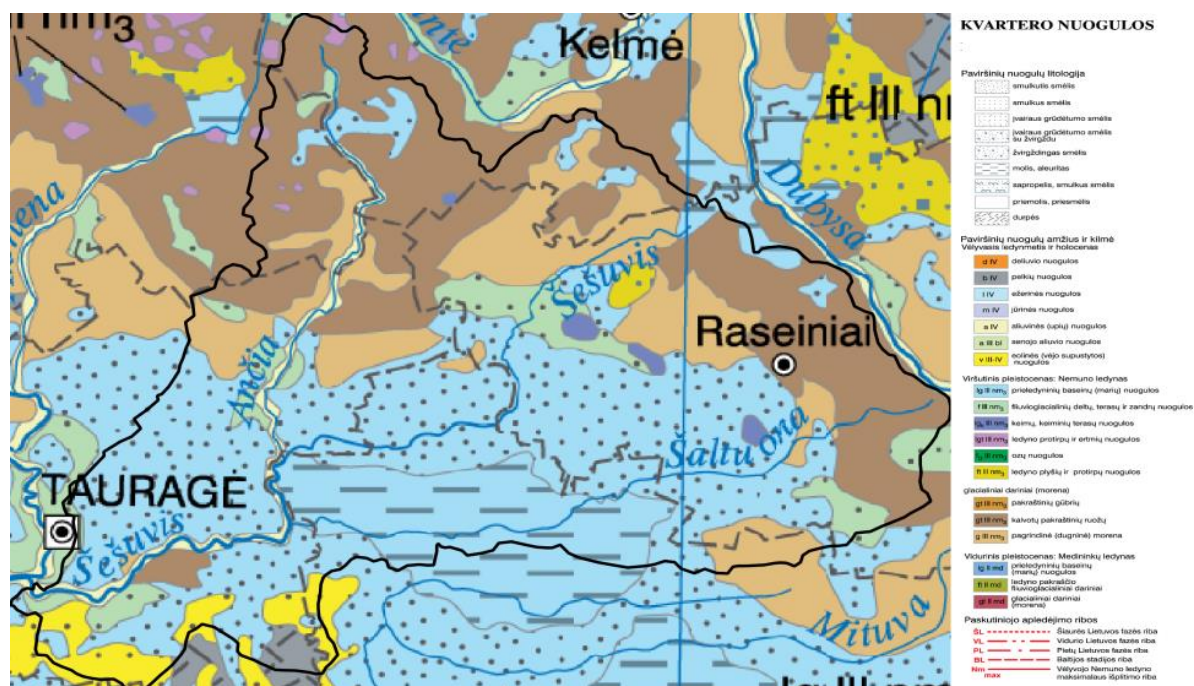


Ūlos upės baseino nuogulų žemėlapis.



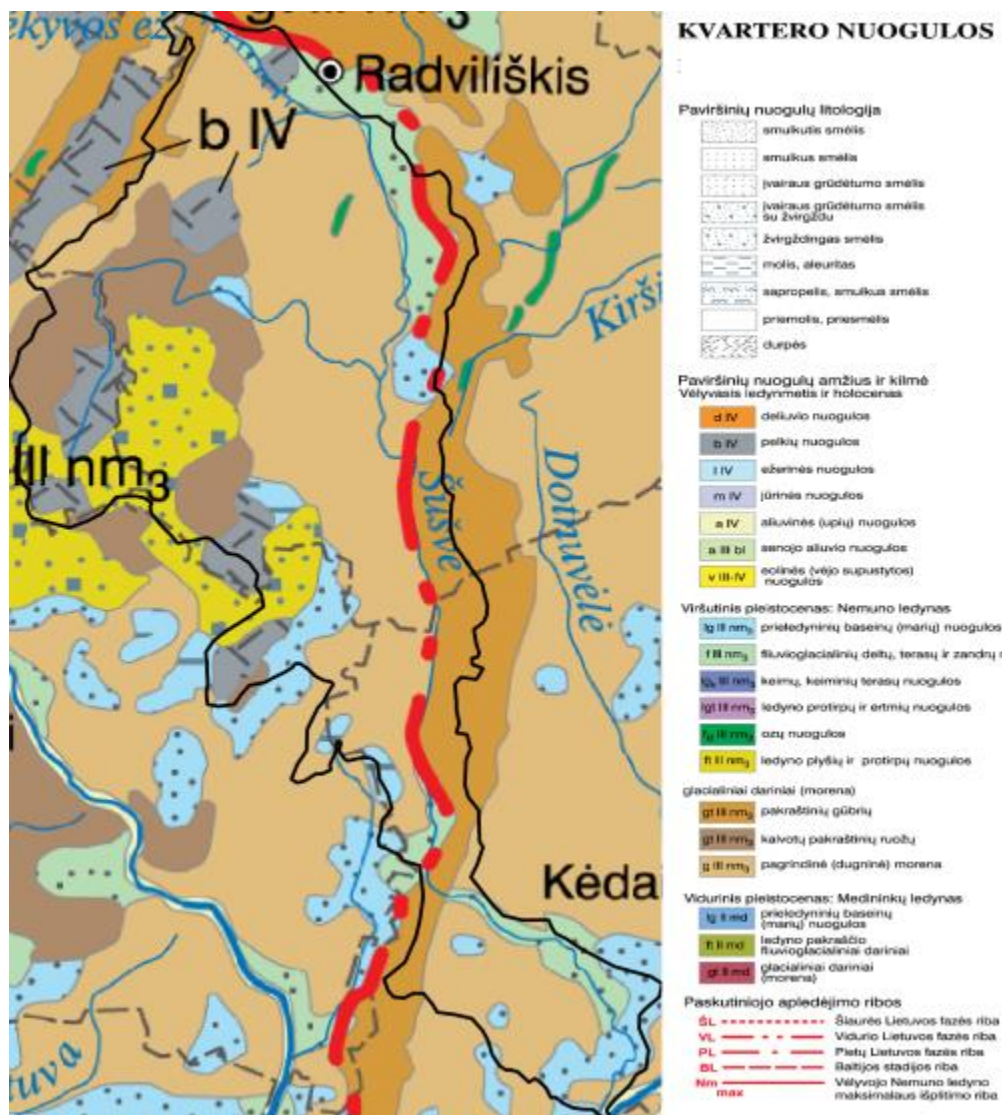
Priedas Nr. 10

Šešuvio upės baseino nuogulų žemėlapis.

