



VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

APLINKOS INŽINERIJOS FAKULTETAS

APLINKOS APSAUGOS IR VANDENS INŽINERIJOS KATEDRA

Lina, Šlepikaitė

**LIETUVOS UPIŲ POTVYNIŲ KAITOS TYRIMAI IR PROGNOZĖS
RESEARCH AND FORECASTS OF LITHUANIAN RIVERS FLOOD
CHANGE**

Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX035

Vandens ūkio 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)
Raimondas Grubliauskas
(Vardas, pavardė)

(Data)

Lina Šlepikaitė

LIETUVOS UPIŲ POTVYNIŲ KAITOS TYRIMAI IR PROGNOZĖS
RESEARCH AND FORECASTS OF LITHUANIAN RIVERS FLOOD CHANGE

Baigiamasis magistro darbas

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa, valstybinis kodas 6211EX035

Vandens ūkio inžinerijos specializacija

Aplinkos inžinerijos studijų kryptis

Vadovas

doc.dr. Lina Bagdžiūnaitė–Litvinaitienė
(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

Vandens ūkio inžinerijos studijų programa

Valstybinis kodas 6211EX035

TVIRTINU
Katedros vedėjas

(Parašas)

Raimondas Grubliauskas

(Vardas, pavardė)

(Data)

**BAIGIAMOJO MAGISTRO DARBO
UŽDUOTIS**

.....Nr.

Vilnius

Studentei: Linai Šlepikaitei

Baigiamojo darbo tema: LIETUVOS UPIŲ POTVYNIŲ KAITOS TYRIMAI IR PROGNOZĖS
patvirtinta 2022 m. balandžio 12 d. dekanų potvarkiu Nr. 72ap

Baigiamojo darbo užbaigimo terminas 2022 m. gegužės 25 d.

BAIGIAMOJO DARBO UŽDUOTIS:

Parengti mokslinių darbų apžvalgą apie upių potvynių formavimosi ir kaitos ypatybes. Pasirinkti Lietuvos upes, kurios bus analizuojamos pagal hidrologinius ir meteorologinius parametrus. Susipažinti su pasaulinės meteorologijos organizacijos sudarytomis klimato kaitos prognozėmis.

Naudojant TREND programinę įrangą atlikti statistinę analizę naudojant neparametrinius Spearman'o Rho ir Mann-Kendall'io testus. Pagal skirtingus CMIP5 klimato modelius atliktas kritulių ir temperatūros prognozes 2081–2100 metams parengti hidrologinę prognozę nagrinėjamoms upėms.

Baigiamojo darbo rengimo konsultantai: lietuvių kalbos konsultantas dr. Aušra Žemienė.

Vadovas
(Parašas)

doc. dr. Lina Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė

Užduotį gavau

.....

(Parašas)

.....Lina Šlepikaitė...

(Vardas, pavardė)

.....

(Data)

Vilniaus Gedimino technikos universitetas Aplinkos inžinerijos fakultetas Aplinkos apsaugos ir vandens inžinerijos katedra		ISBN _____ ISSN _____ Egz. sk. Data-.....-.....
Antrosios pakopos studijų Vandens ūkio inžinerijos programos magistro baigiamasis darbas Pavadinimas Lietuvos upių potvynių kaitos tyrimai ir prognozės Autorius Lina Šlepikaitė Vadovas Lina Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė		
Kalba: lietuvių		
Anotacija Baigiamajame magistro darbe nagrinėjama Lietuvos upių potvynių kaita. Atlikta 1988–2018 laikotarpio meteorologinių ir hidrologinių duomenų analizė. Neparametriniais Mann-Kendall ir Spearman's Rho testais nustatyta 1988–2018 metų debitų kaitos tendencijos. Palyginti skirtingų Lietuvos hidrologinių rajonų upių hidromoduliai. Išanalizuoti kritulių ir debitų koreliacijos koeficientai bei nustatytas jų patikimumas. Pagal skirtingus CMIP5 klimato modelius atlikta kritulių ir temperatūros prognozė 2081–2100 metams. Remiantis gautomis prognozėmis, su Curve programos modeliais prognozuoti tolimes ateities nuotėkio pokyčiai. Išnagrinėjus upių debito kaitą ir atlikus upių nuotėkio prognozę pateikiamos baigiamojo darbo išvados. Darbą sudaro 5 dalys: įvadas, literatūros apžvalga, tyrimų objektas ir metodika, išvados, literatūros sąrašas. Darbo apimtis –68 p. teksto be priedų, 58 iliustr., 15 lent., 62 bibliografiniai šaltiniai. Atskirai pridedami darbo priedai.		
Prasminiai žodžiai: Potvyniai, hidromodulis, prognozė, krituliai, debitas, nuotėkis, upės, tendencijos.		

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

Title	Research and Forecasts of Lithuanian Rivers Flood Change
Author	Lina Šlepikaitė
Academic supervisor	Lina Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė

Keywords: Floods, hydromodule, forecast, precipitation, flow, runoff, rivers, trends.

(Baigiamojo darbo sąžiningumo deklaracijos forma)

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

Lina Šlepikaitė, 20162820

(Studento vardas ir pavardė, studento pažymėjimo Nr.)

Aplinkos inžinerijos fakultetas

(Fakultetas)

Vandens ūkio inžinerija, VImf-20

(Studijų programa, akademinė grupė)

BAIGIAMOJO DARBO (PROJEKTO)

SĄŽININGUMO DEKLARACIJA

2022 m. gegužės 23 d.

Patvirtinu, kad mano baigiamasis darbas tema „Lietuvos upių potvynių kaitos tyrimai ir prognozės“ patvirtintas dekanų potvarkiu Nr. , yra savarankiškai parašytas. Šiame darbe pateikta medžiaga nėra plagijuota. Tiesiogiai ar netiesiogiai panaudotos kitų šaltinių citatos pažymėtos literatūros nuorodose.

Prenkant ir įvertinant medžiagą bei rengiant baigiamąjį darbą, mane konsultavo mokslininkai ir specialistai: docentas daktaras Lina Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė. 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).

(Parašas)

Lina Šlepikaitė
(Vardas ir pavardė)

Turinys

IVADAS	11
1. LITERATŪROS APŽVALGA	13
1.1. Potvyniai, jų priežastys, skirstymas.....	13
1.2. Potvynių rizika.....	16
1.2.1. Klimato kaita ir jos poveikis hidrologinėms sąlygoms	18
1.2.2. Potvynių pasekmės	21
1.2.3. Pasaulio potvynių prognozės ir tendencija	24
2. TYRIMO OBJEKTAS IR METODIKA	31
2.1. Tyrimo objektas.....	31
2.2. Tyrimo metodika	36
2.2.1. Hidrologinių ir meteorologinių duomenų apdorojimas	36
2.2.2. Vandeningumo įvertinimas pagal tikimybes	37
2.2.3. Kritulių ir debito priklausomybės nustatymas naudojant koreliacijos koeficientus	38
2.2.4. Nuotėkio hidromodulio skaičiavimas.....	39
2.2.5. Tendencijų vertinimas Mann-Kendall ir Spearman‘s Rho testais	39
2.2.6. Variacijos koeficientų nustatymas.....	40
2.2.7. Nuotėkio modulinių koeficientų nukrypimo nuo vidurkio integralinės kreivės nustatymas	40
2.2.8. Klimato prognozavimas.....	41
2.2.9. Hidrologinių parametrų prognozės	44
3. TYRIMO REZULTATAI	48
3.1. Hidrologinių duomenų kaitos analizė.....	48
3.2. Upių tendencijų vertinimas pagal Mann-Kendall ir Spearman‘s Rho testų rezultatus..	61
3.3. Meteorologinių duomenų įvertinimas	65
3.4. Klimato parametrų pokyčių prognozė	69
3.5. Kritulių ir temperatūros ateities prognozės	71
3.6. Nuotėkio prognozė	74
IŠVADOS	79
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	80
Priedai	84

PAVEIKSLŲ SĄRAŠAS

1.1 pav. Sangrūdų formavimosi vietos	15
1.2 pav. Potvynių tendencijos skirtinguose baseinuose.....	16
1.3 pav. Didelės rizikos potvynių žemėlapis	17
1.4 pav. Potvynių rizikos veiksniai.....	18
1.5 pav. Kritulių pokytis, mm per dešimtmetį 1901–2010 ir 1951–2010.....	20
1.6 pav. Potvynių susidarymo vietos ir žuvusiųjų skaičiai pagal šalis	22
1.7 pav. Bendras potvynių ir žuvusiųjų skaičius nuo 1870 m. iki 2016 m pagal mėnesį.....	22
1.8 pav. Pietų Fabijaus upės, debitų grafikas pagal potvynių dydį	25
1.9 pav. Europos upių potvynių tendencijos dešimtmečiui (1960–2010 m.)	27
1.10 pav. Kanados nereguliuotų upių vagų potvynių tendencija dešimtmečiui (a).....	28
1.11 pav. Kanados sureguliuotų upių vagų potvynių tendencija dešimtmečiui (b).....	28
1.12 pav. Upių nuotėkio pikų tendencijos (a).....	28
1.13 pav. Upių nuotėkio pikų tendencijos (b)	29
2.1 pav. Analizuojami Lietuvos upių baseinai ir pabaseiniai	31
2.2 pav. Lietuvos upių matinimo tipai ir jų procentinė dalis hidrologiniuose rajonuose	32
2.3 pav. Nagrinėjamas Minijos upės baseinas	33
2.4 pav. Nagrinėjamas Jūros upės baseinas	33
2.5 pav. Nagrinėjamas Dubysos upės baseinas	34
2.6 pav. Nagrinėjamas Žeimenos upės baseinas.....	35
2.7 pav. Nagrinėjamas Merkio upės baseinas Lietuvos teritorijoje.....	36
2.8 pav. Hidrologijos stočių žemėlapis.....	37
2.9 pav. Meteorologijos stotys.....	37
2.10 pav. Prognozuojamas CO ₂ koncentracijos (ppm) kitimas pagal skirtingus RCP scenarijus	42
2.11 pav. GFDL-CM3 klimato modelio gardelių pasiskirstymas Lietuvos meteorologinėse stotyse.....	43
2.12 pav. HadGEM2-ES klimato modelio gardelių pasiskirstymas Lietuvos meteorologinėse stotyse.....	43
2.13 pav. NorESM1-M klimato modelio gardelių pasiskirstymas Lietuvos meteorologinėse stotyse.....	44
3.1 pav. Vakarų regiono upių vidutiniai metiniai hidromoduliai	48
3.2 pav. Vakarų regiono upių vidutinio metinio nuotėkio modulinių koeficientų nukrypimo nuo vidurkio integralinė kreivė	49
3.3 pav. Vakarų regiono upių vidutiniai vasario–gegužės mėnesių hidromoduliai.....	50
3.4 pav. Pietryčių Lietuvos regiono upių vidutiniai metiniai hidromoduliai.....	50
3.5 pav. Pietryčių Lietuvos upių vidutinio metinio ir vasario–gegužės nuotėkio modulinių koeficientų nukrypimo nuo vidurkio integralinė kreivė	51
3.6 pav. Pietryčių regiono upių vidutiniai vasario–gegužės mėnesių hidromoduliai	52
3.7 pav. Merkio upėje užfiksuoti potvyniai	52

3.8 pav. Merkio upės žemupys (1) potvynio metu (2022–02–23)	53
3.9 pav. Merkio upės vaga potvynio metu (kairėje) (2022–02–23), gegužės mėnesį (dešinėje) (2022–05–10)	53
3.10 pav. Merkio upė potvynio metu aukštupyje (3) (2022–02–23).....	53
3.11 pav. Vandens lygis potvynio metu Puvočių hidrologinėje stotyje (2022–02–23)	54
3.12 pav. Vandens lygis potvynio metu Puvočių hidrologinėje stotyje (2022–05–10)	54
3.13 pav. Lėvens upės vidutiniai metiniai ir vasario–gegužės vidutiniai hidromoduliai.....	55
3.14 pav. Lėvens upės vidutinio metinio ir vasario–gegužės mėnesių nuotėkio modulių koeficientų nukrypimo nuo vidurkio integralinė kreivė	55
3.15 pav. Minijos upės potvynis 1994 metais	57
3.16 pav. Maksimalių debitų pasiskirstymas dešimtmečiais 1988–1997 ir 2009–2018 metai	58
3.17 pav. Kritulių pasiskirstymas meteorologinės stotyse 1988–2018 metai	66
3.18 pav. Kritulių pasiskirstymas vasario–gegužės mėnesiais meteorologinės stotyse 1988–2018 metais.....	67
3.19 pav. Merkio upės vidutinių metinių debitų ir Varėnos MS kritulių pasiskirstymas 1988–2018 laikotarpiu.....	68
3.20 pav. Jūros upės vidutinių metinių debitų ir Laukuvos MS kritulių pasiskirstymas 1988–2018 laikotarpiu.....	68
3.21 pav. Lėvens upės vidutinių metinių debitų ir Utenos MS kritulių pasiskirstymas 1988–2018 laikotarpiu.....	69
3.22 pav. Skirtingų klimato modelių ir scenarijų oro temperatūros pokytis (°C) 2081–2100 laikotarpiui.....	70
3.23 pav. Skirtingų scenarijų kritulių pokytis (%) 2081–2100 laikotarpiui.....	70
3.24 pav. Vidutinis 1988–2018 metų kritulių kiekis.....	71
3.25 pav. Vidutinė metinė temperatūra meteorologinėse stotyse °C 1988–2018 metais.....	72
3.26 pav. Vidutinė metinė ir prognozinė temperatūra meteorologinėse stotyse °C.....	73
3.27 pav. Prognozuojamas Minijos upės ties Kartena vidutinio nuotėkio prognozė 2081–2100 metams, pagal skirtingus RCP scenarijus, CMIP5 klimato modelius ir Curve Expert modelius	75
3.28 pav. Prognozuojamas Jūros upės ties Taurage vidutinio nuotėkio prognozė 2081–2100 metams, pagal skirtingus RCP scenarijus, CMIP5 klimato modelius ir Curve Expert modelius	76
3.29 pav. Prognozuojamas Dubysos upės ties Lyduvėnais vidutinio nuotėkio prognozė 2081–2100 metams, pagal skirtingus RCP scenarijus, CMIP5	76
3.30 pav. Prognozuojamas Lėvens upės ties Kupiškio vidutinio nuotėkio prognozė 2081–2100 metams, pagal skirtingus RCP scenarijus, CMIP5 klimato modelius ir Curve Expert modelius	77
3.31 pav. Prognozuojamas Merkio upės ties Puvočiais vidutinio nuotėkio prognozė 2081–2100 metams, pagal skirtingus RCP scenarijus, CMIP5 klimato modelius ir Curve Expert modelius	77

LENTELIŲ SĄRAŠAS

1.1 lentelė. Ekstremalių reiškinių tendencija.....	19
1.2 lentelė. Potvynių nuostolių rūšys.....	23
2.1 lentelė. Nagrinėjamų upių duomenys	31
2.2 lentelė. Koreliacijos koeficientai ir jų stiprumas	38
2.3 lentelė. Modelių išvesties duomenų gardelių centriniai taškai ir juos patenkančios Lietuvos meteorologinės stotys.....	42
3.1 lentelė. Maksimalūs pavasario debitai ir jų hidromoduliai (1988–2018).....	56
3.2 lentelė. Pavasario potvynio pikų debitų palyginimas su vidutiniais metiniais ir vidutiniais vasario–gegužės debita.....	60
3.3 lentelė. Nagrinėjamo laikotarpio 1988–2018 dešimtmečių vasario–gegužės maksimalių debitų Mann-Kendall ir Spearman‘s Rho testų rezultatai	61
3.4 lentelė. Nagrinėjamo laikotarpio 1988–2018 vidutinių metinių ir vasario–gegužės debitų Mann-Kendall ir Spearman‘s Rho testų rezultatai	62
3.5 lentelė. Nagrinėjamo laikotarpio 1988–2018 dešimtmečių vidutinių debitų Mann-Kendall ir Spearman‘s Rho testų rezultatai	63
3.6 lentelė. Nagrinėjamo laikotarpio 1988–2018 dešimtmečių vasario–gegužės debitų Mann-Kendall ir Spearman‘s Rho testų rezultatai.....	64
3.7 lentelė. Prognozuojamos 2081–2100 metų, vidutinės temperatūros ir kritulių kiekiai pagal klimato modelį GFDL-CM3	71
3.8 lentelė. Prognozuojamos 2081–2100 metų, vidutinės temperatūros ir kritulių kiekiai pagal klimato modelį NorESM1-M	73
3.9 lentelė. Prognozuojamos 2081–2100 metų, vidutinės temperatūros ir kritulių kiekiai pagal klimato modelį HadGEM2-ES.....	74
3.10 lentelė. Vidutinių metinių kritulių ir debitų koreliacijos koeficientai bei duomenų patikimumas.....	74

IVADAS

Pasauliui sparčiai vystantis ir keičiantis klimatui pastebimas vis didesnis ekstremalių įvykių pasikartojimas bei kylantis pažeidžiamumas žmogui. Pastebimos augančios nelaimingų atsitikimų, susietų su potvynių žala, tendencijos. Katastrofinių nelaimių skaičius pasaulyje išaugo. Potvyniai sukelia didelius nemalonumus žmonijai socialinėje ir ekonominėje erdvėje. Nieko keisto, kad žmonės patys prie to prisideda: pakeičia natūralius žemės plotus į ūkininkavimo, plečia infrastruktūrą, išauga gamyklų, teršiančių orą, skaičius (Mahmood et al., 2016).

Sparčiai keičiantis klimatui pasaulyje, vis dažniau pradedama kalbėti apie jo padarinius vandens resursams. Todėl kyla vis didesnės ekstremalių hidrologinių procesų rizikos, kurias prognozuoti darosi vis sunkiau. Stichinių reiškinių, pavyzdžiui, potvynio ar nuosėdžio, nagrinėjimas, tampa reikalingas modeliuojant hidrotechninius statinius. Norint išvengti hidrologinių katastrofų padarinių, reikalinga atlikti šių įvykių prognozės, kurios sudaromos išnagrinėjant ekstremalius hidrologinius reiškinius bei atsižvelgiant į upių nuotėkio pasikeitimus (Kriaučiūnienė et al., 2016).