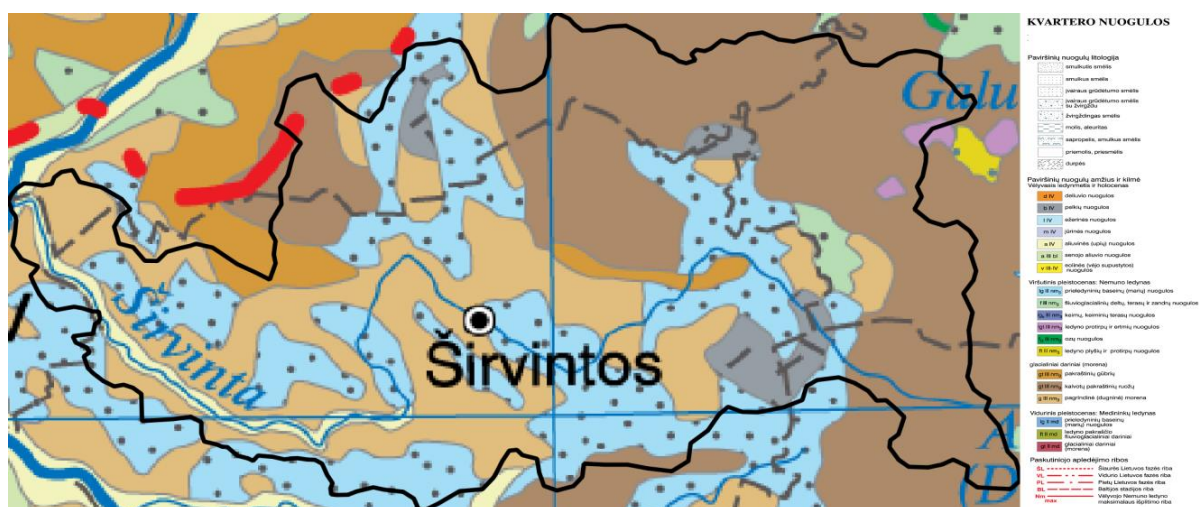


Priedas Nr. 11

Šušvės upės baseino nuogulų žemėlapis.



Širvintos upės baseino nuogulų žemėlapis.



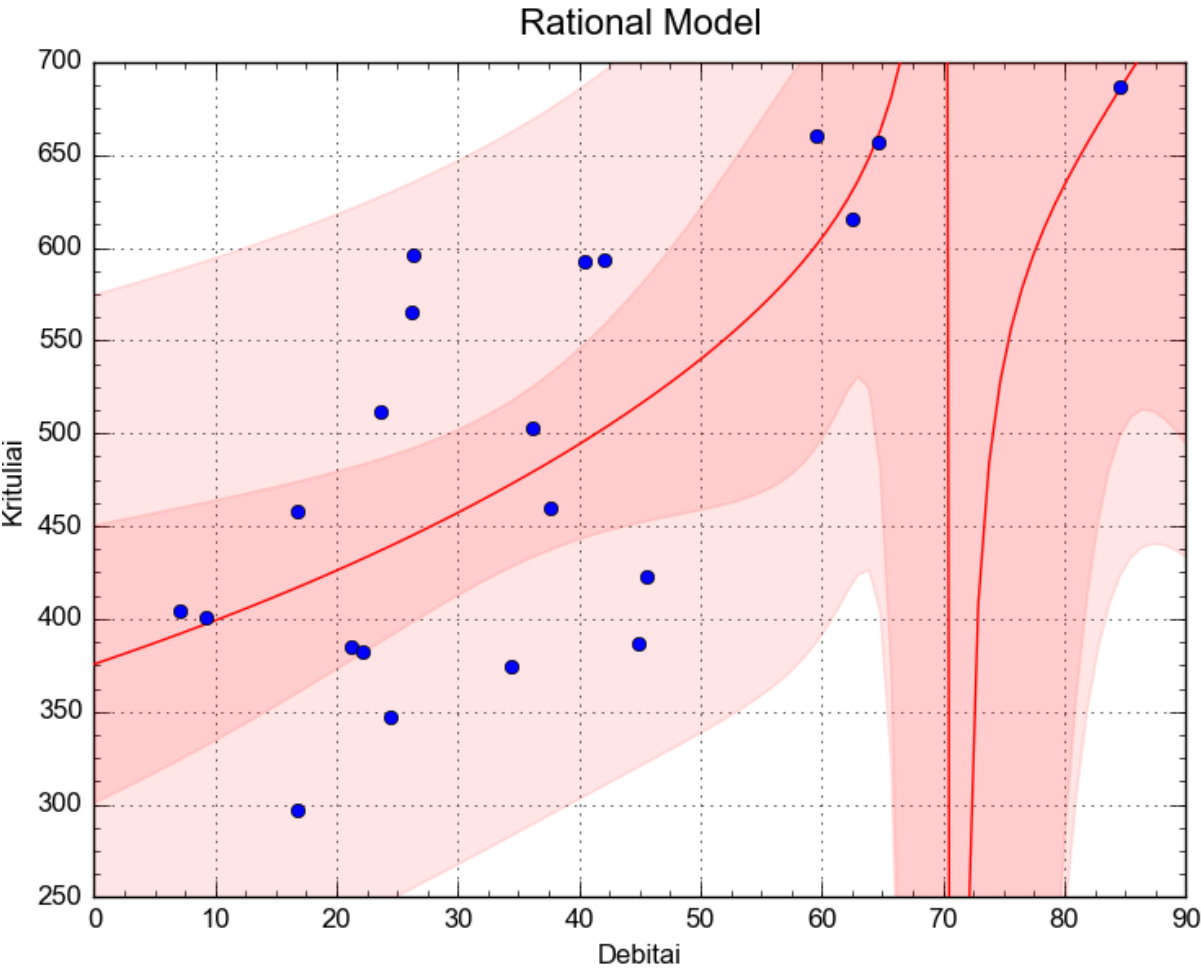
Priedas Nr. 13

Bartuvos upės vidutinių nuotėkių lygties *Reciprocal Quadratic* koeficientai.