Prognozuojamas temperatūros kilimas yra viena iš priežasčių, sukeliančių klimato kaitą. Taip pat kritulių iškritimas bei jų išgaravimas sukelia negrįžtamų padarinių, susijusių su hidrologiniu upių režimu ir upių vandens lygio svyravimais.

Potvyniai buvo ir yra žmonijos istorijoje labai dažna stichinė nelaimė. Pastaruoju metu dėl besikeičiančio klimato potvyniai darosi dar grėsmingesni ir mažiau prognozuojami. Šią problemą bando analizuoti daugybė mokslininkų, nori suprasti ir paaiškinti šio sunkiai kontroliuojamo proceso svarbą, todėl apie tai galima surasti nemažai literatūros. Europos Aplinkos apsaugos agentūros duomenimis per 10 metų (1998–2009) Europa patyrė daugiau nei 213 didelių katastrofinių potvynių. Potvynių metu padaryta didžiulė žala aplinkai ir žmonėms (Meilutytė-Lukauskienė et al., 2017).

Tikslas

Tikslas – įvertinti Lietuvos upių potvynių kaitą bei atlikti jų prognozę, remiantis Pasaulinės meteorologinės organizacijos skelbiamais duomenimis apie klimato modelius.

Uždaviniai

- Sudaryti ir įvertinti Jūros, Minijos, Dubysos, Lėvens, Žeimenos ir Merkio upių 1988–2018 metų kiekvienos dienos hidrologinių duomenų bazes.
- Sudaryti ir įvertinti Laukuvos, Utenos, Vilniaus ir Varėnos meteorologinių stočių duomenų bazes 1988–2018 metams.
- Naudojantis neparametriniais Mann-Kendall ir Spearman‘s Rho testais, statistiškai įvertinti debitų duomenis.
- Įvertinti Pasaulinės meteorologinės organizacijos (PMO) klimato modelių prognozes.
- Remiantis *Curve expert 2.7* programos modeliais, parengti upių nuotėkio prognozę 2081–2100 metams.

Naujumas

Vis dažniau pasaulio šalis ištinka mažiau prognozuojami potvyniai – Lietuva ne išimtis. Svarbu stebėti, kaip keičiasi potvyniai ir ieškoti būdų jiems prognozuoti, nustatant ir analizuojant potvyniams įtaką darančius veiksnius. Pasaulio ir Lietuvos mokslininkai tiria šiuos reiškinius ir bando atrasti patikimų būdų jiems prognozuoti. Taip pat nemažas dėmesys skiriamas klimato kaitos pokyčiams ir jų įtakai upių hidrologiniam režimui analizuoti.

Darbe tiriamos šešios skirtingų Lietuvos hidrologinių rajonų upės. Analizei naudojami meteorologinių ir hidrologinių duomenų rinkiniai. Taip pat analizuojama Pasaulinės meteorologinės organizacijos klimatinių modelių GFDL-CM3, NorESM1-M ir HadGEM2-ES teikiami duomenys, kuriuos naudoja meteorologinės stotys, prognozuodamos orus.

Stebima, kaip potvyniai formuojasi upių, su skirtingomis nuogulomis, baseinuose ir skirtingo maitinimo šaltinių upėse.

Darbo aktualumas

Pasaulyje didėjant urbanizacijos mastui, žmonijai tenka susidurti su klimato kaitos problemomis ir jų padariniais. Pavyzdžiui, vis labiau keičiami upių hidrologiniai režimai lemia neprognozuojamas katastrofas, susijusias su potvyniais. Potvyniai darosi didesni ir mažiau prognozuojami, taip pat iškyla didesnis pavojus teritorijoms, įsikūrusioms prie upių vagų. Dėl sparčiai šylančio klimato pastebimas upių nuotėkio pasiskirstymo netolygumas.

Klimato kaita kelia vis didesnę susirūpinimą upių potvyniais dėl kurios potvyniai darosi vis mažiau prognozuojami. Visame pasaulyje didėja ekonominių nuostolių, susijusių su potvyniais, mastas. Tiek trumpalaikiai, tiek ilgalaikiai upių potvynių pokyčiai yra reikšmingi pasirenkant apsaugos nuo potvynių ir rizikos zonų planavimo priemones.

1. LITERATŪROS APŽVALGA

1.1. Potvyniai, jų priežastys, skirstymas

Skirtingi literatūros šaltiniai ir teisės aktai potvynį apibrėžia kaip, nuoseklų vandens lygio kilimą upėje pavasario mėnesiais ir lėtą jo atoslūgį. Dažniausiai potvyniai fiksuojami pavasario sezono metu, kiekvienais metais būdingas pasikartojimo laikas, tačiau pastebimas nevienodas vandeningumas ir trukmė. Vykstant potvyniui, vanduo įprastai išsilieja iš upės vagos ir užtvindo upių slėnio dalyje esančias teritorijas (Gailiušis et al., 2001).

Statybos Techniniame reglamente STR 2.05.19:2005 „Inžinerinė hidrologija. Pagrindiniai skaičiavimų reikalavimai“ teigiama, kad „Pavasario potvynis – kasmet pasikartojanti upės vandens režimo fazė, susidaranti tirpstant sniegui, pasižyminti dideliu vandeningumu, aukštu ir ilgalaikiu vandens lygių pakilimu“, o potvynį kurį sukelia lietaus krituliai apibūdina taip: „liūčių potvynis, poplūdis – staigus debito padidėjimas ir vandens lygio pakilimas upėje, sukeltas liūtis. Mažuose upeliuose gali būti reikšmingesnis, nei pavasario potvynis“. Galima manyti, kad vandeningesnėse upėse galima lengviau pastebėti pavasario sukeltus potvynius, o mažai vandeningose upėse liūčių sukeliamus poplūdžius.

Potvynių direktyvoje 2007/60/EB pateiktas potvynių apibūdinimas „potvynis – laikinas žemės užtvindymas, kuris, paprastai, nėra po vandeniu.“ (Parlamento ir Europos sąjungos taryba 2007).

Bates su kolegomis (2008) pastebi, kad potvyniai yra priklausomi nuo klimato sistemos kritulių intensyvumo, jų dažnumo, laiko, kritulių fazės – lietus ar sniegas, temperatūros pasikeitimų. Potvynius lemia upės baseino drenažo sąlygos, sniego ir ledo dangos storis, dirvožemio savybės absorbuoti vandens kiekiui, urbanizuotų teritorijų plotas, hidrotechniniai statiniai (Brakenridge et al., 2013).

Potvynių reiškinius sukelia susiję hidrometeorologiniai veiksniai, pavyzdžiui, sniego tirpimas, kritulių gausumas ar ciklono pasekmės. Žmonės taip pat prisideda prie potvyniams įtaką darančių veiksnių. Pavyzdžiui, žmonių statomos užtvankos, neleidžiančios vandeniui tekėti natūralia tėkme, pavasarį dėl ledų sangrūdos gali neatlaikyti ir daryti tiesioginę įtaką potvyniui. Potvynio susidarymo tikimybę gali lemti priklausymas tam tikriems geografiniams regionams, dažniausiai tai pastebima upių pakrančių teritorijose (Hunt, 2005). Potvyniams tiesioginę įtaką turi ir žemės fizinės charakteristikos (pvz., dirvožemio rūšis, jo absorbcijos galimybės, augalijos kiekis upės teritorijoje, upės baseino nuotėkio savybės (Montz & Tobin, 2011). Potvyniai gali būti staigūs, kurių neįmanoma prognozuoti, jie įvyksta labai greitai be jokių įspėjimų, arba lėti potvyniai, kurių metu vanduo kyla palaipsniui per kelias dienas ar net tęsiasi keletą savaičių (Doocy et al., 2013).

Mokslininkas V. Akstinas (2020) su kolegomis iš istorinių įrašų apie potvynius pastebi, kad juos sukelia neprognozuojami kritulių reiškiniai. Prie potvynių priežasčių prisideda didesnis kritulių kiekis, taip pat kylanti teigiama oro temperatūra, kuri sužadina sniego tirpsmą, dirvožemio infiltracinės savybės ir jo pralaidumas vandeniui. Iš atliktų tyrimų Jungtinėse Amerikos Valstijose manoma, kad potvynio kilimo priežastys upių nuotėkio baseinuose priklauso nuo dirvožemio prisotrinimo vandeniu ir kritulių. Norint lengviau ir tiksliau prognozuoti potvynio dydį, reikia nustatyti esamą sniego dangos storį, stebėti tirpimo greitį ir lietaus kritulių kiekį, taip pat jo poveikį sniego dangai bei susiformavusiam ledo sluoksniui.

Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba potvynius skirsto pagal sukeliančias priežastis: pavasario sezono potvyniai ir lietaus kritulių poplūdžiai. Potvynis, kai upėje kyla vandens lygis, dėl storos sniego dangos sluoksnio, kuris atėjus pavasariui kylant oro temperatūrai staiga pradeda tirpti. Jeigu žiemos metu sniego danga upės baseine buvo menka, tada susidaro mažas nuotėkis ir vandens pokytis upėje nežymiai padidėja, tokiu atveju priima, kad įvyko mažas potvynis. Didesnius upės potvynius lemia, tai kad po šaltos žiemos susikaupęs ledas upėje neleidžia vandeniui nutekėti, taip pat pakilusi oro temperatūra sužadina staigų sniego tirpsmą, todėl vanduo nespėja susigerti į dar apšalusią, ar per daug prisotintą žemės gruntą. Vanduo

pavirsta nuotėkiu, papildančiu dideliu vandens kiekiu upę (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba).

Diana Meilutytė-Lukauskienė su kolegomis (2017) Lietuvoje kylančius potvynius siūlo skirstyti į dvi rūšis: pavasario ir staigius potvynius. Pavasariniai potvyniai yra svarbiausi Lietuvos teritorijoje, jie susidaro tirpstant ledui ir plaukiant ledo sangrūdoms. Jų metu vandens lygis esantis upėje gali pakilti nuo keliolikos centimetrų iki kelių metrų. Pavasario metu tekantis debitas, dažniausiai sudaro didžiąją dalį metinio upių nuotėkio, taip pat potvynio maksimali reikšmė dažnai būna didžiausia metuose.

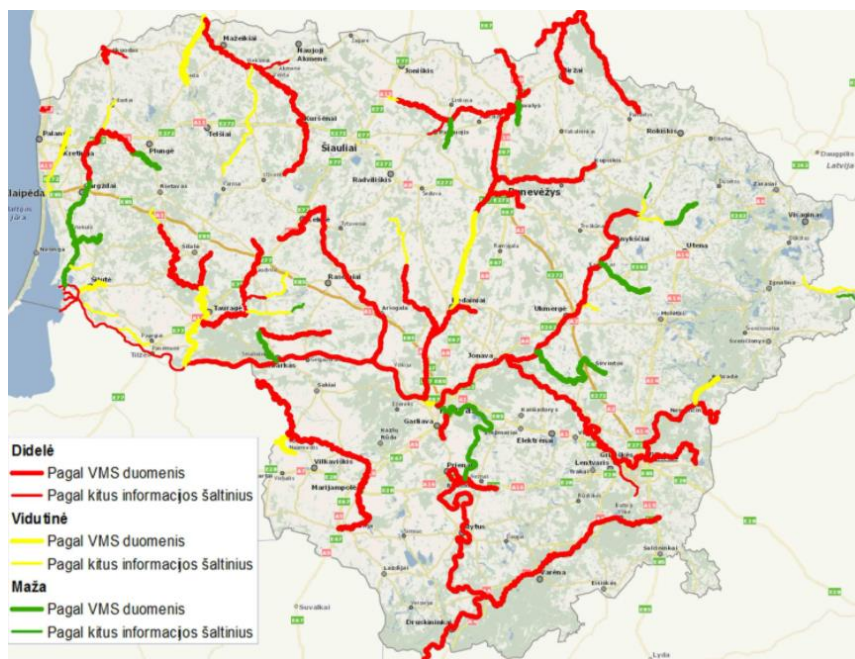
Užsienio literatūroje teigiama, kad potvyniai pagal kilmę gali būti natūralūs arba antropogeniniai, taip pat gali būti skirstomi į skirtingas rūšis. Dawei Han (2001) teigia, kad potvynius galimas skirstyti į staigius, upių potvynius, lietaus sukeltus potvynius, urbanizuotos teritorijos potvynius, požeminio vandens sukeltus potvynius, sutrikusių užtvankų potvynius. Brazdil ir jo kolegos (2002) mano, kad juos galima skirti į keturias grupes pagal potvynių trukmę ar kilmę: trumpai truncančių intensyvių kritulių bangos sukelti potvyniai, ilgai besitęsiančių kritulių, ledo tirpsmo potvyniai ir upės ledo sangrūdų sukelti potvyniai. Barredo (2007) potvynius siūlo skirstyti taip: upių potvyniai, staigūs potvyniai ir audros sukelti potvyniai.

Aplinkos apsaugos agentūros (AAA) duomenimis per 1812–2010 metus, Lietuvą buvo ištikę 154 katastrofiniai potvyniai. Nustatyta, kad dažniausia potvynių kilimo priežastis apie 70–75% nuo ištirpusio sniego nuotėkio ir ledų sangrūdų upėje. Taip pat, potvynius gali sukelti kylantis vandens lygis Baltijos jūroje, netikėtos hidrotechninių statinių avarijos. Dauguma Lietuvos potvynių kyla žiemos metu 35 % ir pavasario sezonais 60% (Aplinkos Apsaugos Agentūra, 2021).

Remiantis Aplinkos apsaugos agentūros turima informacija ledo sangrūdos yra viena iš svarbiausių potvynių priežasčių Lietuvos upėse. Ledo sangrūdos ir sniego tirpsmo nuotėkis sukelia upės patvanką ir upė išsilieja. Ištyrus 1960–2010 metus, buvo pastebėti 2759 ledų kamščių atvejai, kurie galėjo sukelti potvynius. Per šį tiriamą laikotarpį upės patvanka ≥ 400 cm pastebėta 28 kartus, o patvanka ≥ 200 cm 181 kartą. Pastebima, kad pastaruoju metu ledai upėse susiformuoja vėliau ir išbūna trumpesnį laikotarpį, tai leidžia potvyniams susidaryti ankščiau (Dūdėnas, 2018).

Lietuvoje pagal Hidrometeorologijos tarnybos informaciją ir esamus upių baseino vietovių reljefus Aplinkos apsaugos agentūra skelbia žemėlapius, kuriuose nurodomos ledo sangrūdų susidarymo tikimybės (1.1 pav.). Atsižvelgiant į vandens matavimo stočių (VMS) skelbiamus duomenis, ledų sangrūdos susiformavimo tikimybės galima įvertinti pagal tai, kiek kartų per metus jos susiformuoja. Išskiriami tokie sangrūdų prognozavimo kriterijai:

- aukšta tikimybė (raudona): sangrūdos per dvejus metus gali susiformuoti daugiau nei kartą;
- vidutinė tikimybė (geltona): sangrūdos per penkerius metus susiformuoja daugiau nei kartą;
- maža tikimybė (žalia): sangrūdos per penkerius metus susiformuoja mažiau nei kartą.



1.1 pav. Sangrūdų formavimosi vietos (Aplinkos Apsaugos Agentūra, 2021)

Mokslininkai, tirdami 2010 metais vykusį didžiulį potvynį Pakistano Dir slėnyje, nustatė, kad viena iš svarbiausių potvynio priežasčių buvo statūs upės slėniai. Susidarė didelis paviršinio nuotėkio kiekis, dėl kurio smarkiai padidėjo upės debitas. Be to, dėl potvynio susiformavimo prisidėjo kitų atitekančių upių debitai. O didesniai paviršiniai nuotėkiai susiformuoti leido menka augalija, iškirstos miškų teritorijos, todėl šlaitas pasidarė nuožulnesnis. Vietovę užklupus staigiems krituliams, padidėjo paviršiaus nuotėkis, todėl upės debitas stipriai padidėjo ir nespėjo nutekėti. Dėl teigiamos oro temperatūros ir lietui skalaujant snieguotas kalnų viršūnes, staigiai pradėjo tirpti sniegas ir ledas. Jis sudarė upėje sangrūdas, dėl kurių vandens debitas negalėjo nutekėti ir upė užtvindė didelę teritoriją (Mahmood et al., 2016).

Norėdamas pasilengvinti gyvenimą žmogus taip pat gali sukelti potvynius. Visame pasaulyje stato įvairius hidrotechninius statinius – bando panaudoti gamtos jėgas. Tarkime užtvėnkia upes ir stato užtvankas vandeniui, kuriose kaupiamas vanduo. Dėl nesuvaldomos gamtos jėgos griūva užtvankos ir staiga užlieja šalia esančias teritorijas (Elisha Sawe Benjamin, 2018).

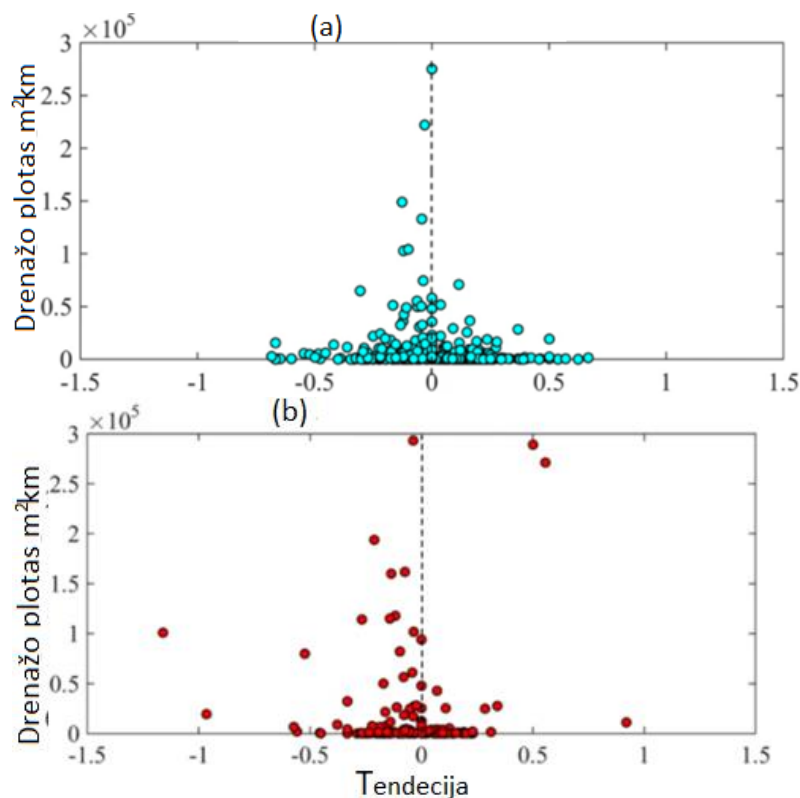
Šiaurės Europos dalyje nepastovus temperatūros ir sniego ar kritulių santykis sukelia didelių potvynių galimybes. Teigiama oro temperatūra ankstyvame pavasaryje, anksčiau tirpstantis sniegas sumažina gausaus potvynio perspektyvas. Dėl klimato kaitos vis sunkiau darosi prognozuoti kritulių kiekius, sniego dangos storį Šiaurės Europos dalyje, todėl sudėtinga nuspėti grėsmingus upių potvynius (Rojas et al., 2013).

Labiausiai paplitusi pavasario potvynių priežastis Kanadoje yra sniego tirpsmas ir sangrūdos. Tokie potvyniai įvyksta staigiai tirpstant sniego sluoksniui. Didesnis nuotėkis susidaro dėl didesnės saulės spinduliuotės pavasario metu ir dėl to kylančios šiltesnės temperatūros. Vanduo susidaręs dėl sniego tirpsmo negali susigerti į žemę dėl įšalo ir virsta paviršiniu nuotėkiu papildančiu upę. Gausus paviršinis nuotėkis patekęs į upės vagą būna per didelis, todėl išsilieja iš upės (Canada Government, 2013).

Viena iš pagrindinių Kanados potvynio priežasčių yra ledo sangrūdos, jo metu pasiekiamas aukščiausias vandens lygis. Sangrūdos gali formuotis upės slenksčiuose arba prie stabilaus ledo sluoksnio. Dėl žemos temperatūros ledo kamščiai taip greit neištirpsta, o kaupiasi tiek virš upės vandens, tiek upės vandenyje. Ledo kamščių susidarymo tikimybę padidina: upės vingiai, seklumos, mažėjantys nuolydžiai, hidrotechniniai statiniai. Dvi pagrindinės priežastys, kodėl ledo kamščiai iššaukia tokius didelius potvynius: pirma sangrūdų sluoksnio storis gali išaugti iki kelių metrų, antra po vandeniui susiformavęs ledas yra pakankamai šiurkštus, kad

padidintų trintį vagoje. O padidėjusi trintis sukelia blogesnę vandens pratekėjimą (Canada Government, 2013).

Mokslininkai analizuodami Kanados 1903–2015 metų 1107 hidrometeorologinių stočių duomenis pastebi, kad apie 60 % potvynių sukelia ledo sangrūdos. Pastebėta, kad besikeičiančio klimato sąlygomis maži upių baseinai yra jautresni besikeičiančiai aplinkai, nei didesni upių baseinai (1.2 (a) pav.). Tai atskleidžia, kad didėjant baseino dydžiui, sistemos jautrumas mažėja. Taigi maži baseinai rodo didesnius poslinkius, kurie palaipsniui mažėja, kai baseino dydis didėja. Tačiau to negalima teigti apie reguliuojamus upių baseinus, kurių srautus labiau lemia antropogeniniai veiksniai (1.2 (b) pav.). Matoma, didesnė duomenų variacija didesniuose reguliuojamuose upių baseinuose (Rokaya et al., 2018a).



1.2 pav. Potvynių tendencijos skirtinguose baseinuose (Rokaya et al., 2018a)

Upių sangrūdų sukeliama potvyniai yra mažai nuspėjami, nes visa tai įvyksta labai greit, kad net nespėjama žmonių evakuacija iš teritorijų esančių šalia upės. Pastebima, kad maži upių baseinai yra mažiau jautresni hidrologinių sąlygų pasikeitimams, nei dideli baseinai (Rokaya et al., 2018a).

1.2. Potvynių rizika

Kiekviename upės baseine yra skirtinga potvynių rizika, svarbu pritaikyti tam tikras priemones sumažinti rizikai. Pagal upių baseinus parengti vandens valdymo planus, atsižvelgiant į klimato pokyčius. Ateičiai reikia planuoti vandens išteklių valdymą pritaikant racionalius sprendimus, kurie užtikrintų mažesnius upių potvynius ir vandens pasiskirstymą (Vozinaki et al., 2018).

Potvynių direktyvoje 2007/60/EB potvynių riziką apibūdina taip „potvynio tikimybės ir galimų su potvyniu susijusių neigiamų pasekmių žmonių sveikatai, aplinkai, kultūros paveldui ir ekonominei veiklai derinys“ (Parlamento ir Europos sąjungos taryba 2007).

Kundzewicz ir kiti (2014) teigia, kad potvynių rizika gali priklausyti nuo nenatūraliai suformuotų užtvankų, upės gelmių pasikeitimų, upės tėkmės pakeitimo (išlygintos vagos).

Potvynių rizika yra vertinama Lietuvos upių baseinų teritorijoms, naudojantis mokslininkų turimais duomenimis, prognozėmis ilgalaikiai klimato kaitai ir vietovių pokyčiams. Tai įvertinus gaunama potvynių rizikos tikimybė, taip pat paruošiamas potvynių vertinimo pranešimas (Lietuvos Respublikos Vyriausybė, 2009).

Rengiamas potvynių rizikos vertinimas, kuris susideda iš:

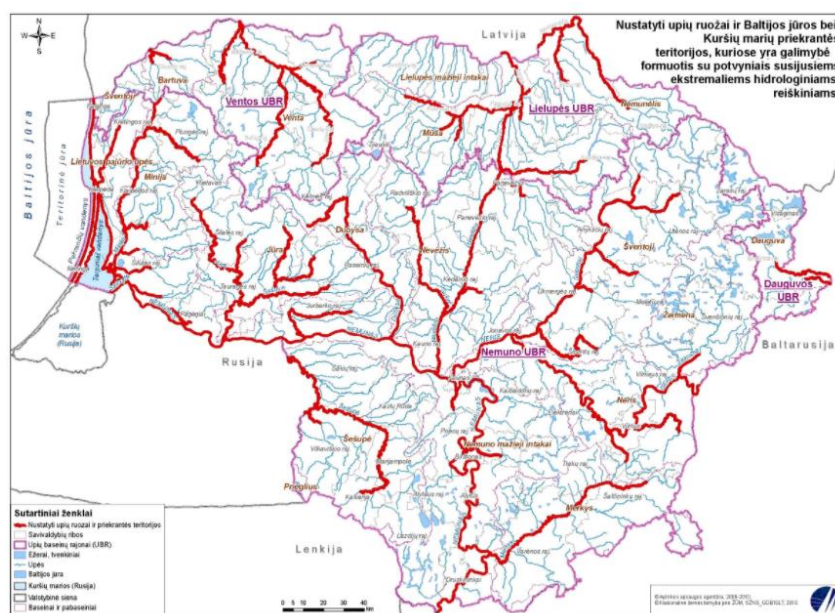
- Upės baseino rajono žemėlapis, jame turi matytis nagrinėjamų upių pabaseiniai ar baseinai, vietovės reljefas ir žemės paskirtis.
- Pridedamas aprašymas apie praeityje buvusių potvynių, jų sukeltas pasekmes žmonėms, jų vystomai ekonominei veiklai. Taip pat atsižvelgiama į pasikartojimo galimybes bei potvynio dydį.
- Atsižvelgiama į neigiamas pasekmes įvertinant vietovės reljefą, į vietovės nuogulas, hidrologines savybes, taip pat dirbtinai sukurtas žmonių apsaugas nuo potvynių, miestų infrastruktūrą bei klimato kaitos pokyčius.
- Nustatomas potvynio rizikos zonos dydis.

Surinkus šią informaciją Lietuvos Aplinkos apsaugos ministerija, bendradarbiaudama su kitomis kaimyninėmis šalimis, pasikeičia duomenimis bei priima sprendimus dėl potvynių rizikos vertinimo plano. Potvynių rizikos kontroliavimo planuose turi būti nurodytos tokios priemonės, kurios nepakenktų kitos Europos Sąjungos valstybėms (Dūdėnas, 2018).

Potvynių rizikai prognozuoti pasitelkiama naujausios erdvinės analizės priemonės, informacija apie gyventojus, žemės paskirtį, kultūros paveldo objektus, urbanizuotus plotus. Visa tai yra naudojama prognozuojant potvynius bei jų tikimybių žemėlapių kūrimui (Dūdėnas, 2018).

Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba pagal turimus duomenis nustatė, kad Lietuvoje labai dideli potvyniai 100 metų laikotarpyje pastebėti apie 2–3 kartus. Šie potvyniai nepraėjo, be didesnių katastrofinių pasekmių (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2020).

Remiantis Aplinkos apsaugos atlikta analize nustatyta, kad Baltijos jūros ir Kuršių marių vietovėje, anksčiau buvo labai dideli potvyniai, kurie numatomi ir ateityje. Potvynių rizika numatoma upės ir priekrantės teritorijoje, dėl reljefo bei kvartero nuogulų, kurios sukelia palankias sąlygas susiformuoti pavasariniais potvyniams (1.3 pav.). Šiose vietovėse pakilus upių vandens lygiui, galima katastrofinė situacija (Dūdėnas, 2018).



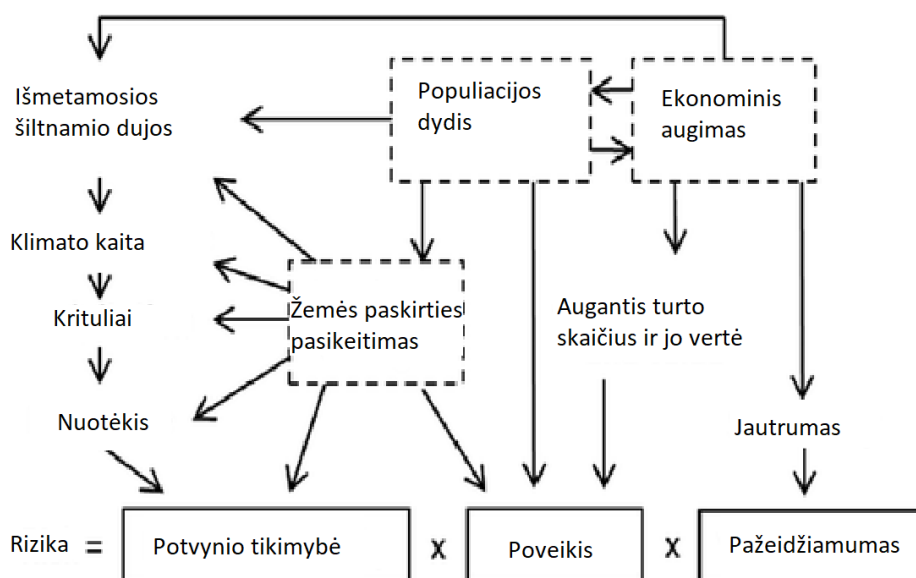
1.3 pav. Didelės rizikos potvynių žemėlapis (Dūdėnas, 2018)

Iš 1.3 pav. matome, kuriose upių vietose numatoma didelė potvynių rizika. Ten gali kilti katastrofiniai potvynių reiškiniai. Teritorijos ties Kuršių mariomis ir Baltijos jūra, pasižymi

didesne potvynių tikimybe, nes debitai šiose upėse yra didesni. Daugiau nei 5 % Lietuvos vietovių gali nukentėti nuo potvynių. Pastebima, kad pavasario potvyniams klimato kaitos įtaka veikia skirtingai, bet potvynių rizika liks neišvengiamas klausimas ateities kartoms (Dūdėnas, 2018).

Mokslininkai nustatė, kad yra keletas priežasčių kodėl didėja potvynių rizika. Klimato kaitos veiksniai - vandens garavimas, intensyvūs krituliai, jų netolygus pasiskirstymas, kiekis ir laiko tarpas per kurį jie iškrenta. Taip pat yra kiti, daug sudėtingesni reiškiniai, evapotranspiracija, sniego tirpsmas, temperatūros įtaka, dirvožemio absorbcija ir kintantis požeminio vandens lygis. Klimato kaita gali pakeisti šiuos veiksnius todėl pasikeičia ir potvynių charakteristikos, todėl vis sunkiau įvertinti kylančias potvynių rizikas (Kundzewicz et al., 2014).

Kiti labai svarbūs veiksniai veikiantys didėjančią potvynių riziką yra susiję su hidrologinė sistema, baseino dydžiu bei baseino nuogulų struktūra. Prie šių veiksnių nemažai prisidėjęs žmogus. Pakeisdamas ir reguliuodamas upių nuotėkio kiekį, žemėnaudų paskirtį, plečiant žemdirbystės plotus, reguliuojant upės tėkmę. Dėl sparčios populiacijos augimo didėja urbanizuotų teritorijų plotai, kurie didina rizikos veiksnius (1.4 pav.). Urbanizuotų vietovių plėtimasis sumažina nuotėkio infiltraciją į dirvožemį, bet padidina paviršinio nuotėkio kiekį į upes. Žmonių sukurti infrastruktūros elementai: pralaidos, tiltai, pylimai gali būti pažeidžiami potvynių metu (Kundzewicz et al., 2014).



1.4 pav. Potvynių rizikos veiksniai (Kundzewicz et al., 2014)

Auganti žmonių populiacija tokiose šalyse kaip Kinija, dėl didelio žmonių skaičiaus ir mažo gyvenamojo ploto verčia žmones apsigyventi aukštos potvynio rizikos teritorijose. Gyvenimas tokiose teritorijose padidina socialinę ir ekonominę potvynių žalą (Kundzewicz et al., 2014).

Potvynių rizikos vertinimas yra gan sudėtingas procesas, nes yra labai daug tarpusavyje susijusių klimatinių veiksnių. Dažniausiai upės, kurios kelia didžiausią riziką būna nenatūralios tėkmės. Upėse būna reguliuojamas vandens srautas, pakeista natūrali tėkmė, dėl to labai sunku nustatyti, kaip upė reaguoja į klimato pokyčius (Kundzewicz et al., 2014).

1.2.1. Klimato kaita ir jos poveikis hidrologinėms sąlygoms

Klimato pokyčiai yra neatsiejami nuo hidrologinių režimo sąlygų pokyčio. Australijos mokslo akademija klimato kaitą apibūdina kaip oro sąlygų pasikeitimus dešimčių metų bėgyje, su kuriais yra susiję sausumos, vandens ir ledo paviršiai. Klimato kaitos reikšminys yra visos klimato sistemos savybių pokytis, kuris jaučiamas keliasdešimt metų. Tai apima duomenų vidurkių svyravimus nuo nustatytos ribos. Šiuos pokyčius gali sukelti gamtiniai reiškiniai,

aktyvesnis saulės spinduliavimo pokytis dėl sumažėjusio ozono sluoksnio, lavos ugnikalnių dūmų išsiveržimas, didėjantis gyventojų skaičius, didesnis CO₂ kiekis, spartus žemdirbystės vystymasis (Australian academy of science, 2021).

National Geographic žurnale teigiama, kad klimato pokyčiai yra susiję su aukštesne vidutine aplinkos temperatūra, ekstremaliais oro pasikeitimais, gyvūnų populiacijų pokyčiais, jūrų vandens lygio kilimu. Manoma, kad šiuos pokyčius sukelia šiltnamio efektą sukeliančios dujos, kurių patekimą į atmosferą lemia žmogus. Kylant temperatūrai tirpsta ledynai, kurie kelia vandens lygį vandenynuose. Įprastos oro sąlygos keičiasi, vis dažniau pasitaiko ekstremalių reiškinių: didesnės audros, iškrenta daugiau kritulių, ūkininkams susidaro didesnės problemos dėl ilgų sausrų periodų ar per ilgus lietaus trukmės ar jo kiekio, nukenčia derlius. Taip pat pasaulyje atsiranda vis daugiau vietovių, kuriose trūksta vandens arba jis visai išnyksta (Christina Nunez, 2019).

Besikeičiančio klimato požymiai daugumoje pasaulio vietų buvo pastebėti per einamuosius 20 metų. Pastebimas padidėjęs hidrologinių ir meteorologinių reiškinių pasikartojimas bei dažnumas, dėl to kraštovaizdyje juntamas vandens trūkumas arba jo perteklius. Tokie reiškiniai paveikia ne tik vandens kokybę, jo kiekį, bet ir vandenyje gyvenančių gyvūnų ir mikroorganizmų gyvenimo būdą (Hrdinka et al., 2012).

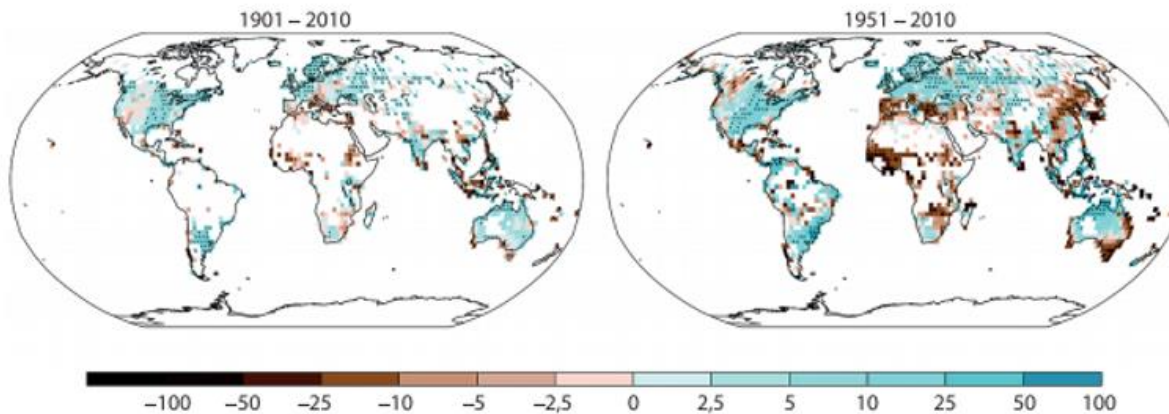
Sparčiai besivystantis žemės ūkis yra viena iš priežasčių daranti įtaką klimato pokyčiams. Žmogaus ūkinė veikla kelia anglies dioksido ir kitas aktyvias dujas, kurios sukelia klimato pokyčius. Globaliu požiūriu krentančių kritulių kiekis nesumažėjo, bet pasikeitė tuo, kad tropinėse zonose iškrentančių kritulių mažėja, o aukštesiose platumose išauga. Vienuose pasaulio regionuose kyla sausras, o kitur iškrenta nebūdingai didelis kritulių kiekis 1.1 lentelė (Bukantis et al., 2015).