Name	Reciprocal Quadratic
Kind	Regression
Family	Yield-Spacing Models
Equation	$y = 1/(a + b*x + c*x^2)$
# of Indep. Vars	1
Weighting	Default
Standard Error	77.44141585147061
Correlation Coeff. (r)	0,780385
Coeff. of Determination (r^2)	0.6090013775137522
DOF	18
AICC	184,109415

Priedas Nr. 14

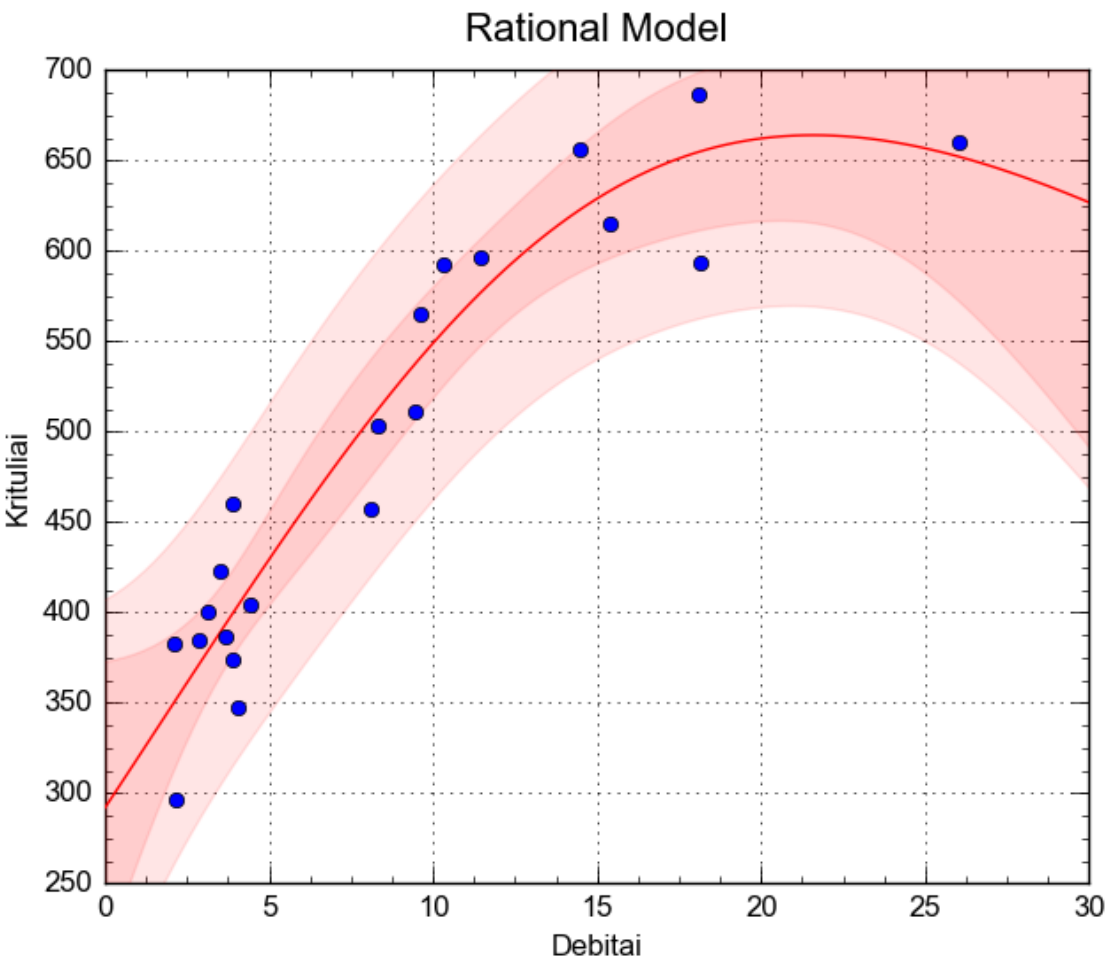
Bartuvos upės maksimalių nuotėkių lygties *Rational model* grafikas ir koeficientai.



Name	Rational Model
Kind	Regression
Family	Miscellaneous
Equation	$y = (a+b*x)/(1 + c*x + d*x^2)$
# of Indep. Vars	1
Weighting	Default
Standard Error	87.35275363205258
Correlation Coeff. (r)	0.728115
Coeff. of Determination (r^2)	0.5301510352414331
DOF	17
AICC	190,712365