1.1 lentelė. Ekstremalių reiškinių tendencija (Bukantis et al., 2015)

Reiškinys	Pokytis	Regionas	Periodas	Patikimumas
Šaltos dienos bei naktys, dienos su neigiama temperatūra	Mažėja. Labiau naktys nei dienos.	Didžiojoje pasaulio dalyje	Nuo 1951	Labai tikėtina
Karštos dienos bei naktys	Auga	Didžiojoje pasaulio dalyje	Nuo 1951	Labai tikėtina
Karščio bangų pasikartojimas	Auga	Labiausiai Europoje, Azijoje ir Australijoje. Kitur pokyčiai ne tokie ryškūs.	Nuo 1951	Tikėtina
Gausių kritulių pasikartojimas	Auga daug didesniame sausumos plote nei mažėjo	Didžiojoje pasaulio dalyje	Nuo 1951	Tikėtina
Sausros	Didėja paveikti plotai	Kai kurie regionai	Nuo 1951	Globaliu mastu patikimumas mažas. Tikėtina kai kuriuose regionuose.
Tropiniai ciklonai	Auga pasikartojimas ir egzistavimo trukmė	Labiausiai šiaurės Atlante	Nuo 1970	Globaliu mastu patikimumas mažas. Neabejotina Šiaurės Atlante

Klimato kaita didina globalinį atšilimą, kuris tirpdo ledynus vis greičiau, todėl matomas kylantis vandens lygis vandenynuose. Nustatyta, kad nuo 1901 metų, vandenynuose vandens lygis pakilo 17–21 cm. Pastebėta, kad ypatingai nuo 1993 metų, pradėjo kilti po 3,2 mm (Bukantis et al., 2015).

Kylanti oro temperatūra yra vienas iš klimato kaitos padarinių. Aukštesnė temperatūra skatina garavimo procesus nuo vandenyno ir sausumos paviršių. Analizuojant pokyčius 1901–2010 metais (1.5 pav.), pastebima didesnė kritulių kaita regionuose nuo 1950 metų. Daugiau kritulių iškrito Australijos šiaurėje, taip pat Pietų Amerikoje. Kritulių sumažėjimas pastebimas rytinėje Australijos dalyje, Pietų Amerikoje. Tropinėse dalyse šiuo metu iškrenta vis daugiau kritulių, nors XX amžiuje aštuntame ir devintame dešimtmetyje kritulių kiekis buvo mažėjantis (Bukantis et al., 2017).



1.5 pav. Kritulių pokytis, mm per dešimtmetį 1901–2010 ir 1951–2010 (Bukantis et al., 2017)

Klimatologai Lietuvoje labai didelių skirtumų tarp daugiamečių iškrentančių kritulių nepastebi. Didžiausi pokyčiai pastebimi žiemos sezono metu, kai iškrenta gausesnis kritulių kiekis negu buvo anksčiau. Pastebima vasaros metu mažėjantis kritulių kiekis. Pastebima didesnis temperatūros augimas trijų sezonų metu, išskyrus rudens mėnesius (Meilutytė-Barauskienė et al., 2008).

Prognozuojama, kad potvynių žalos rizika augs visame pasaulyje. Mokslininkai yra apskaičiavę, kad, jeigu nebus imamasi jokių priemonių sumažinti klimato kaitą, potvynių žala gali padidėti net iki 20 kartų. Tokį potvynių žalos išaugimą lemtų klimato atšilimo lygis ir jo savybės. Šiauriniuose regionuose pastebimas didesnis klimato kaitos poveikis. Sniego kiekis ir jo tirpimo greitis šaltuose regionuose reguliuoja potvynio dydį, ledo storį. Vis šiltėjantis klimatas, snieguotuose regionuose sumažins sniego kiekį, vis daugiau kritulių iškris lietaus pavidalu, dėl to pasikeis pavasario potvynių laikas ir potvynio piko dydis (Rokaya et al. 2018).

Klimato kaita sukėlė susirūpinimą dėl didėjančių upių potvynių, atsirandančių dėl didesnio šiltesnės atmosferos vandens susilaikymo. Šiuos susirūpinimus sustiprina įrodymai apie didėjančius ekonominius nuostolius, susijusius su potvyniais daugelyje pasaulio šalių. Bet kokie upių potvynių pokyčiai turės ilgalaikį poveikį potvynių apsaugos priemonių ir potvynių rizikos zonų planavimui. Mokslininkams stebint potvynius ir atliekant tyrimus Europoje, nepavyksta nustatyti nuoseklaus žemyno masto klimato kaitos signalo. Juos apriboja ribota erdvinė aprėptis ir mažas hidrometeorologinių stočių skaičius, todėl mokslininkams sunku gauti tikslius rezultatus. Iš gautų tyrimų ir bandymų rezultatų, remiantis Europos potvynių duomenų baze pastebima, kad padidėjus kritulių kiekiui rudenį ir žiemą, padaugėjo potvynių šiaurės vakarų Europoje. Pietų Europoje mažėjant kritulių kiekiui ir didėjant garavimui, potvyniai pradeda mažėti vidutinio dydžio ir dideliuose baseinuose. Rytų Europoje potvyniai sumažėjo, dėl šiltesnės temperatūros, kuri neleidžia susiformuoti storam sniego sluoksniui. Regioninės potvynių tendencijos Europoje svyruoja nuo maždaug 11 % padidėjimo per dešimtmetį, iki sumažėjimo 23 %. Tai parodo, kad klimato kaitos pokyčiai jau vyksta ir reikia apsvarstyti tolesnius veiksmus norint suvaldyti potvynius ir jų riziką (Blöschl et al., 2019).

Potvynis įvyksta ne tik dėl daugybės su klimatu ir žmonėmis susijusių veiksnių, bet ir dėl ribotų duomenų apie praeities potvynius. Šiandien praeities potvynius sunku įvertinti pagal

buvusias klimato kaitos tendencijas, tačiau vis aiškiau matyti, kad klimato kaita „pastebimai paveikė“ kelis su vandeniu susijusius kintamuosius, kurie prisideda prie potvynių. Vieni iš pagrindinių veiksnių lietaus kritulių ir sniego tirpsmo pasikeitimai. Kitaip tariant, nors mūsų šiltėjantis pasaulis gali tiesiogiai nesukelti potvynių, jis sustiprina daugelį veiksnių darančių įtaką potvyniams (Natural Resources Defense Council., 2022).

1.2.2. Potvynių pasekmės

Sparčiai augantis žmonių skaičius ir žemės naudojimas žemdirbystei padidina priklausomybę nuo potvynių. Potvynio sukeltos pasekmės gali būti katastrofinės. Potvynis gali prisidėti augančio mirtingumo skaičiaus, ligų plitimo, didelė žala padaroma žemdirbystės plotams, suniokojama infrastruktūra, nukenčia žmonių turtas. Kartais potvynis gali būti tiesioginės mirties priežastimi, kai žmogus nuskęsta ar patiria sunkias mirtinas traumas. Taip pat padidėja tikimybė susirgti infekcinėmis ligomis dėl užteršto geriamojo gruntinio vandens (Doocy et al., 2013).

Apie 11 % procentų žmonijos yra įsikūrę potvynių rizikos zonoje, vidutiniškai apie 70 milijonų – 1% procentas susiduria su potvyniais (Villarini et al., 2009).

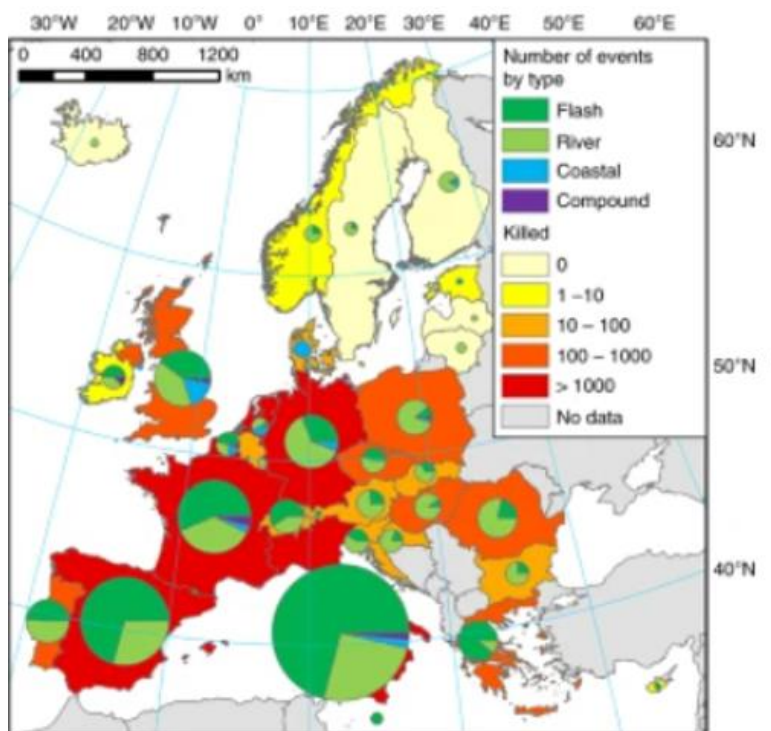
Potvyniai yra viena iš stichinių nelaimių ir beveik viena iš pagrindinių nelaimių priežasčių pasaulyje 20-ajame amžiuje. Potvynių rizika išauga ten, kur kertami miškai ir gyvenamose upių pakrantės teritorijose. Gyventojai, įsikūrę pakrantėje, gali sulaukti katastrofinių nuostolių, prarasti gyvenamąją vietą, dirbamus laukus, o kartais dėl neapdairumo prarasti gyvybę. Labiausiai potvynių veikiamas žemynas yra Azija. Net apie 50 % mirčių yra susiję su potvyniais, nes tame regione apsemiamą didesnę teritoriją, kurioje gyvena didesnė žmonių populiacija (Doocy et al., 2013).

Remiantis preliminarium atnaujintu Lietuvos potvynių rizikos vertinimu 2011–2018 m. yra didelė tikimybė, kad pavasario potvyniai mažės. Iš turimos hidrometeorologinės informacijos pastebima, daugelio Lietuvos upių hidrologinių režimo pokyčiai, kurie jau vyksta dėl klimato kaitos. Vis aukštesnė žiemos sezono temperatūra neleidžia susiformuoti storai sniego dangai ir giliam įšalui, todėl sumažėja potvynio dydis. Didelė tikimybė, kad pavasario potvyniai ir toliau mažės, tokios tendencijos bus pastebimos visose Lietuvos upėse, taip pat yra galimybė, kad įvyks sezoninis potvynio pasikeitimas, kai pavasariui būdingi potvyniai formuosis žiemos mėnesiais (Aplinkos apsaugos agentūra, 2019).

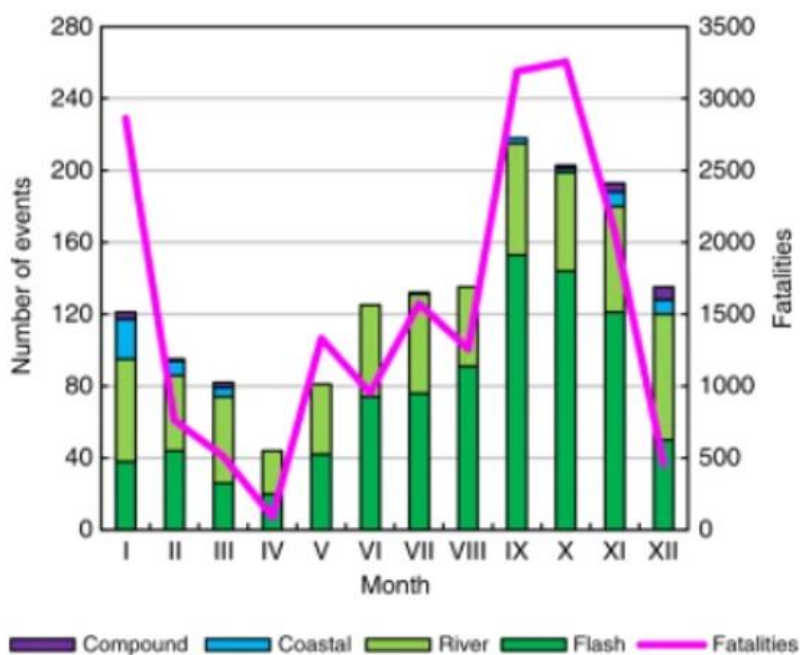
Mokslininkai, analizuodami potvynius Europoje per pastaruosius 150 metų, pastebi, kad šiltėjantis klimatas Europoje leidžia prognozuoti, kad stichiniai reiškiniai vis dažnės ir padarys vis daugiau žalos. Atlikti Europos hidrologinių parametrų tyrimai, neparodė jokių upių potvynių, metinio nuotėkio ar ekstremalių kritulių tendencijų. Todėl potvynių dydį ir trukmę vis sunkiau numatyti (Paprotny et al., 2018).

Mokslininkai analizuodami debitų duomenis pastebi, kad praeityje buvę potvyniai pasitaikė rečiau nei dabar. Naudodamiesi *HANZE* duomenų baze išsiaiškino, kad Europos žemyne per 1870–2016 metus įvyko 1564 potvyniai, atitinkamai 879 (56%) staigūs kalnų upių potvyniai jų trukmė mažesnė, nei 24 valandos, 606 (39 %) upių potvyniai, kurie kilo keletą dienų, 56 (4 %) yra upių pakrančių potvyniai 23 (1,5 %), kuriuos sukelia bangavimas ir didelis upių nuotėkis. Taip pat pastebėjo, kad potvyniai netolygiai pasiskirsto kiekvienais metais, vienais metais gali būti daugiau potvynių, kitais jau mažiau. Paplitimas geografinėje vietovėje taip nėra vienodas ir tolygus (Paprotny et al., 2018).

Iš 1.6 paveikslo matoma, kad Pietinėje Europos dalyje vyrauja staigūs upių poplūdžiai, pasižymintys rugsėjo ir lapkričio mėnesiais. Vidurio ir Vakarų Europoje upių potvyniai yra dažnesni, negu staigūs upių potvyniai, vyraujantys nuo birželio iki rugpjūčio. Šiaurinėje žemyno dalyje potvynių priežastis buvo sniego tirpsmas, tai lyginant su kitomis potvynių rūšimis sukėlė mažiausiai nuostolių. O pakrančių potvyniai, užfiksuoti valstybėse, kurios ribojasi su Šiaurės ir Baltijos jūra (Paprotny et al., 2018). Iš 1.7 paveikslo pastebima, kad žuvusiųjų skaičius išauga tada, kai vyrauja staigūs potvyniai.



1.6 pav. Potvynių susidarymo vietos ir žuvusiųjų skaičiai pagal šalis (Paprotny et al., 2018)



1.7 pav. Bendras potvynių ir žuvusiųjų skaičius nuo 1870 m. iki 2016 m pagal mėnesį

Užklupusio potvynio žala yra pavojinga ne tik dėl pakilusio vandens lygio, bet ir dėl didesnio vandens srauto greičio. Didesnis greitis surenka daugiau nuosėdų, šiukšlių dalelių, kurios yra sunešamos į užtvindytą teritoriją (Kundzewicz et al., 2014).

Potvyniai kelia neigiamą poveikį asmenims ir bendruomenėms, turi socialinių, ekonominių ir aplinkos pasekmių. Potvynių pasekmės neigiamos ir teigiamos, labai skiriasi priklausomai

nuo potvynių vietos ir masto, taip pat nuo jų paveiktos natūralios ir pastatytos aplinkos pažeidžiamumo ir vertės 1.2 lentelė (Office of the Queensland Chief Scientist, 2018).

1.2 lentelė. Potvynių nuostolių rūšys (Office of the Queensland Chief Scientist 2018)

Ar prarastą daiktą galima įkainuoti pinigine verte ?	Tiesioginiai nuostoliai: nuostoliai dėl kontakto su vandeniu	Netiesioginiai nuostoliai: jokio kontakto – praradimas dėl potvynio vandens
Taip – piniginė vertė (materialus turtas)	Patirtų nuostolių pvz. : • prarasti – pastatai ir jame esantis turtas; • transporto priemonės; • prarasti gyvuliai; • pasėliai, infrastruktūra.	Patirtų nuostolių pvz., • trumpalaikis transporto sutrikimas; • pridėtinės vertės praradimas prekyboje ir verslo nutraukimas; • teisinės išlaidos, susijusios su ieškiniais, dėl žalos.
Ne – nepiniginė vertė (nematerialus turtas)	Patirtų nuostolių pvz. : • prarastos gyvybės ir patirti sužalojimai; • atminimo daiktų praradimas; • žala kultūros ar paveldo objektams; • ekologinė žala.	Patirtų nuostolių pvz.: • stresas ir nerimas, gyvenimo sutrikimas; • bendruomenės praradimas, kultūros ir aplinkos vietų praradimas; • ekosistemos išteklių praradimas.

Potvyniai pagrindinėse žemės ūkio gamybos srityse gali sukelti didelę žalą pasėliams ir gyvulių praradimams. Potvynio žala padaryta derliaus nuostoliams, užmirkę dirvožemiai neleidžia laiku pasėti derliaus, todėl vėluojama ir derlius turi trumpesnę augimo laikotarpį. Dėl vėluojančio sėjimo ir sodinimo sumažėja žemės ūkio produkcijos kiekis, kuris dažnai gali turėti didelį poveikį už gamybos zonos ribų, nes maisto kainos kyla dėl pasiūlos trūkumo. Potvynių užtvindyti keliai, laukai ir sugadinta kelio infrastruktūra sukelia transporto problemas, sumažėja kelio pravažiavimo galimybės. Kita vertus, potvyniai gali duoti ilgalaikės naudos žemės ūkio gamybai, papildant požeminio vandens išteklių sluoksnį, ypač sausesnėse, vidaus teritorijose, ir atjauninant dirvožemio derlingumą nusėdus dumblui (Office of the Queensland Chief Scientist, 2018).

Žala viešajai infrastruktūrai jaučiama daug didesnei gyventojų daliai, nei tų kurių namus ar verslą potvynis tiesiogiai užlieja. Visų pirma, potvyniai padaro žalą keliams, geležinkelio tinklams ir pagrindiniams transporto mazgams, pvz., laivybos uostams, gali turėti didelį poveikį regioninei ir nacionalinei ekonomikai. Po potvynių dažnai patiriami trumpalaikiai regioninio turizmo nuosmukiai. Nors poveikis turizmo infrastruktūrai ir laikas, reikalingas visiškam veikimui sugrąžinti, gali būti minimalus, potvynių paveiktų vietovių vaizdai dažnai atšaukia užsakymus ir žymiai sumažina turistų skaičių. Užliejus miestų teritorijas, gali būti padaryta didelė žala privačiai nuosavybei, įskaitant namus ir įmones. Nuostoliai atsiranda dėl pastatų konstrukcijos pažeidimų. Pastato ir jo turinio draudimas nuo potvynių gali sumažinti potvynių poveikį asmenims ar įmonėms (Office of the Queensland Chief Scientist, 2018).

Potvyniai sukelia daug neigiamų padarinių gamtoje. Daugelyje natūralių sistemų potvyniai atlieka svarbų vaidmenį išlaikant pagrindines ekosistemų funkcijas ir biologinę įvairovę. Jie susieja upę su ją supančia žeme, papildo požeminio vandens sluoksnius, papildo pelkes vandeniui, padidina vandens buveinių ryšį ir perkelia nuosėdas ir maistines medžiagas į upės pakrantes. Daugeliui gyvūnų rūšių potvyniai sukelia dauginimosi įvykius, migraciją ir išsisklaidymą. Šios natūralios sistemos yra atsparios visų potvynių, išskyrus didžiausius, poveikiui. Potvynių nauda gali padėti ekonomikai, pavyzdžiui, padidinant žuvų gamybą, papildant požeminio vandens išteklius ir palaikant rekreacinę aplinką (Office of the Queensland Chief Scientist, 2018).

Sritys, kurios buvo labai pakeistos žmogaus veiklos, dažniausiai patiria daugiau žalingų potvynių padarinių. Potvyniai linkę dar labiau pabloginti jau sunykusias sistemas. Augalų pašalinimas upėse ir aplink jas, padidėjęs upės kanalo dydis, užtvankos, lygumų krantas ir baseino valymas–visa tai mažina kalvų šlaitus, upes ir užliejamas vietas, didina nuosėdų ir maistinių medžiagų eroziją bei pernešimą. Nors nuosėdų ir maistinių medžiagų ciklas yra būtinas sveikai sistemai, per daug nuosėdų ir maistinių medžiagų, patenkančių į vandens kelią, gali neigiamai paveikti vandens kokybę. Kiti neigiami poveikiai: buveinių praradimas, piktžolių rūšių išplitimas, teršalų išsiskyrimas, mažesnė žuvų gamyba, pelkių funkcijos praradimas ir poilsio zonų praradimas (Office of the Queensland Chief Scientist, 2018).

Dalis mūsų išteklių, priklauso nuo maistinių medžiagų, tiekiamų iš žemės potvynių metu. Neigiamą potvynių poveikį pakrančių aplinkai daugiausia lemia nuosėdų ir maistinių medžiagų perteklius bei teršalai, tokie kaip chemikalai, sunkieji metalai ir šiukšlės. Tai gali pabloginti vandens buveines, pabloginti vandens kokybę ir užteršti pakrančių maisto išteklius (Office of the Queensland Chief Scientist, 2018).

Pakistane vykusio potvynio pasekmės buvo labai skausmingos žmonėms. Potvynis sunaikino žmonių kurtą infrastruktūrą, daug žmonių prarado gyvenamąsias vietas, sunaikinti žemdirbystės plotai, kurie buvo vieni iš pagrindinių pragyvenimo šaltinių. Dėl per didelio vandens kiekio sunaikinti vandens drėkinimo kanalai, sugadinti ir pažeisti tiltai bei keliai. Tokiam dideliame potvynių nebuvo ruošasi, todėl gyventojai patyrė didelę ekonominę žalą (Mahmood et al., 2016).

Pasak Potvynių direktyvos 2007/60/EB potvyniai sukelia pavojų ekonominiam plėtimuisi ir gali turėti neigiamos įtakos Bendrijos veiklai ekonomikoje, taip pat potvyniai tampa žmonių mirties ar emigravimo priežastimi (Parlamento ir Europos sąjungos taryba 2007).

Dėl potvynių per 1977–2009 metus 4,5 milijono žmonių prarado namus, apie 540 000 mirė, 360 000 žmonių patyrė sužeidimus. Potvyniai, po kurių mirtingumas aukštas, pasitaiko retai, bet pastebimas jų augimas. Pastebima, kad mirtingumas nuo potvynių yra susijęs su regionu, šalies ekonomikos lygiu bei nuo pačios potvynio jėgos (Doocy et al., 2013).

Potvyniai žalingi ekonomikos srityje, gali nusinešti žmogaus gyvybes: JAV vykusio Didžiojo potvynio metu Misisipės baseine vykęs potvynis taip suniokojo viską savo kelyje, kad žalai atlyginti prireikė 15 milijardų dolerių. Be neigiamų pasekmių, potvyniai sukelia ir teigiamas pasekmes, tokias kaip: ekosistemų atsinaujinimas, pamaitina upių pakrantes maistingomis medžiagomis (Hirsch & Archfield, 2015).

1.2.3. Pasaulio potvynių prognozės ir tendencija

Potvyniai turi didelę griaujamąją jėgą, kurios neatlaiko nei žmonių sukurti infrastruktūros statiniai, nei gamtiniai objektai. Norint išvengti šių neigiamų padarinių, reikia stebėti potvynius, juos analizuoti, numatyti jų pasikartojimo tendenciją. Tendencijai nustatyti reikalinga didelė informacinė duomenų bazė, kurioje kaupiama keliasdešimties metų informacija apie upės parametrus. Turint duomenų bazę galima analizuoti potvynių pasikeitimus, jų poveikį gamtai, sumodeliuoti ateities prognozes, klimato kaitos įtaką upei.

Potvynių prognozės yra labai svarbios reaguojant į ekstremalias situacijas, siekiant apriboti turtinę žalą ir išvengti gyvybių netekčių. Potvynių sinoptikai remiasi realaus laiko duomenimis apie kritulius ir upių vandens lygį bei kritulių prognozėmis. Lietaus matuoklių tinklas, kartais kartu su radaro vaizdais, naudojamas stebėti lietų, kuris iškrito upės baseine. Taip pat matuojamas vandens lygis upės matavimo stotyse. Tada sinoptikai naudoja hidrologinius kompiuterinius modelius, norėdami išsiaiškinti, kiek kritulių iškris skirtingose upės baseino dalyse, kiek laiko užtruks, kol paviršinis nuotėkis pasieks upę bei kiek laiko tas vanduo keliaus nuo aukštupio iki žemupio ir kaip vanduo iš skirtingų intakų susilieja upių tinkle (Office of the Queensland Chief Scientist, 2018).

Lietus pasiskirstęs baseino teritorijoje, užtrunka, kol nukeliauja į baseino ištakas. Upės tėkmę pasroviui nuo baseino per tam tikrą laikotarpį didžiąja dalimi paveikia lietus, kuris jau iškrito baseine ir buvo užfiksuotas. Tai reiškia, kad šio laikotarpio upės srauto prognozė bus

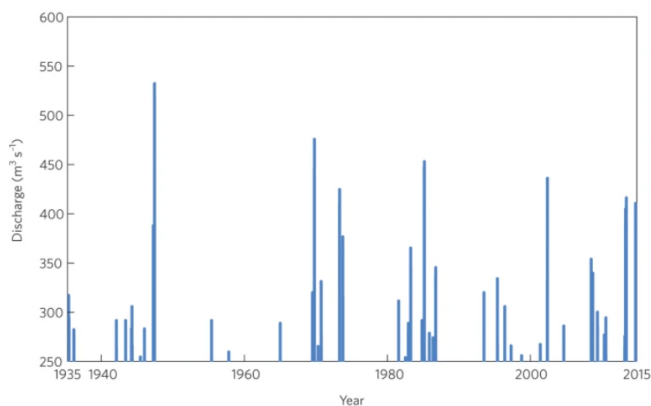
pakankamai tiksliai, nes upę tik iš dalies paveiks krituliai. Upių srautų prognozės po šio laikotarpio bus ne tokios tikslios, nes ne visi krituliai virto paviršiniu nuotėkiu. Upės vandens lygio prognozės yra naudingiausios, kai jos aiškinamos atsižvelgiant į tai, kur vanduo gali išplisti už upės baseino. Tokias interpretacijas visuomenei gali pateikti vietos valdžios institucijos ir skubios pagalbos tarnybos, dažniausiai remdamosi iš anksto paruoštais potvynių žemėlapiais, kuriuose naudojami istoriniai potvynių duomenys, o kai kuriais atvejais - potvynių hidrauliniai modeliai. Kritulių prognozės gali būti naudojamos potvynių prognozėms pratęsti. Kadangi konkrečių vietų ir laiko kritulių prognozės nėra visiškai tikslios, potvynių prognozės, pagrįstos kritulių prognozėmis (Office of the Queensland Chief Scientist, 2018a).

Europos parlamento ir tarybos direktyvoje, teigiama, kad Europoje vis didėja potvynių rizika, pastebimos didesnės ekonominės žalos tendencijos. Prognozuojamas didesnis upių potvynių skaičius, mažai tvarkomuose upių ruožuose bei, dėl hidrotechninių statinių statybos, galimuose potvynių ruožuose. Taip pat yra įsikūrusių bendrovių ar žmonių apsigyvenusių potvynių įtakos teritorijoje, kuriose potvynio metu yra padidėjusi rizika nukentėti nuo potvynių (Europos parlamento ir tarybos direktyva 2007).

Hidrologiniai ir meteorologiniai veiksniai sukelia ekstremalius potvynius. Norint prognozuoti ir stebėti potvynių tendencijas reikia turėti ilgalaikę duomenų eilę. Tendencijos leidžia prognozuoti ir įvertinti potvynių tikimybę, kitimą. Mokslininkai analizavo ilgą duomenų eilę Baltijos šalyse, atkreipdami dėmesį į maksimalius debitus, vandens pakilimą ir potvynio laiką. Baltijos regione rekordškai dideli potvyniai pastebėti per 1926–1970 metus. Vakariniuose regionuose matomi didesni potvyniai, negu rytinėje ar pietryčių tyrimo dalyje. Pastebimos neigiamos tendencijos, tokios kaip vis anksčiau susiformuojantis maksimalus nuotėkis. Baltijos regione, kai kuriose teritorijose vakarų Latvijos ir Lietuvos pastebėtos mažesnės neigiamos tendencijos, nes upių vienas iš pagrindinių maitinimosi šaltinių yra krituliai. Tyrimai parodė, kad potvyniai trunka trumpiau, debitas būna mažesnis, potvynių rizika sumažėjo, taip pat matoma mažėjimo tendencija. Pavasarinio potvynio pikas jaučiamas vis anksčiau. Manoma, kad su tokiais pokyčiais gali būti susijusi klimato kaita (Reihan et al., 2012).

Robertas M. Hirshas ir Stacey A. Archfield (2015) pastebėjo, kad pasaulyje iškrenta gausesnis kritulių kiekis, bet potvyniui tai daro mažai įtakos. Analizuodami JAV šalies potvynius pastebėjo, kad centrinėje dalyje potvyniai vis dažnėja, bet silpnėja. Mokslininkai teigia, kad pasaulyje potvynių skaičius yra didėjantis, o potvynių ekonominė žala auganti.

Mokslininkai tirdami JAV potvynius nustatė tam tikrą slenkstinę ribą potvyniams, nuo kurios pradeda stebėti pokyčių tendencijas. Ta riba yra, kai upės debitas yra didesnis nei $250 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Pagal ją stebimi rekordiniai potvyniai (1.8 pav.), kurie viršija nusistatytą slenkstinę ribą.



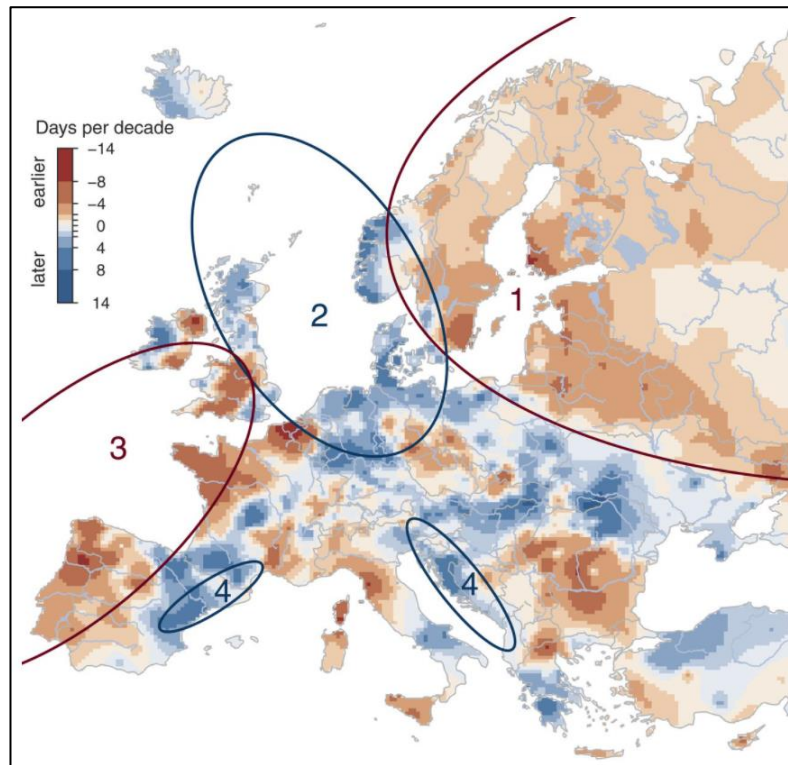
1.8 pav. Pietų Fabijaus upės, debitų grafikas pagal potvynių dydį (Mallakpour & Villarini, 2015)

Iš 1.8 paveikslo nuo 1940–2014 metų matoma stipri potvynių dažnėjimo tendencija Pietų Fabijaus upėje, bet mažėjantis potvynio dydis. Matoma padidėjęs potvynių dažnis per paskutinius analizuojamus 60 metų. Panašūs debito pakilimai tuo pačiu laikotarpiu pastebimi centrinėje JAV dalyje (Mallakpour & Villarini, 2015).

Cunderlik ir Burnas (2004) analizavo klimato kaitos poveikį Britų Kolumbijos upių nuotėkio tūriui ir dinamikai. Tendencijų analizei naudojo „Mann-Kendall“ neparametrinį testą. Gautuose rezultatuose pastebėjo palaipsniui didėjančią oro temperatūrą, dėl kurios sniegas ir ledas tirpsta greičiau. Dėl tokių priežasčių pastebima ankstyvesnio potvynio maksimalių debitų tekėjimo tendencija ir sumažėjusi vėlyvo maksimalaus potvynio debito tendencija. Taip pat dėl aukštesnės temperatūros vasaros mėnesiais matomas rudens nuotėkio sumažėjimas.

Cunderlik (2009) atliko 1974–2003 metų sezoninę potvynių tendencinę analizę Kanados teritorijoje. Analizei pasirinko tas upes kurių, debitai yra didesni už 160 m³/s, taip pat baseino žemės teritorijas, kurios yra mažiausiai paliestos žmogaus. Per nagrinėtą trisdešimtį metų laikotarpį iš gautų rezultatų pastebimi silpni klimato pokyčiai. Pietinėje Kanados dalyje potvynių tendencijos neigiamos – pastebimi vis ankstesni potvyniai. Iš penktadalio stočių pastebima ankstesni sniego tirpimo potvynių mastai bei tendencijos. Daugelis tendencijų turėjo neigiamą ženklą, nes potvynių dydžiai mažėjo. Pagal esamas tendencijas prognozuojama, kad potvynių, kuriuos sukelia sniego tirpsmas vis mažės, jie numatomi vis anksčiau, o liūčių sukeliamų poplūdžių skaičius augs (Cunderlik & Ouarda, 2009).

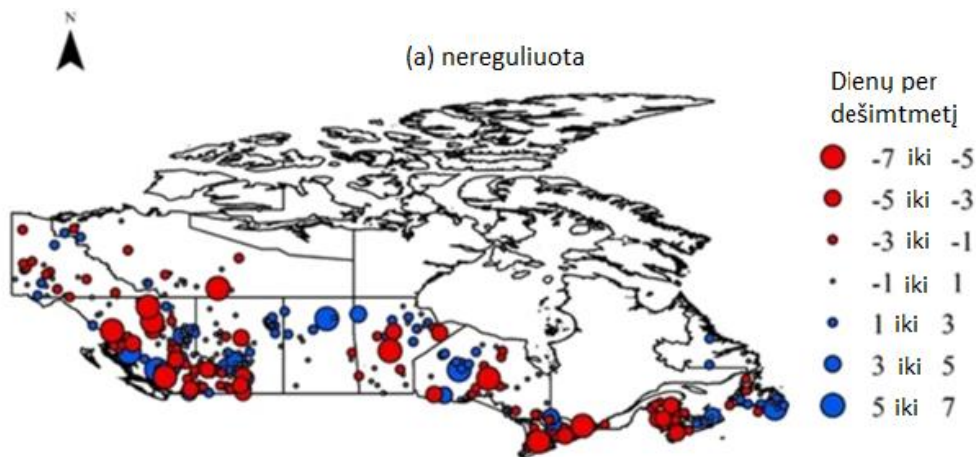
Mokslininkai atlikdami tyrimus ir analizes pastebi, kad Europoje besikeičiantis klimatas, pakeičia potvynių trukmę bei jų laiką. Mokslininkai, naudodamiesi Europos valstybių hidrometrinių stočių duomenimis, atliko 1960–2010 m. upių analizę Europos žemyne. Kiekvienai stotei nustatė aukščiausią upės potvynio debito tašką ir kilimą iki jo, apskaičiavo vidutinės reikšmės. Analizavo kiekvienos upės 10 metų potvynių tendenciją, palyginant su jų vidutinėmis reikšmėmis. Iš gautų duomenų sudarė potvynio laiko tendencijų žemėlapi (1.9 pav.). Iš šio žemėlapio matome, kaip pasikeitė potvynių laikas 50 metų laikotarpyje. Rytinėje Europos dalyje pagal stočių duomenis, per kiekvieną dešimtmetį apie 13 dienų ankstėja pavasario potvynio laikas, o per 50 metų potvynis paankstėja maždaug 65 dienomis. Antroje zonoje, ties Šiaurės jūra pastebimi vėlesni potvyniai. Trečiojoje zonoje Vakarų Europos dalyje ties Portugalija ir Anglija iš ten esančių pusė stočių duomenų rodo, kad potvyniai susidaro anksčiau 36 dienomis ir taip pat anksčiau per analizuojamus 50 metų. Ketvirtojoje zonoje ties Viduržemio jūros pakrante, taip pat pastebi vėlyvesnius potvynius. Mokslininkai išanalizavę vieną žemyną pastebi ryškų klimato kaitos poveikį potvyniams. Šiltesnė temperatūra iššaukia ankstesnius potvynius Šiaurės Rytų Europoje. Mažesnės ir vėlyvesnės žiemos audros, yra susijusios su poliariniu atšilimu, kurios paveikia teritorijas esančias prie Šiaurės, bei Viduržemio jūros (Blöschl et al., 2017). Spalvų skalė rodo ankstesnius ar vėlesnius potvynius (dienas per dešimtmetį). Regionai su skirtingais žymėjimais: 1 regionas, šiaurės rytų Europa (ankstesnis sniego iškritimas); 2 regionas, Šiaurės jūra (vėlesnės žiemos audros); 3 regionas, vakarų Europa palei Atlanto vandenyno pakrantę (ankstesnis dirvožemio drėgnumo maksimumas); 4 regionas, Viduržemio jūros pakrantės dalys (stipresnė Atlanto įtaka žiemą).