Priedas Nr. 15

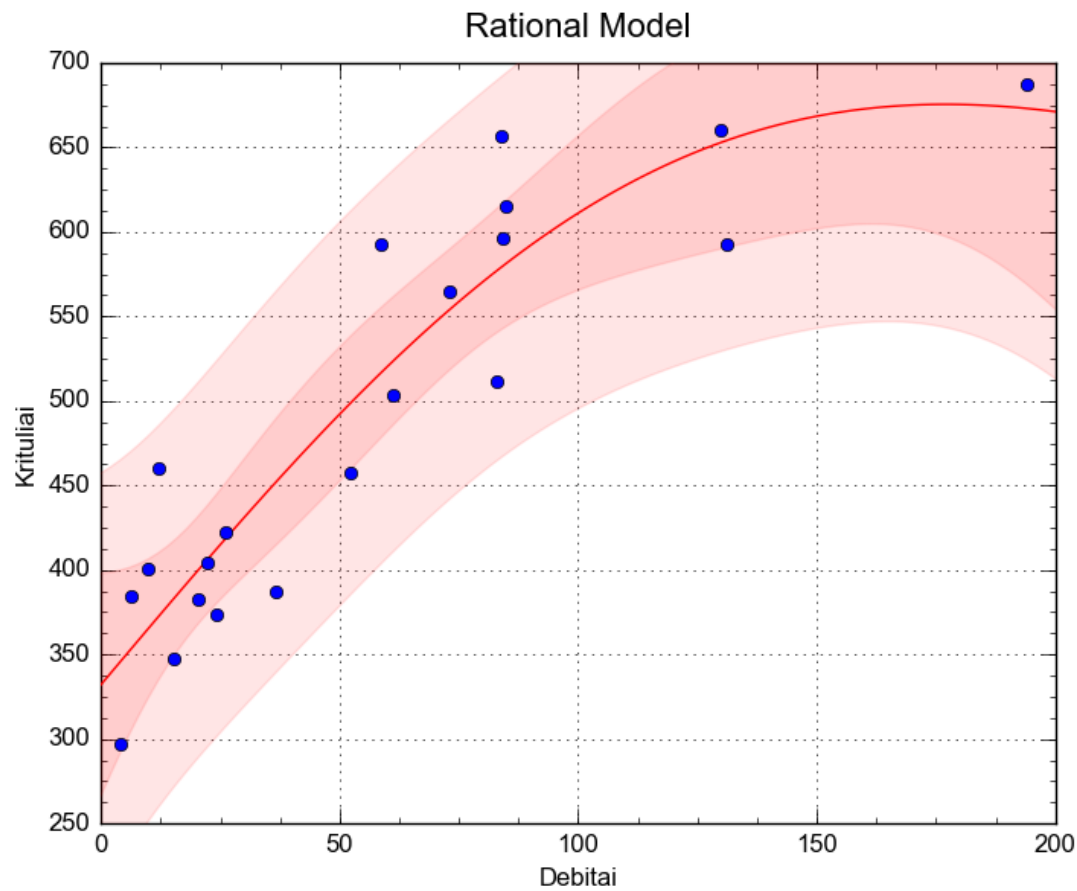
Šešuvio upės vidutinių nuotėkių lygties *Rational model* grafikas ir koeficientai.



Name	Rational Model
Kind	Regression
Family	Miscellaneous
Equation	$y = (a+b*x)/(1 + c*x + d*x^2)$
# of Indep. Vars	1
Weighting	Default
Standard Error	38.64172523293445
Correlation Coeff. (r)	0,952920
Coeff. of Determination (r^2)	0.9080571226779814
DOF	17
AICC	156,456245

Priedas Nr. 16

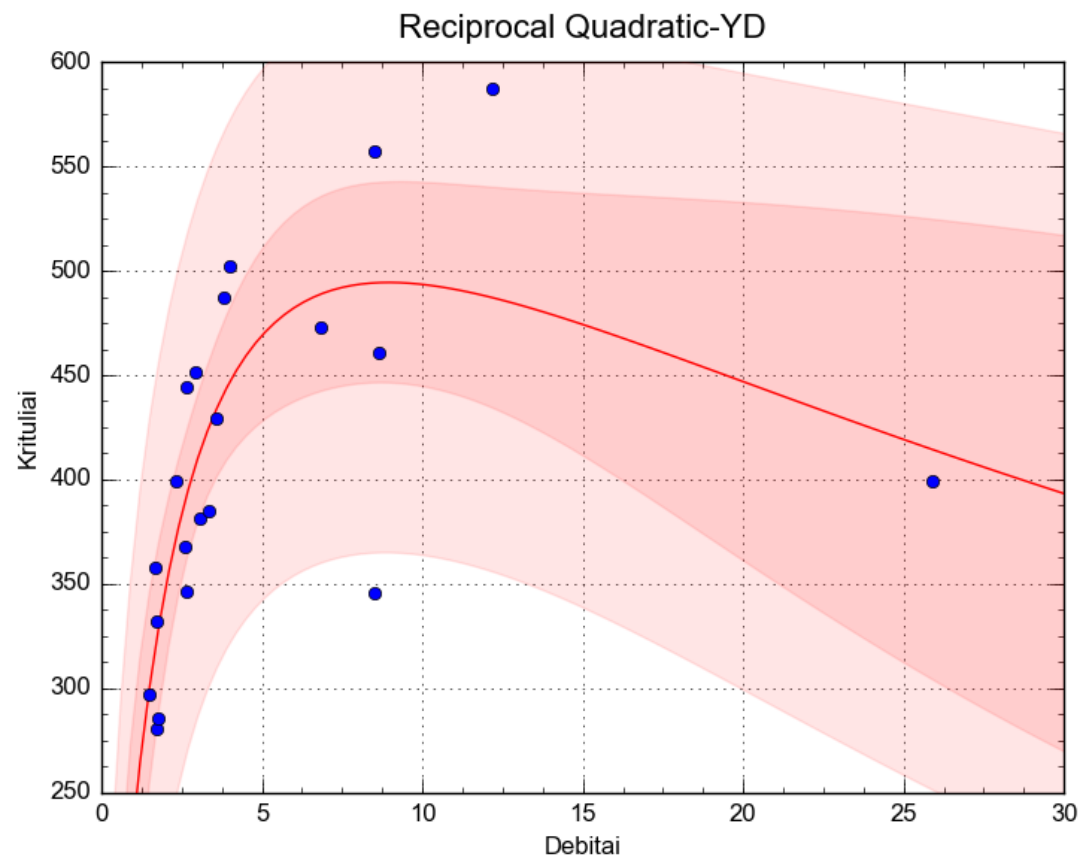
Šešuvio upės maksimalių nuotėkių lygties *Rational model* grafikas ir koeficientai.