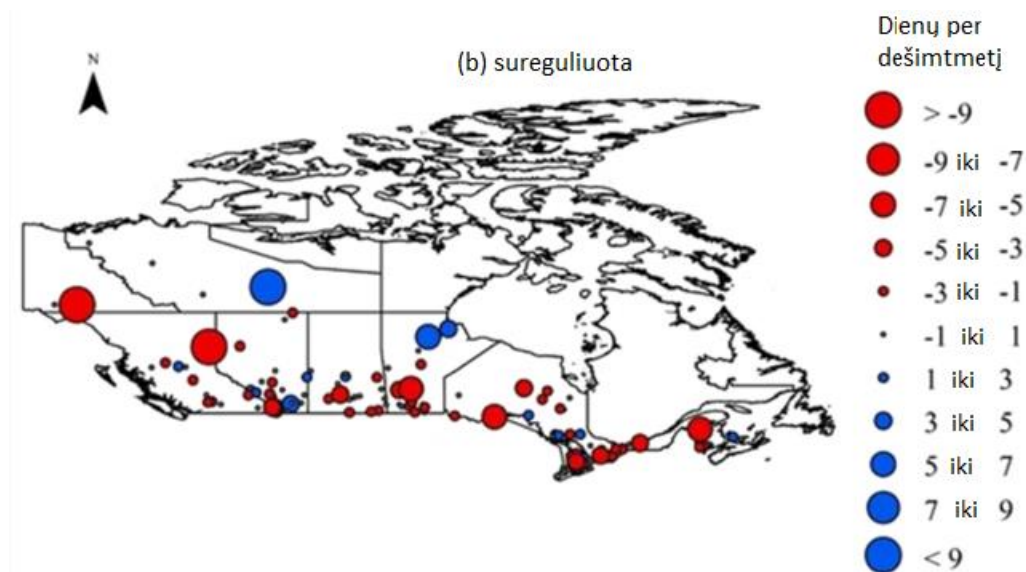
1.9 pav. Europos upių potvynių tendencijos dešimtmečiui (1960–2010 m.) (Blöschl et al., 2017)

Mirjama Bertola ir kiti mokslininkai (2020) analizavo Europos žemyne vykusius potvynius 1960–2010 metais, analizei pasirinko įvairaus dydžio baseinus, sudarė regioninį potvynių pokyčių modelį. Iš gautų rezultatų teigiamos potvynių dydžio tendencijos pastebėtos Šiaurės Vakarų Europoje. Matomas didėjantis žiemos nuotėkis Didžiojoje Britanijoje dėl sniego ir potvynio koreliavimosi su Šiaurine ir Rytine Atlanto dalimi. Pastebima įdomi tendencija mažuose baseinuose, iki 100 km², potvyniai padidėja, lyginant su vidutiniu potvyniu. O dideliuose baseinuose priešingai, matomos neigiamos tendencijos - potvyniai mažėja ypač Prancūzijoje. Pietų Europoje potvynio tendencijos neigiamos, galbūt dėl lietaus kritulių kiekio ar mažesnės drėgmės dirvožemyje, tai labiausiai pastebima mažo ploto baseinuose. Sumažėję maksimalūs potvynių debitai. Rytų Europoje tendencijos taip pat neigiamos visuose upių baseinuose. Manoma, kad tai galėjo lemti didėjanti temperatūra, taip pat greičiau ištirpstantis sniegas, padidėjusi infiltracija. Šiame regione pastebima, kad kuo didesnis baseinas, tuo neigiamesnė tendencija. O upių skirtingus baseinus sniego tirpsmas paveikia nevienodai.

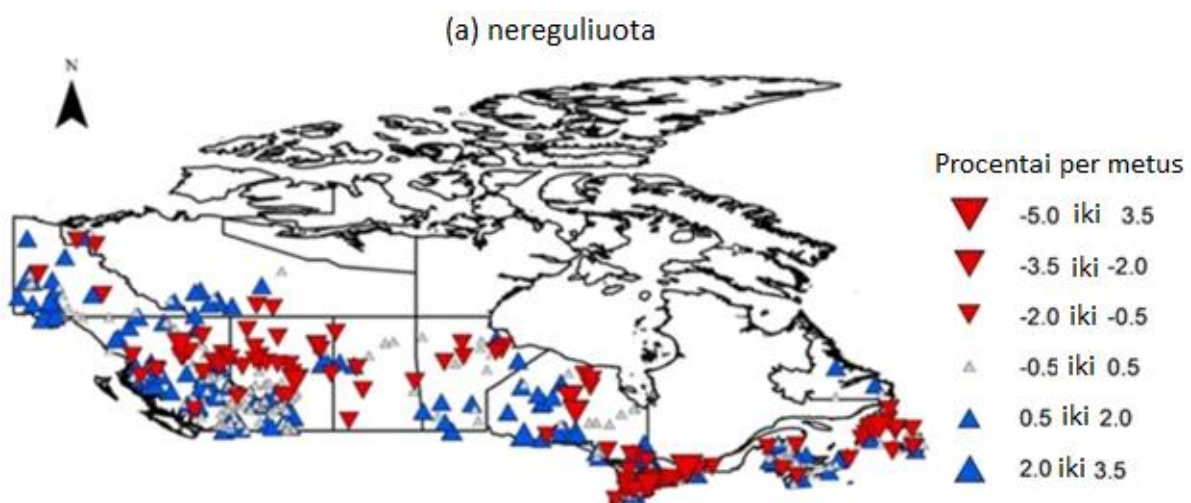
Mokslininkai, analizuodami ledo sukeltus potvynius Kanadoje nesureguliuotoje upės vagoje pastebi, kad Pietrytinėje Kanados dalyje ir Vakarinėje Kanados dalyje rodo ankstesnių potvynių tendencijas (1.10–1.11 pav.). Vidurio ir Atlanto Kanados dalis pasižymi vėluojančiais potvyniais. Potvynių laiko potvynio mąstas svyruoja ± 7 dienomis. Lyginant nesureguliuotą ir sureguliuotą upės vagą pastebima beveik vienoda upių stočių tendencija, bet skirtingas pokyčių mąstas. Sureguliuotose upėse jis svyruoja nuo +10 dienų iki -12 dienų per dešimtmetį, o nesureguliuotose ± 7 dienos. Mokslininkai yra ištirtę, kad upių vagos reguliavimas stipriau paveikia upės hidrologinius parametrus negu klimato kaita (Rokaya et al., 2018a). Analizuojant Kanados teritorijoje pavasario potvynių upių piko tendencijas pastebima, kad nesureguliuotose upėse nuotėkio pikai Kanados vidurio ir pietų regionuose yra didėjantys (1.11–1.12 pav.) (Rokaya et al., 2018a).



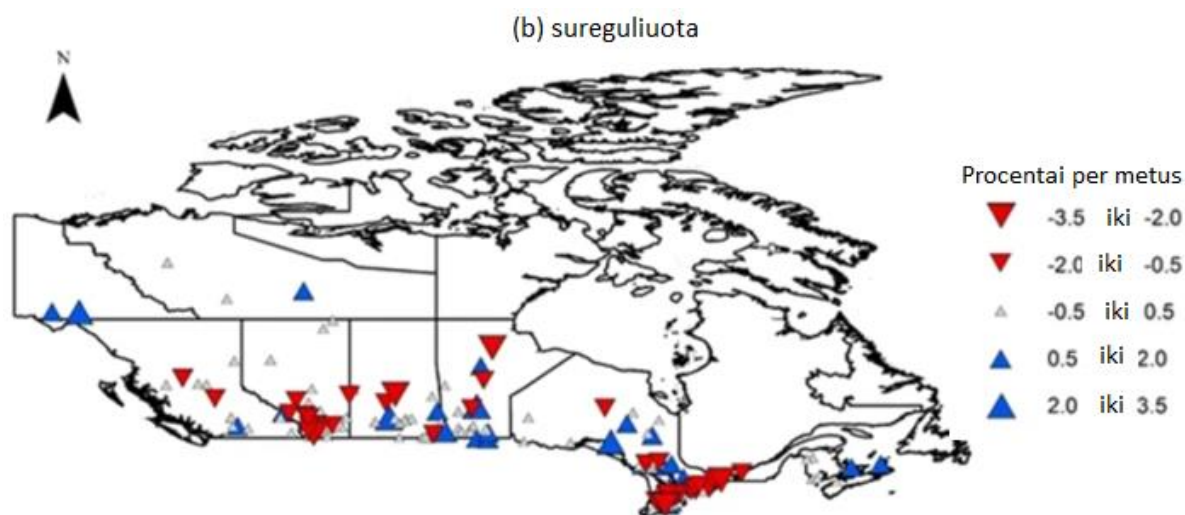
1.10 pav. Kanados nereguliuotų upių vagų potvynių tendencija dešimtmečiui (a)
(Rokaya et al., 2018)



1.11 pav. Kanados sureguliuotų upių vagų potvynių tendencija dešimtmečiui (b)
(Rokaya et al., 2018)



1.12 pav. Upių nuotėkio pikų tendencijos (a) (Rokaya et al., 2018)



1.13 pav. Upių nuotėkio pikų tendencijos (b) (Rokaya et al., 2018)

Mažėjantys pikai pastebimi Atlanto Kanadoje. Reguliuojamose upėse vietomis pastebimas nuotėkio piko augimas, bet daugiausia nuotėkio mažėjimas. Lyginant sureguliuotas ir nereguliuotas upės vagas skirias potvynio mastas. Nereguliuotoje upėje pikai svyruoja +3,5 % iki -5 % per metus, o reguliuotoje +3,5 % iki -3,5 % per metus rodo tik vis mažėjančias tendencijas (Rokaya et al., 2018a).

Apibendrinimas

Išnagrinėjus mokslinės literatūros straipsnius, kuriuose analizuojami upių potvyniai, galima teigti, kad Lietuvos ir užsienio mokslininkai pastebi augančią klimato kaitą, dėl kurios vis dažniau sunku prognozuoti potvynius. Šylantis klimatas ir hidrometeorologiniai veiksniai, paveikia potvynių dydį, o mažėjanti ledo ir sniego danga tiesiogiai veikia potvynio nuotėkį.

Klimato kaita yra augantis procesas, kurio jau nebesustabdysime. Mokslininkai įvardija, kad viena iš klimato kaitos priežasčių yra didėjančios CO₂ emisijos kiekis. CO₂ emisijos kiekio didėjimą sukelia didėjantis žmonių populiacijos augimas, intensyvėjanti žemdirbystė, ugnikalnių lavos išsiveržimai, pramonės augimas. Pastebima, kad dėl klimato kaitos pasaulyje vis dažniau įvyksta įvairios anomalijos: sausros, liūtys, labai dideli šalčiai arba karščio bangos.

Analizuojamoje literatūroje pastebima, kad potvyniai visame pasaulyje sukelia daug pasekmių, kurios dažniausiai būna neigiamos. Prarandamas sukauptas turtas, sunaikinama infrastruktūra, žūsta žmonės, prarandami gyvūnai, pakenkiama ekosistemoms, bet yra ir teigiamų pasekmių, tokių kaip: šalia upės vagos esanti teritorija užliejama ir papildoma dumbliu, todėl pagerėja derlingumas.

Iš literatūros šaltinių pastebima, kad potvyniai pavasario metu turi mažėjančią tendenciją. Pastebimi sezoniniai potvynių persiskirstymai – potvyniai pastebimi žiemos mėnesiais, o ne kaip buvo įprasta pavasarį. Analizuojant mokslinę literatūrą mažai informacijos apie Lietuvos upių potvynius ir jų tendencijas bei ateities prognozes. Iš informacijos apie potvynių riziką Lietuvoje, galima suprasti, kad potvynius reikia stebėti ir būti jiems pasiruošus. Literatūros apie skirtingiems baseinams priklausančias upes ir jų palyginimų nepavyko surasti. Šiame darbe yra pasirinktos 6 upės iš 3 skirtingų Lietuvos hidrologinių rajonų. Upės, kurios atstovaus Lietuvos teritorijos upes bus skirtingos tiek ilgiais, geologine sandara, skirtingais baseino dydžiais, bus analizuojama jų nuotėkio pasikeitimo tendencija bei ateities nuotėkio prognozės.

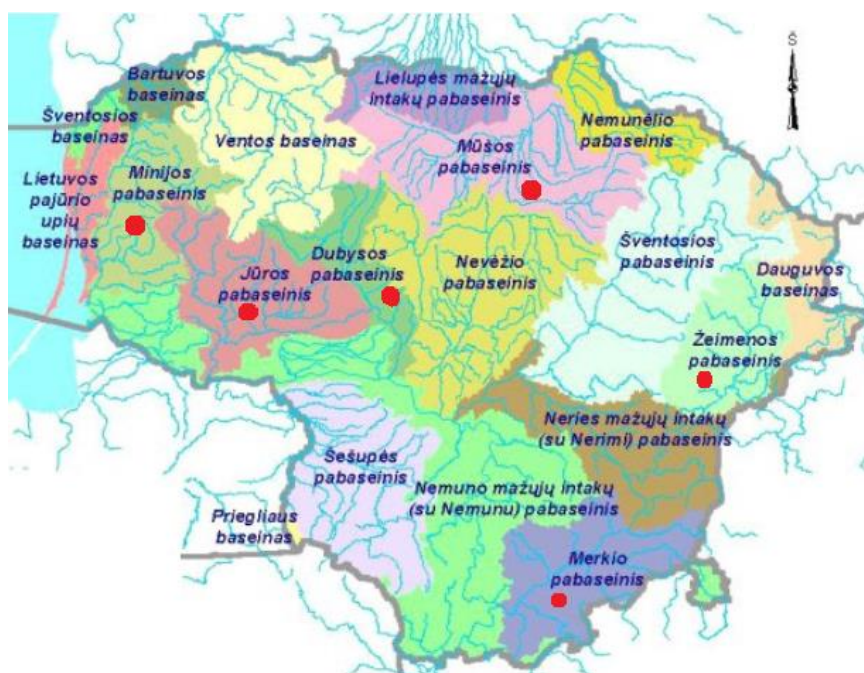
2. TYRIMO OBJEKTAS IR METODIKA

2.1. Tyrimo objektas

Pavasariinių potvynių sąlygoms analizuoti buvo pasirinkti šeši upių pabaseiniai Minijos, Jūros, Dubysos, Lėvens, Žeimenos ir Merkio, kurie yra išsidėstę visoje Lietuvos teritorijoje (2.1 pav.). Šie upių pabaseiniai priklauso dviem pagrindiniams Lietuvos upių baseinams – Nemuno ir Lielupės. Upių charakteristikos pateikiamos 2.1 lentelėje. Upių analizei naudojami 1988–2018 metų vasario–gegužės, vidutiniai ir maksimalūs debitų duomenys, kurie gauti iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos metraščių. Šios upės reprezentuoja Lietuvos hidrologinius rajonus: Vakarų, Vidurio ir Pietryčių.

2.1 lentelė. Nagrinėjamų upių duomenys (Gailiušis et al., 2001)

Upės pavadinimas	Hidrologinė sritis	Baseinas\pabaseinis	Upės baseino plotas, km ²	Ilgis, km
Minija (Kartena)	Vakarų Lietuvos	Minijos	2 942	202
Jūra (Tauragė)		Jūros	3 994	172
Dubysa (Lyduvėnai)		Dubysos	1 972	131
Lėvu (Kupiškis)	Vidurio Lietuvos	Mūšos	1 629	140
Žeimena (Pabradė)	Pietryčių Lietuvos	Žeimenos	2 793	80
Merkys (Puvočiai)		Merkio	4 416	203

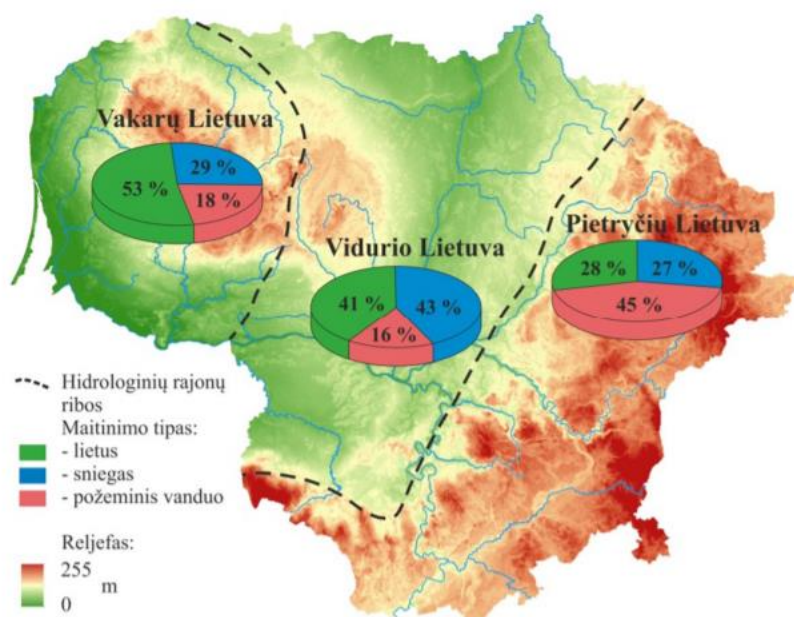


2.1 pav. Analizuojami Lietuvos upių baseinai ir pabaseiniai (Aplinkos apsaugos agentūra, 2021)

Kiekvienas Lietuvos hidrologinis rajonas pasižymi skirtingomis charakteristikomis, kurios skirtingai veikia potvynius. Hidrologiniuose rajonuose skiriasi upių maitinimo tipai, skirtingos nuogulos, hidrometeorologinės sąlygos, dėl to Lietuvos teritorija yra suskirstyta į tris rajonus: Vakarų Lietuvos, Vidurio Lietuvos ir Pietryčių Lietuvos (Gailiušis et al., 2001). Išskiriami upių maitinimosi būdai: sniego tirpsmo, lietaus ir požeminis maitinimas (2.2 pav.).