Name	Rational Model
Kind	Regression
Family	Miscellaneous
Equation	$y = (a+b*x)/(1 + c*x + d*x^2)$
# of Indep. Vars	1
Weighting	Default
Standard Error	50.4254985481198
Correlation Coeff. (r)	0,918385
Coeff. of Determination (r^2)	0.8434311087969009
DOF	17
AICC	167,635147

Priedas Nr. 17

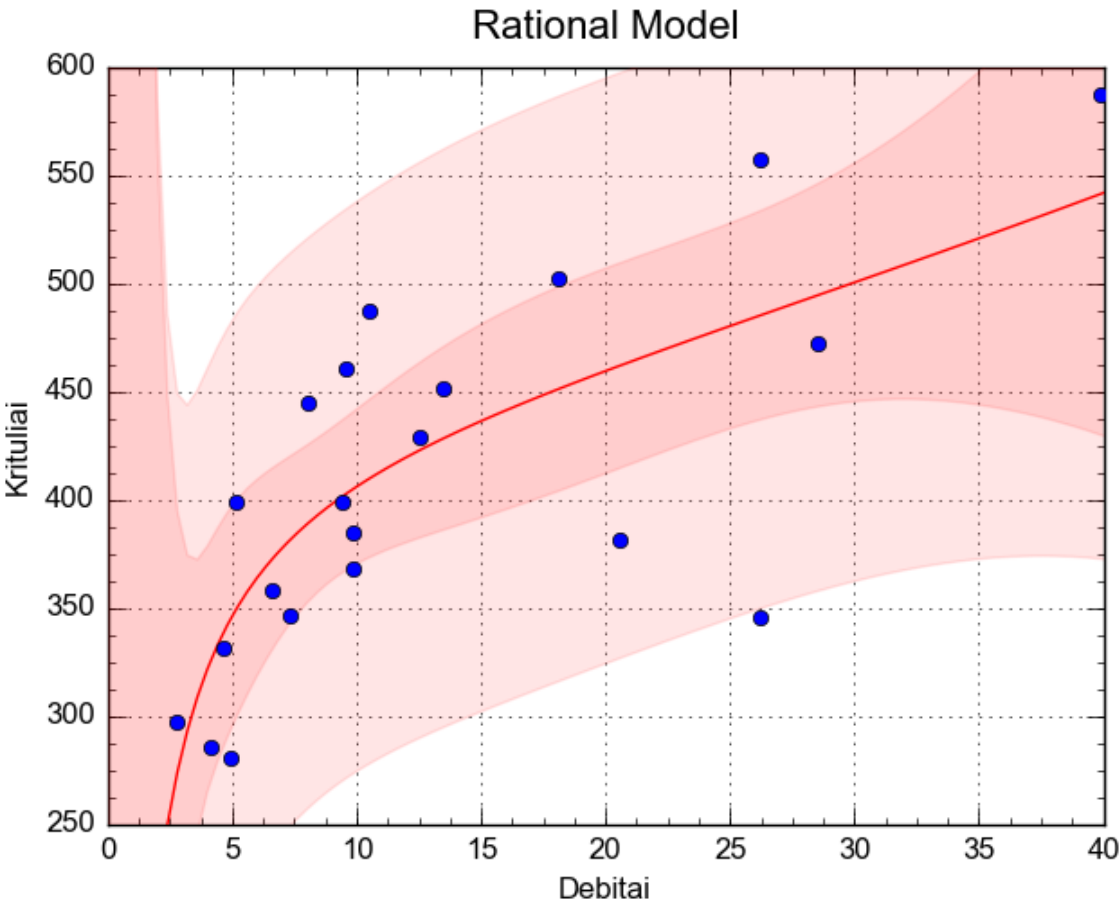
Širvintos upės vidutinių nuotėkių lygties *Reciprocal Quadratic-YD* grafikas ir koeficientai.



Name	Reciprocal Quadratic-YD
Kind	Regression
Family	Yield-Density Models
Equation	$y = x/(a + b*x + c*x^2)$
# of Indep. Vars	1
Weighting	Default
Standard Error	57.24997088404489
Correlation Coeff. (r)	0,766081
Coeff. of Determination (r^2)	0.5868799537880678
DOF	18
AICC	171,421442

Priedas Nr. 18

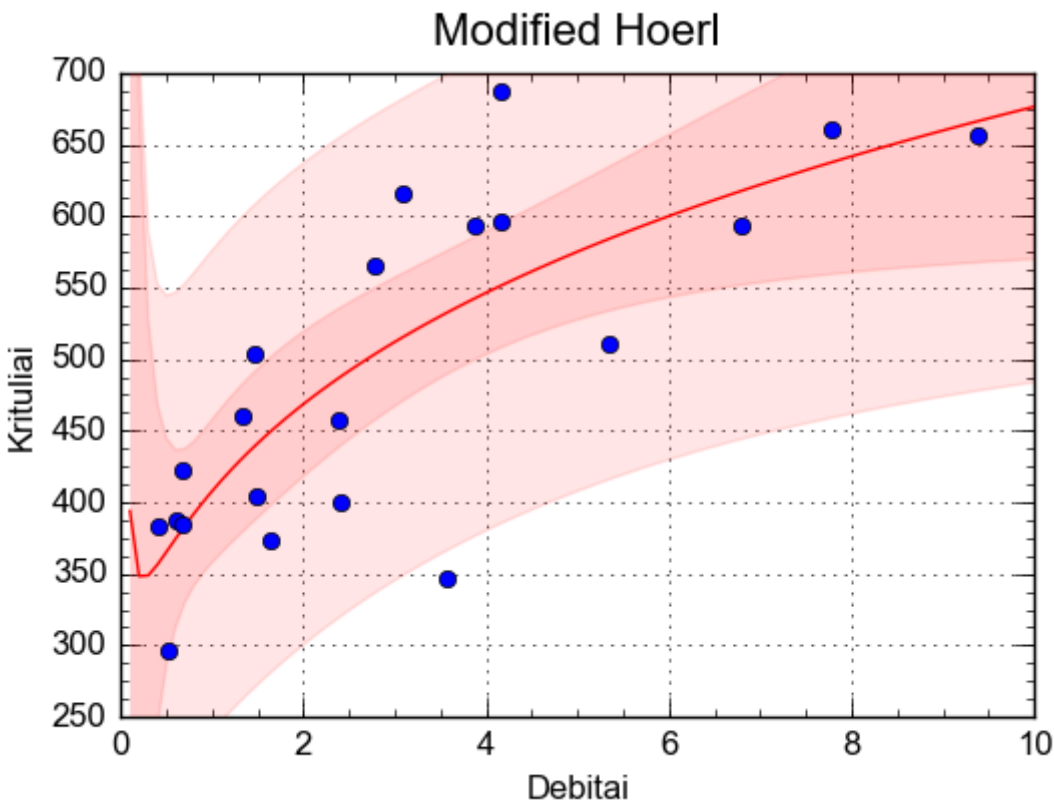
Širvintos upės maksimalių nuotėkių lygties *Rational model* grafikas ir koeficientai.



Name	Rational Model
Kind	Regression
Family	Miscellaneous
Equation	$y = (a+b*x)/(1 + c*x + d*x^2)$
# of Indep. Vars	1
Weighting	Default
Standard Error	60.10272598287227
Correlation Coeff. (r)	0,754969
Coeff. of Determination (r^2)	0.5699781876092098
DOF	17
AICC	175,008592

Priedas Nr. 19

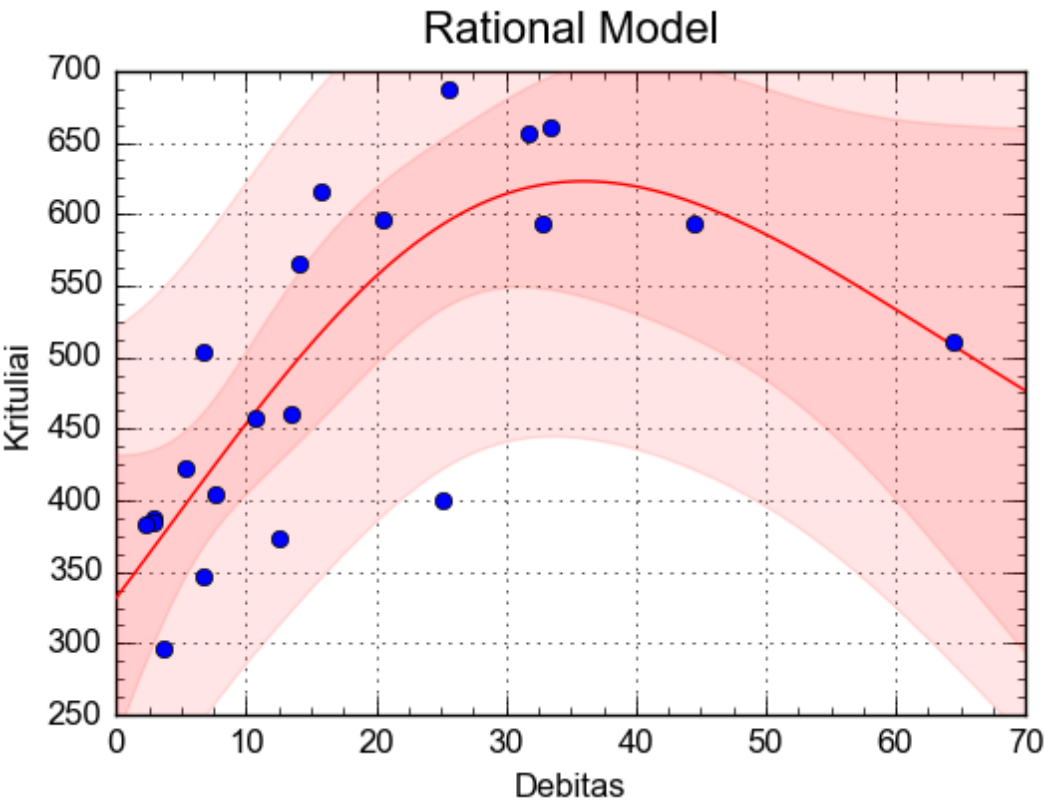
Šušvės upės vidutinių nuotėkių lygties *Modified Hoerl* grafikas ir koeficientai.



Name	Modified Hoerl
Kind	Regression
Family	Power Law Family
Equation	$y = a \cdot b^{(1/x)} \cdot x^c$
# of Indep. Vars	1
Weighting	Default
Standard Error	76.41717847378875
Correlation Coeff. (r)	0,786941
Coeff. of Determination (r^2)	0.6192756490456724
DOF	18
AICC	183,550218

Priedas Nr. 20

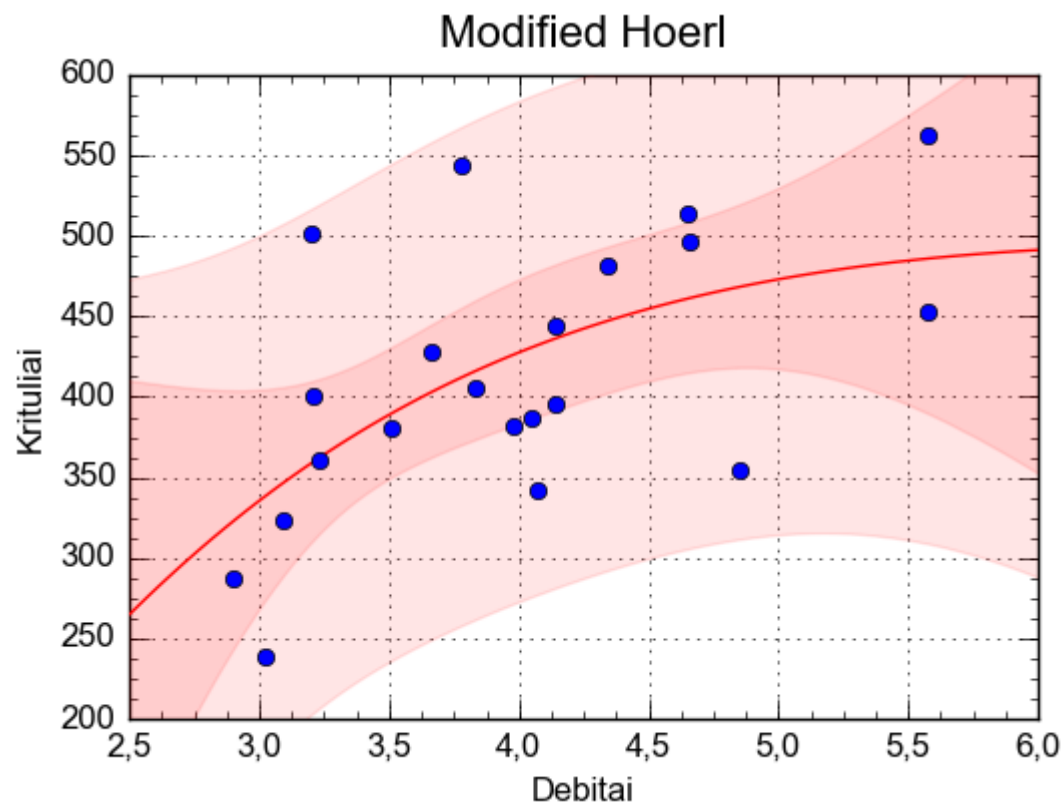
Šušvės upės maksimalių nuotėkių lygties *Rational model* grafikas ir koeficientai.