Vakarų hidrologiniame rajone jaučiamas jūrinis klimatas, dėl kurio iškrenta daugiausia kritulių, žiemą temperatūra būna aukštesnė nei kituose rajonuose, o sniego danga būna mažiausia ir išsilaiko trumpiausiai. Dėl tokių priežasčių lietaus vanduo sudaro didžiąją upės maitinimo dalį 53 %. Kiti maitinimosi būdai požeminis vanduo ir ištirpęs sniegas atitinkamai sudaro 18 % ir 29 %. Šiam hidrologiniam rajonui būdingesni vasaros poplūdžiai, nei pavasariniai potvyniai (Akstinas, 2019).

Vidurio Lietuvos hidrologinį lietaus krituliai (41 %) ir sniego tirpsmas (43 %) sudaro didžiąją upių nuotėkio dalį, o 16 % procentų požeminis vanduo. Toks maitinimosi būdas priklauso nuo ten vyraujančių nuogulų. Upių baseinus dengia daugiausia sunkios mechaninės sudėties gruntai, o jų infiltracinės savybės yra blogos, todėl požeminis vanduo mažai papildo upių nuotėkį. Iškritę krituliai tampa paviršiniu nuotėkiu, todėl upių debitai nepasižymi pastovumu (Kilkus & Stonevičius, 2011).



2.2 pav. Lietuvos upių maitinimo tipai ir jų procentinė dalis hidrologiniuose rajonuose (Akstinas, 2019)

Pietryčių Lietuvos hidrologiniame rajone iškrenta didžiausias sniego kiekis, kuris ištirpsta vėliau nei kituose rajonuose. Šiame hidrologiniame rajone vyrauja smėliai ir priesmėliai, kurie kaupia sniego tirpsmo vandenį gruntiniame sluoksnyje, iš kurio upės gali būti maitinamos nuosėkio periodu. Dėl šios priežasties gruntinis/požeminis vanduo sudaro 45 %, kuris kaupdamas kritulių kiekį, leidžia upių nuotėkiui pasiskirstyti tolygiau. Tiesiogiai upių nuotėkį papildo krituliai 28 % ir sniego tirpsmo vanduo 27 % (Akstinas, 2019).

Minija

Minijos upės ilgis yra 202 km, o baseino plotas – 2 942 km². Minijos upių baseino tankis, yra 0,95 km/km². Šios upės baseinas pagal formą atrodo asimetriškas (2.3 pav.). Šioje vakarų Lietuvos upės baseine iškrinta apie 960 mm kritulių, dalis jų 560–570 mm pavirsta garais, todėl nuotėkio koeficientas yra $\eta=0,41$. Upė pasižymi dideliu metiniu hidromoduliu 13,1 l s⁻¹ km⁻². Upei būdingi vandens debito svyravimai, kurie pasižymi pavasario potvyniais bei poplūdžiais. Poplūdžių debitai būna didesni, nei pavasario potvyniai.

Upės maitinimas: lietaus vanduo 55 % metinio nuotėkio tūrio, požeminis vanduo ir tirpstančio sniego vandenys Minijos upės nuotėkyje maždaug po 22–23 %. Upės nuotėkio daugiausiai nuteka rudens ir vasaros mėnesiais 39 %, pavasario nuotėkis 32 %, o žiemos nuotėkis mažiausias 29 % (Kilkus & Stonevičius, 2011).

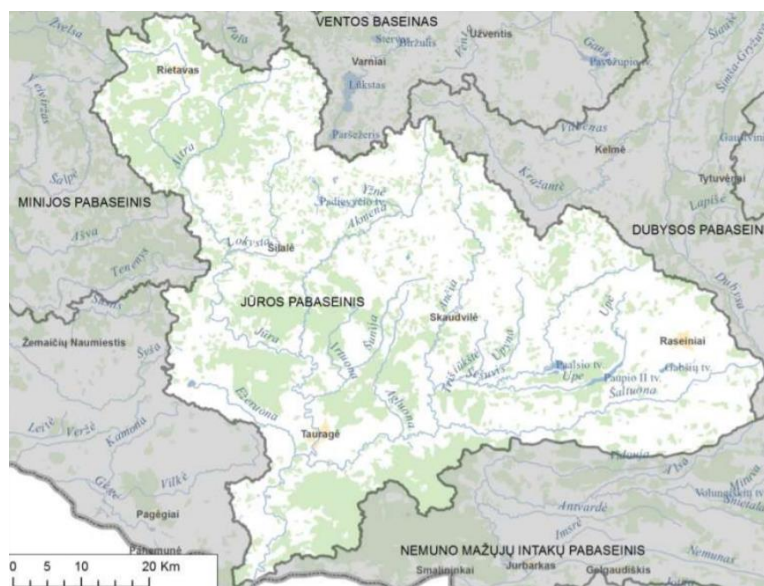


2.3 pav. Nagrinėjamas Minijos upės baseinas (Aplinkos apsaugos agentūra, 2021)

Minijos upės baseinas, lyginant su kitais Lietuvos upių baseinais, pasižymi didesniu kritulių kiekiu. Baseino nuogulų sklaida lemia, kad vandeniui mažai laidūs gruntai suformuoja didesnes galimybes formotis upės nuolydžiams (Gailiusis et al., 2001).

Jūra

Jūros upės baseino plotas yra 3 994 km², upės ilgis 172 km (2.4 pav.). Upė įteka į Nemuno baseiną. Apie 80 % baseino ploto padengta mažai laidžiais gruntais - priemoliais. Apie 10 % baseino plote vyrauja smėlingi gruntai. Upės baseinui per metus būdinga apie 900 mm kritulių, apie pusė kritulių tampa nuotėkiu.



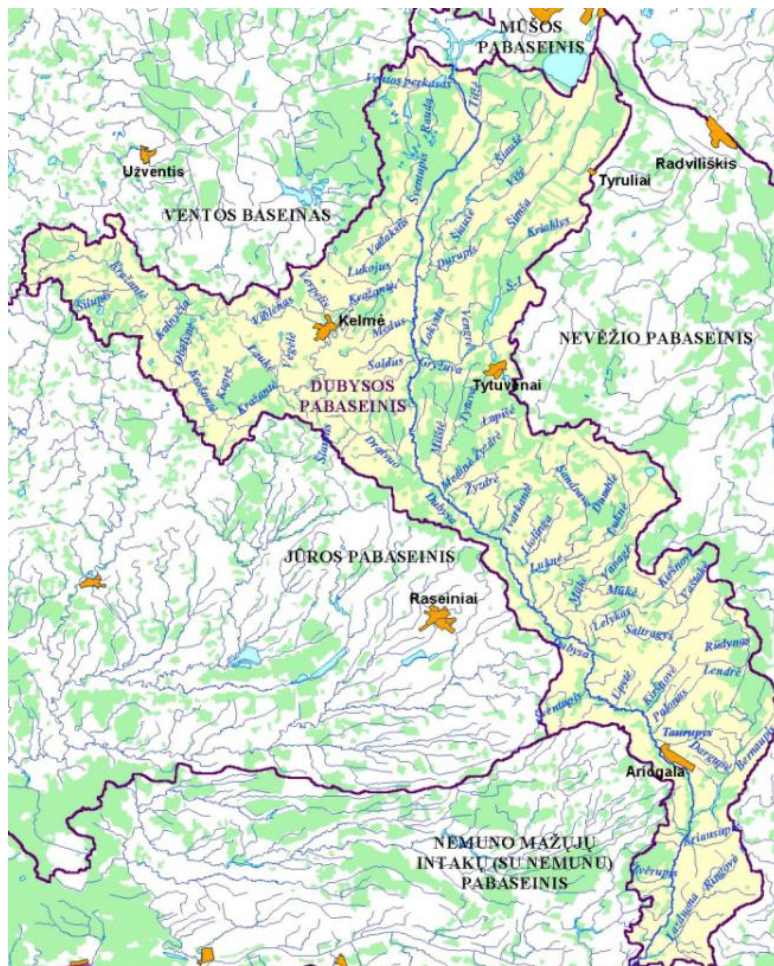
2.4 pav. Nagrinėjamas Jūros upės baseinas (Kilkus et al., 2011).

Jūros upės aukštupys pasižymi vandeningumu. Upės baseino hidromodulis lygus 9,6 l s⁻¹ km⁻². Per metus didžiausias upės nuotėkis susidaro nuo lietaus vandens apie 50 %, požeminis vanduo 20 %, sniego tirpimo vanduo 30 %. Upei būdingi poplūdžiai, o sausmečio

metu upė labai nusenka. Baseino vandeningumas yra 0,04 %, tai lemia mažas ežerų ir upių skaičius baseine (Kilkus et al., 2011).

Dubysa

Dubysos upės ilgis 131 km, o baseino plotas 1 972 km² (2.5 pav.). Ši upė, priešingai nei daugelis kitų upių, teka prieš baseino paviršiaus nuolydį, todėl upės baseinas siauras. Upės baseino tinklo tankis 1,07 km/km² yra didesnis už Lietuvos vidutinį. Upės baseino litologija parodo, kad baseine apie 70 % vyrauja vidutiniškai sunkūs gruntai, smėlis ir sunkūs priemoliai užima po 11 % ir 9 %. Miškingumas upės baseine užima 13 %.



2.5 pav. Nagrinėjamas Dubysos upės baseinas (Aplinkos apsaugos agentūra, 2021)

Upės baseine iškrinta apie 720 mm kritulių, iš kurių trečdalis nuteka upėmis $\eta = 0,32$. Skirtingose upės baseino dalys pasižymi ne vienodu santykinu vandeningumu. Metinis upės nuotėkio tūris Dubysoje pasiskirsto gan netolygiai: žiemos mėnesiais 25 %, vasaros ir rudens mėnesiais 29 %, o pavasario mėnesiais 46 %. Upės maitinimas yra mišrus kuris pasiskirsto beveik tolygiai: požeminio vandens – 29 %, sniego tirpsmo – 35 %, lietaus kritulių – 36 %. Kas ketverius metus upė per stiprias liūtis gali patvinti ir jos poplūdžio debitas gali viršyti potvynio debitus. Upės baseino ežeringumas 0,27 % (Kilkus et al., 2011).

Lėvu

Lėvens upė yra dešinysis Mūšos intakas, kurios ilgis yra ilgis 140 km, baseino plotas 1629 km². Upės ištakos yra Lėvenaičio ežeras, Kupiškio rajone. Nereguliuotos upės vagos plotis siekia apie 16–35 m, kur vaga sureguliuota, ištiesinta upės plotis tik 5–6 m. Upės gylis svyruoja nuo 0,7 m iki 3,1 m, Srovės greitis 0,2–0,3 m/s, vidutinis debitas Kupiškio stotyje 1,79 m³/s, o maksimalus debitas gali šoktelti iki 92 m³/s.

Nuotėkui upės baseine yra prastos sąlygos, dėl žemės paviršiaus lygumo. Pavasariinių potvynių metu upės baseino plote susidaro šlapesnės vietos. Per vasaros ir rudens lietaus potvynius upės vandens lygis pakyla 1–1,5 m (Lietuvos upės <http://www.upese.lt/index.php/l/levuo>).

Žeimena

Dešinysis Neries upės intakas Žeimena, upės ilgis 79,6 km, baseino plotas 2 793 km² (2.6 pav.). Upės ištakos Žeimenų ežeras. Baseino ežeringumas 6,4 %. Upė daugiausiai maitinasi požeminiu vandeniu apie 60 %. Metinis nuotėkis baseine pasiskirsto netolygiai, žiemą 23 % metinio nuotėkio, vasaros ir rudens mėnesiais 41 %, o pavasarį 36 %. Sausmečio metu upė maitinasi požeminiais vandenimis. Dėl skirtingų nuogulų upės baseine, intakų nuotėkis į Žeimenos upę būna labai skirtingas.

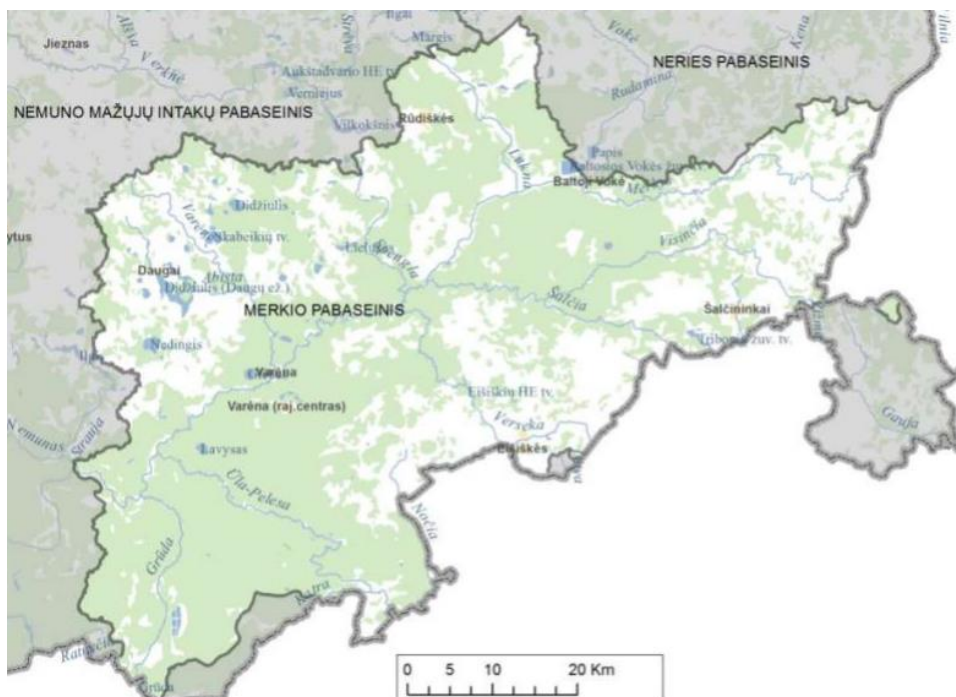


2.6 pav. Nagrinėjamas Žeimenos upės baseinas (Kilkus et al., 2011)

Ties Kaltanėnų VMS (Žeimenos upės aukštupys) nuotėkio hidromodulis 7,1 l s⁻¹ km⁻², upės žemupyje ties Pabrade jau 8,2 l s⁻¹ km⁻². Upės žiotyse teka 23 m³/s debitas (Kilkus et al., 2011).

Merkys

Nemuno upės dešinysis intakas – Merkio upė (2.7 pav.). Merkio upės ilgis 203 km, baseino plotas 4 416 km². Pratekantis debitas 36 m³/s. Plačiausia upės vieta žemupyje 30–40 m, siauriausia upės vieta aukštupyje 10 m. Nuotėkis upės baseine pasiskirsto netolygiai: žiemos mėnesiais nuteka 23 %, vasaros–rudens mėnesiais 42 %, o pavasario mėnesiams tenka 35 % metinio nuotėkio. Merkio upės baseino ežeringumas 0,9 %, pelkės užima 10 %.



2.7 pav. Nagrinėjamas Merkio upės baseinas Lietuvos teritorijoje (Kilkus et al., 2011)

Upės baseine iškrenta apie 700–750 mm kritulių, didžioji jų dalis 450 mm išgaruoja, todėl nuotėkio koeficientas lygus 0,40. Apie 67 % baseino ploto užima smėlingi dirvožemiai, dėl kurių upės miškingumas yra 40 %. Upėje vyrauja laidūs gruntai, todėl paviršinis nuotėkis nedidelis, iškritę krituliai labai greit susigeria į požeminio vandens sluoksnius. Gruntinis vanduo sudaro apie 63 % upės maitinimo (Kilkus & Stonevičius, 2011).

2.2. Tyrimo metodika

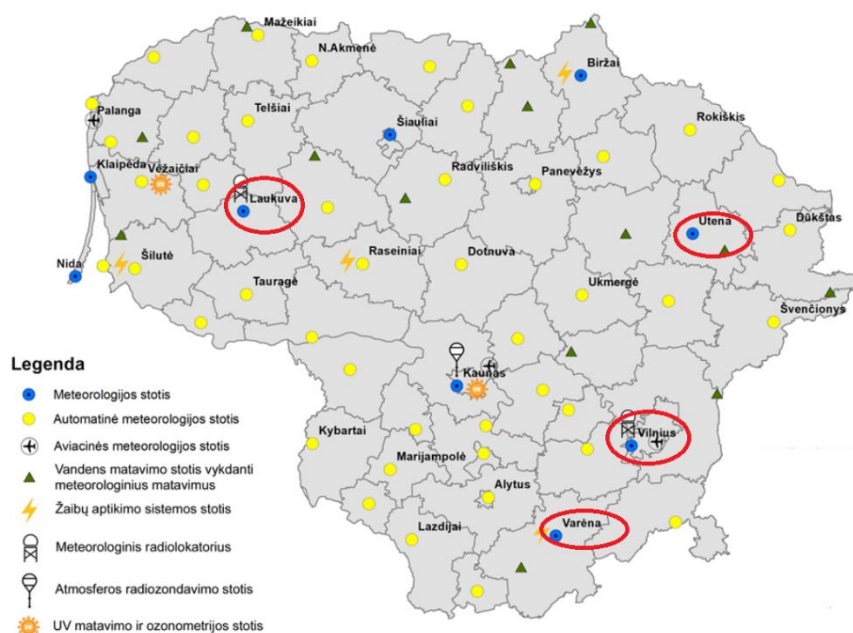
2.2.1. Hidrologinių ir meteorologinių duomenų apdorojimas

Tiriamajam darbui nagrinėti pasirinkta 1988–2018 metai. Duomenys surinkti iš hidrologijos (2.8 pav.) bei meteorologijos stočių (2.9 pav.). Analizei pasirinkti geriausiai potvynius atspindintys duomenys: vasario–gegužės mėnesių kiekvienos dienos upių debitai. Upių kaitos tyrimams įvertinti ir ateities potvynių prognozei naudojami metiniai vidutiniai debitai, taip pat metiniai kritulių duomenys iš skirtingų meteorologinių stočių (2.9 pav.). Analizavimui duomenų eilės – duomenys naudojami iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos. Darbe analizuojama: šešios upės, iš trijų skirtingų Lietuvos hidrologinių rajonų, kritulių ir temperatūros duomenys iš keturių meteorologinių stočių.