Name	Rational Model
Kind	Regression
Family	Miscellaneous
Equation	$y = (a+b*x)/(1 + c*x + d*x^2)$
# of Indep. Vars	1
Weighting	Default
Standard Error	76.1325322473076
Correlation Coeff. (r)	0,801936
Coeff. of Determination (r^2)	0.6431007586254471
DOF	17
AICC	184,938252

Priedas Nr. 21

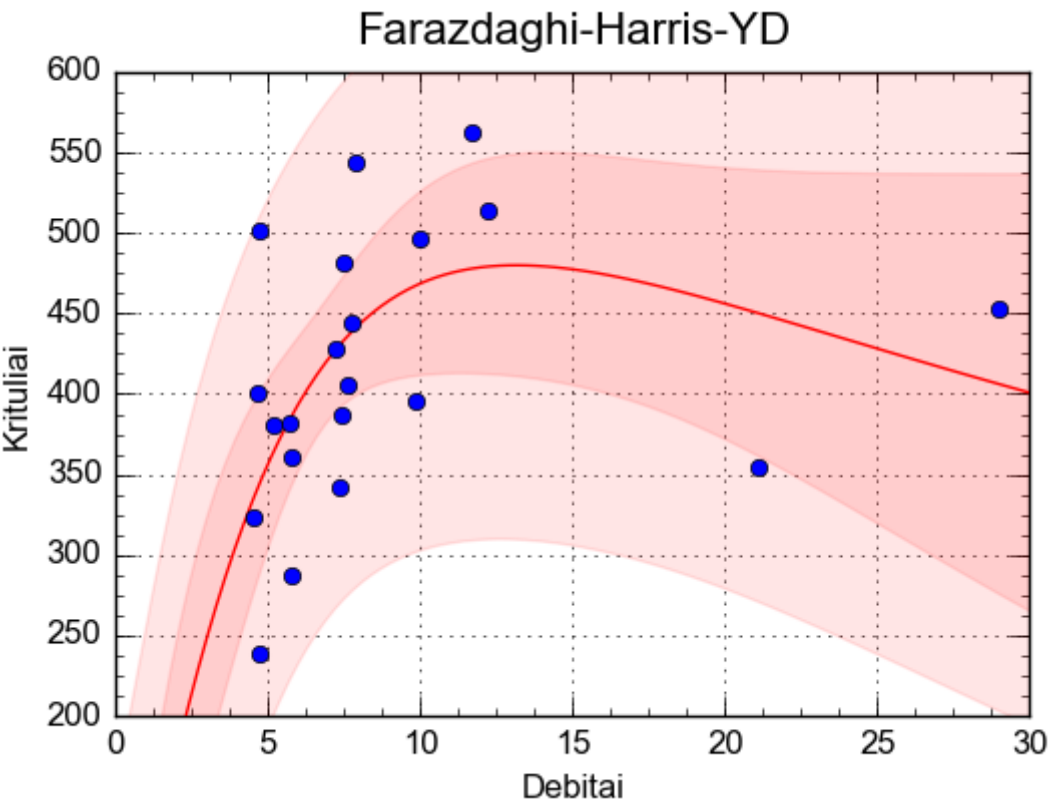
Ūlos upės vidutinių nuotėkių lygties *Modified Hoerl* grafikas ir koeficientai.



Name	Modified Hoerl
Kind	Regression
Family	Power Law Family
Equation	$y = a \cdot b^{(1/x)} \cdot x^c$
# of Indep. Vars	1
Weighting	Default
Standard Error	70.88445572293332
Correlation Coeff. (r)	0,595167
Coeff. of Determination (r^2)	0.3542232581667064
DOF	18
AICC	180,393651

Priedas Nr. 22

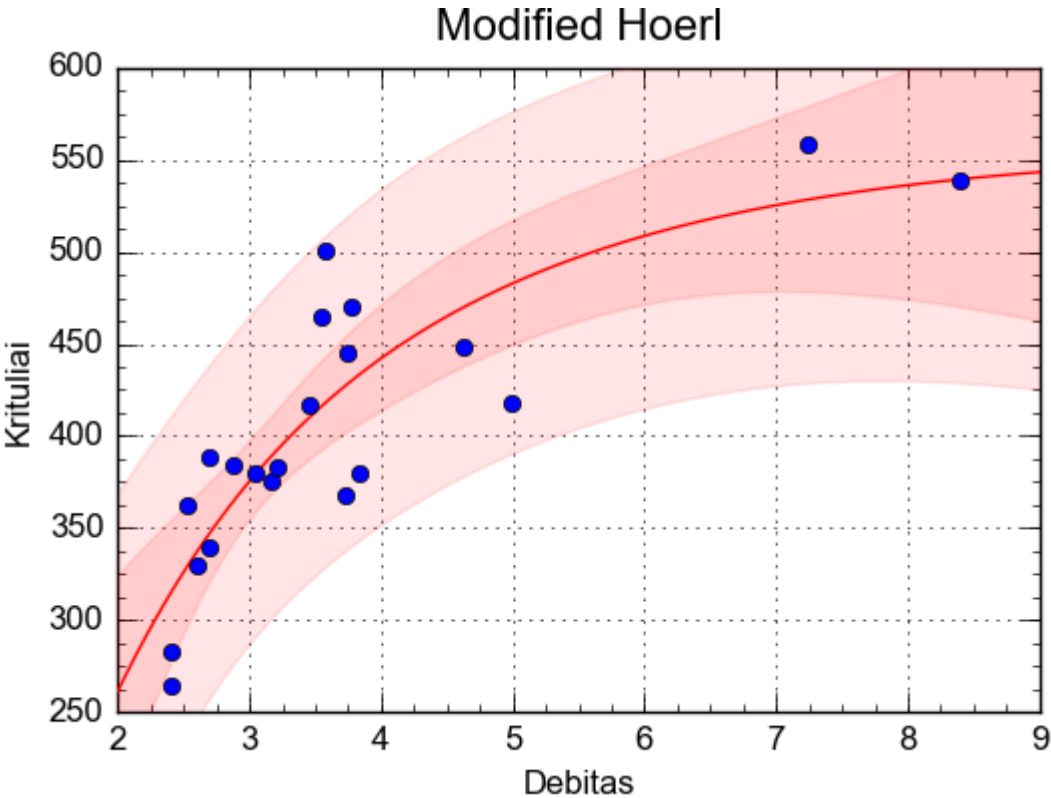
Ūlos upės maksimalių nuotėkių lygties *Farazdaghi-Harris-YD* grafikas ir koeficientai.



Name	Farazdaghi-Harris-YD
Kind	Regression
Family	Yield-Density Models
Equation	$y = x/(a + b*x^{\gamma})$
# of Indep. Vars	1
Weighting	Default
Standard Error	74.15856017542161
Correlation Coeff. (r)	0,541470
Coeff. of Determination (r^2)	0.29318955328784735
DOF	18
AICC	182,290134

Priedas Nr. 23

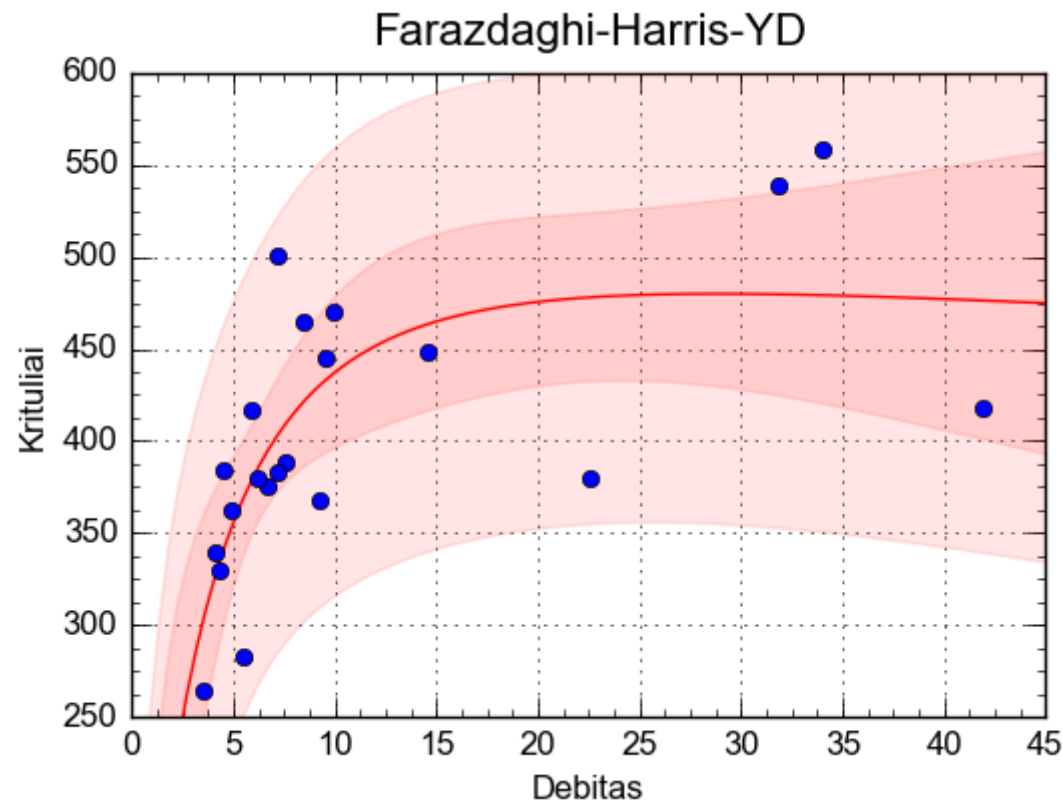
Verknės upės vidutinių nuotėkių lygties *Modified Hoerl* grafikas ir koeficientai.



Name	Modified Hoerl
Kind	Regression
Family	Power Law Family
Equation	$y = a * b^{(1/x)} * x^c$
# of Indep. Vars	1
Weighting	Default
Standard Error	41.18154607278153
Correlation Coeff. (r)	0,855170
Coeff. of Determination (r^2)	0.7313159564439264
DOF	18
AICC	157,585093

Priedas Nr. 24

Verknės upės maksimalių nuotėkių lygties *Farazdaghi-Harris-YD* grafikas ir koeficientai.



Name	Farazdaghi-Harris-YD
Kind	Regression
Family	Yield-Density Models
Equation	$y = x/(a + b \cdot x^{\gamma})$
# of Indep. Vars	1
Weighting	Default
Standard Error	54.54594897058771
Correlation Coeff. (r)	0,727070
Coeff. of Determination (r^2)	0.5286303841207795
DOF	18
AICC	169,389327