2.8 pav. Hidrologijos stočių žemėlapis (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2021)

Hidrologinės stotys kuriuose fiksuojama upių debitai: Minijos upė ties Kartena, Jūros upė ties Tauragė, Dubysos upė ties Lyduvėnai, Lėvens upė ties Kupiškis, Žeimenos upė ties Pabrade, Merkio upė ties Puvočiais.



2.9 pav. Meteorologijos stotys (Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, 2021)

Meteorologinės stotys, kuriose fiksuojami analizuojami temperatūros ir kritulių duomenys: Minijos, Jūros ir Dubysos upėms arčiausiai yra Laukuvos stotis, Lėvens upei Utenos stotis, Žeimenos upei Vilniaus, o Merkio upei Varėnos stotis.

2.2.2. Vandeningumo įvertinimas pagal tikimybes

Turint ilgalaikę hidrologinių duomenų eilę galima apskaičiuoti vidutinių upės debitų tikimybę, kuri nusako upės vandeningumo pasikartojimą. *Tikimybė* – kokio nors hidrologinio įvykio pasikartojimo galimybė ar jo dažnumas, daugiausiai išreiškiama % (Lietuvos

Respublikos aplinkos ministerija, 2005) Skaičiavimai atliekami pagal Statybos Techninio reglamento STR 2.05.19:2005 „Inžinerinė hidrologija, pagrindiniai skaičiavimų reikalavimai“ VI skyriaus „Hidrologinių charakteristikų skaičiavimas turint ilgalaikius matavimo (stebėjimo) duomenis“ nurodymus. Naudojama Čegodajevo formulė:

$$p = \frac{m-0,3}{n+0,4} \cdot 100\% \quad (2.1)$$

m – statistinės hidrologinės duomenų eilės nario numeris eilėje;

n – hidrologinių duomenų narių skaičius eilėje.

Sudarius duomenų statistinę eilę, t.y. debitus išdėsčius mažėjančia tvarka, apskaičiuojamos jų pasitaikymo tikimybės. Upės vandeningumo tikimybės: didžiausias vandeningumas būna nuo 0–33 %, vidutinis vandeningumas 33,1–66 %, mažas vandeningumas upė 66,1–100%. Tikimybių skaičiavimai atliekami su visų šešių upių debitaais.

2.2.3. Kritulių ir debito priklausomybės nustatymas naudojant koreliacijos koeficientus

Pagal 30 metų upių debitus, gautus iš Hidrometeorologijos tarnybos, ir kritulių duomenis, gautus iš Laukuvos, Utenos, Varėnos ir Vilniaus stočių meteorologinių metraščių, buvo apskaičiuoti koreliaciniai koeficientai. Koreliacijos koeficientas nusako ryšį tarp analizuojamų x (krituliai) ir y (debitai) kintamųjų reikšmių ir jų stiprumą. Dažniausiai jis yra apskaičiuojamas pagal tokią formulę (Sakalauskas, 2003).

$$r = \frac{\sum \Delta x \Delta y}{\sqrt{\sum \Delta x^2 \sum \Delta y^2}} \quad (2.2)$$

Koreliacijos koeficiento patikimumo skaičiavimo formulė:

$$p = \frac{r\sqrt{n-1}}{(1-r^2)}; \quad (2.3)$$

r – koreliacijos koeficientas,

$\sum \Delta x$ – kai x matavimų kritulių vidurkis

$\sum \Delta y$ – kai y debitų vidurkis,

p – koreliacijos koeficiento patikimumas,

n – narių skaičius eilėje.

2.2 lentelė. Koreliacijos koeficientai ir jų stiprumas (Sakalauskas, 2003)

Koeficiento r reikšmė	Vertinimas
0,00–0,19	Labai silpnas tarpusavio ryšys
0,20–0,39	Silpnas ryšys
0,40–0,69	Vidutinis ryšys
0,70–0,89	Stiprus ryšys
0,90–1,00	Labai stiprus tarpusavio ryšys

Koreliacijos koeficientai:

- kintantys nuo -1 iki 1;
- kai koreliacijos koeficientas yra lygus 1, tai visi taškai (x_i , y_i) yra vienoje tiesėje, kurios krypties koeficientas yra teigiamas;
- kai koreliacijos koeficientas yra lygus -1, tai visi taškai (x_i , y_i) yra tiesėje, kurios krypties koeficientas yra neigiamas;

- kai koreliacijos koeficientas yra lygus 0, tai reikšmės yra nepriklausomos;
- kuo koreliacijos koeficiento reikšmės didesnės, tuo stipresnė koreliacija, jeigu reikšmės mažesnės, tuo koreliacija būna silpnesnė (nepriklausomai nuo teigiamos ar neigiamos reikšmės);
- kai koreliacijos patikimumas $p < 0,05$, galima teigti, kad jis yra patikimas (Kazimieras Pukėnas, 2009).

2.2.4. Nuotėkio hidromodulio skaičiavimas

Hidromodulis (nuotėkio modulis) yra vienas iš nuotėkio išreiškimų, kuris gaunamas vidutinio upės baseino debito ir nuotėkio baseino ploto santykiu. Skaičiuojamas pagal formulę (Gailiusis et al., 2001):

$$p = \frac{1000 \cdot Q}{A}, l s^{-1} km^{-2}; \quad (2.4)$$

Q-vidutinis upės baseino debitas $m^3 s^{-1}$;
A-nuotėkio baseino plotas km^2 .

2.2.5. Tendencijų vertinimas Mann-Kendall ir Spearman's Rho testais

Turint ilgą duomenų eilę jie gali būti atsitiktinai išsibarstę ir netikslūs, tam kad gauti tikslesnius rezultatus, pastebėti duomenų tendenciją, reikia išfiltruoti duomenis. Tokiam filtravimui pasirenkama *TREND* programa, padedanti apskaičiuoti hidrologinių parametrų tendencijų atsitiktinumą. Šios programos dėka galima atlikti 11 statistinių hidrologinių parametrų testų. Ši programa atsisiųsta iš svetainės <https://toolkit.ewater.org.au/trend>.

Pasirinktų šešių upių hidrologinių duomenų tendencijoms sužinoti buvo pasirinkti neparametriniai Mann-Kendall ir Spearman'o Rho testai. Analizuojamos upių nuotėkio tendencijos įvairiais variantais: išfiltravus maksimalius debitus, vidutinius metinius debitus, vidutinius 5 mėnesių debitus, skirtingais laikotarpiais, kas 10, 15 ar 30 metų.

Hidrologijoje apie 90 % hidrologinių duomenų eilių galima pastebėti ryškią asimetriją, todėl galima sužinoti, kad duomenų eilė nepaklūsta normaliam pasiskirstymo dėsnui. Tada duomenų analizei į pagalbą pasitelkiami neparametriniai statistiniai testai. Bene vieni populiariausi hidrologinių eilių analizei naudojami neparametriniai testai Mann-Kendall'io ir Spearman-Rho. Šių testų pagalba įvertinama duomenų pokyčius ir jų patikimumą. Parametriniai testai atliekami naudojantis *TREND* kompiuterine programa. *TREND* programa labiausiai tinkama apdoroti meteorologinius ar hidrologinius duomenis, ir jų kaitos tendencijoms įvertinti.

Dažniausiai hidrologiniams parametrams ir jų eilėms įvertinti naudojami Mann-Kendall'o ir Spearman's Rho neparametriniai testai (Dumbrasukas et al., 2008). Šių testų pagalba įvertinama duomenų eilių pokyčių patikimumas.

Mann-Kendall testo statistika S yra apskaičiuojama pagal formulę (2.5 ir 2.6 formulės) (Kažys et al., 2009)
Čia:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sign}(x_i - x_j); \quad (2.5)$$

Čia:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1, & \text{jei } x > 0 \\ 0, & \text{jei } x = 0 \\ -1, & \text{jei } x < 0. \end{cases} \quad (2.6)$$

Spearman's Rho testas patvirtina gautus Mann-Kendall testo rezultatus. Šis testas parodo ar koreliacija tarp dviejų kintamųjų yra reikšminga. Testo statistika q_s yra koreliacijos

koeficientas, kuris gaunamas tuo pačiu būdu kaip ir įprastas koreliacijos koeficientas, bet naudoja eiles (2.7–2.10 formulės) (Chiew et al., 2005):

$$q_s = \frac{S_{xy}}{(S_x S_y)^{0.5}}; \quad (2.7)$$

čia:

$$S_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2; \quad (2.8)$$

$$S_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2; \quad (2.9)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}); \quad (2.10)$$

Tendencija neturi reikšmės, kai TS (testo statistika) neviršija apskaičiuotos kritinės reikšmės, tam galėtų turėti įtakos baseinų meteorologinės bei hidrologinės charakteristikos. Kai tendencija galima pasikliauti ji išreiškiama pvz. S(0,01) vieneto dalimis, tai reikštų, kad ši tendencija turi 1 % tikimybę pasikartoti ateityje. Kai testo rezultatas gaunamas NS - rezultatai nėra reikšmingi. Upių maksimaliems, vidutiniams metiniams bei vasario–gegužės debitams atlikti neparametriniai Mann-Kendall ir Spearman's Rho testai.

2.2.6. Variacijos koeficientų nustatymas

Upių vidutiniams debitams buvo apskaičiuoti upių variacijos koeficientai C_v . Variacijos koeficientas C_v – statistinis parametras, parodantis skaičiuojamos charakteristikos duomenų kaitos intensyvumą vidutinės reikšmės atžvilgiu ir išreiškiamas vidutinio kvadratinio nuokrypio ir vidutinės eilės reikšmės santykiu.

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_{i-1})^2}{n-1}} \quad (2.11)$$

n – narių skaičius eilėje;

k_i – nagrinėjamos hidrologinės charakteristikos modulinis koeficientas, apskaičiuotas pagal formulę:

$$k_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}}, \quad (2.12)$$

Q_i – kiekvienų metų debito (vidutinio, maksimalaus, ar minimalaus) reikšmė;

2.2.7. Nuotėkio modulinį koeficientų nukrypimo nuo vidurkio integralinės kreivės nustatymas

Kiekvienai upei nubraižytos skaičiuojamosios charakteristikos (vandens debito) modulinį koeficientų nuokrypių nuo vidurkio integralinės kreivės ($K - 1$), kurios leidžia pastebėti vandeningumo ciklus analizuojamose upėse. Integralinės vandens kreivės parodo upės

vandeningumo ciklus, leidžia išnagrinėti upės debitų pakilimus. Nuotėkio modulinį koeficientų nukrypimas nuo vidurkio reikšmės (0) yra neigiamas (-), tada, kai upė būna mažo vandeningumo fazėje. Jeigu upė būna vandeningoje fazėje, tada nuotėkio moduliniai koeficientai krypta link teigiamų reikšmių (+).

2.2.8. Klimato prognozavimas

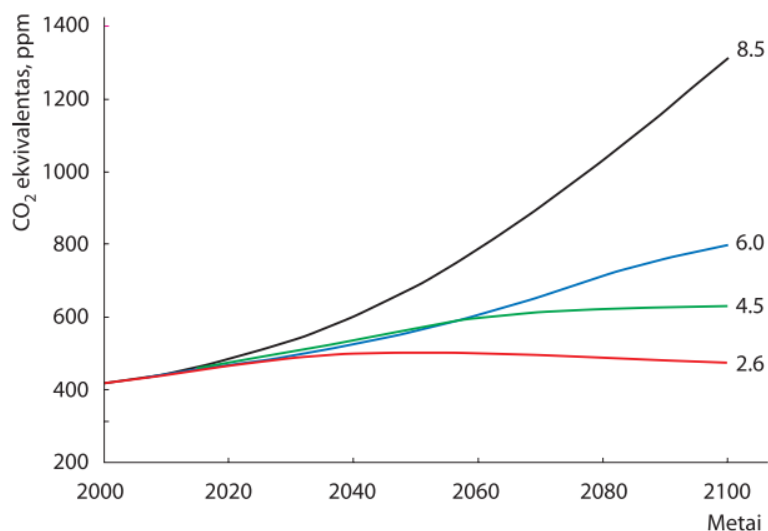
Darbe klimato elementų analizei naudojami trys PMO (Pasaulinės meteorologijos organizacijos) CMIP5 (*Coupled Model Intercomparison Project phase 5*) klimato modeliai GFDL-CM3, HadGEM2-ES, NorESM1-M. Šiais klimato modelių prognozių rezultatais pasidalino Vilniaus universiteto Hidrologijos ir klimatologijos katedros doc. Justas Kažys. Pagal šių modelių prognozes bus prognozuojamas upių nuotėkis 2081–2100 metams. Modeliuose naudojama kasdienė vidutinė oro temperatūra esanti prie žemės paviršiaus ir kritulių duomenys iš skirtingų laikotarpių. GFDL-CM3, HadGEM2-ES, NorESM1-M modeliai yra parinkti kaip vieni iš geriausiai atspindinčių mėnesines vidutinių oro temperatūros ir kritulių kiekio reikšmes Lietuvos vietovėje. Norint numatyti ateities klimato pokyčius reikia žinoti, kaip keisis ŠESD (Šiltnamio efektą sukeliančios dujos) emisijos. Todėl Tarpyvyriausybės klimato kaitos komisijos iniciatyva buvo sudaryta ŠESD emisijų scenarijai – RCP scenarijai. CMIP5 modelių prognozė sudaroma, remiantis keturiais ŠESD emisijų scenarijais: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 ir RCP8.5 (Keršytė et al., 2015).

Klimato modeliai leidžia nuspėti ir įvertinti klimato pokyčius ateityje. Ateities klimato pokyčių prognozėms įvertinti naudojamos RCP scenarijai. Šie scenarijai sudaryti pagal ateities ŠESD emisijas bei socialinę ir ekonominę žmonijos raidą. RCP scenarijai prognozuoja ateities šiltnamio efektą sukeliančių dujų ir aerozolių koncentracijas (2.10 pav.). Naudojami RCP scenarijai (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5) padės įvertinti galimą klimato kaitos poveikį analizuojamoms upėms. Šie scenarijai parodo, kas bus ateityje, jeigu pasaulis vystytųsi skirtingais keliais.

Pats optimistiškiausias **RCP2.6** Olandijoje sukurtas scenarijus. Pagal jį prognozuojama, kad didžiausias energinio poveikio viršūnė apie 3 W/m^2 ir $\text{CO}_2 \sim 490 \text{ ppm}$, bus pasiekta jau XXI a. viduryje, o tada jau seks laipsniškas mažėjimas iki $2,6 \text{ W/m}^2$ 2100 metais. Tokiam rezultatui pasiekti, valstybės turi jau dabar įgyvendinti tarptautinio masto priemones, kurios leistų sumažinti skleidžiamą taršą ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentraciją atmosferoje (Čepukas, 2019).

RCP4.5 JAV Jungtinio aplinkos pokyčių tyrimų instituto mokslininkų sukurtas scenarijus. Šis scenarijus numato, kad energinis poveikis pasieks $4,5 \text{ W/m}^2$ ribą ir stabilizuosis iki 2100 metų, o šiltnamio dujų koncentracija CO_2 ekvivalentu bus apie 650 ppm. Tokiam scenarijui išsipildyti visuomenė turi pradėti plačiai taikyti technologijas, kurios padėtų mažinti teršalų emisijas (Akstinas, 2019).

Kitas kiek mažiau optimistinis scenarijus yra Japonijos nacionalinio aplinkos studijų instituto sukurtas **RCP6.0** scenarijus. Šis scenarijus prognozuoja, energinio poveikio sustiprėjimo stabilizavimąsi po 2100 metų, kai energijos poveikis bus $6,0 \text{ W/m}^2$ o šiltnamio dujų koncentracija CO_2 ekvivalentu bus apie 850 ppm. Šiam scenarijui stabilizuotis reikia, panaudoti įvairias technologijas, kurios padėtų mažinti šiltnamio dujų emisijas (Keršytė et al., 2015).



2.10 pav. Prognozuojamas CO₂ koncentracijos (ppm) kitimas pagal skirtingus RCP scenarijus (van Vuuren et al., 2011)

Pesimistiškiausias Tarptautinio taikomųjų sistemų analizės instituto modeliavimo grupės Austrijoje sukurtas **RCP8.5** scenarijus. Šis scenarijus numato, kad šiltnamio efektą sukeliančios dujų emisijos augs. XXI a. pabaigoje, CO₂ emisijos gali pasiekti didžiausią energinį poveikį 8,5 W/m² ribą, kas atitinka ~1370 ppm CO₂ ekvivalentą. Jeigu pasaulio valstybės nesiims jokių priemonių sumažinti teršalų emisijas, bus prognozuojami negrįžtami klimato kaitos pokyčiai visame pasaulyje (Keršytė et al., 2015).

Klimato modelis **GFDL-CM3** (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory – Climate Model 3) modelis. Šis žemės sistemos modelis yra sukurtas NOAA Geofizinėje skysčių dinamikos laboratorijoje analizuoti 365 dienas metuose. Gardelės dydis: 1,5° ilgumos ir 2,0° platumos (2.3 lent.). Matavimo vienetai: paros vidutinė oro temperatūra (K) ir kritulių kiekis (kg m⁻² s⁻¹) (Keršytė et al., 2015).

NorESM1-M (Norwegian Earth System Model 1 - medium resolution) modelis. Žemės sistemos modelis sukurtas Bjerkneso klimato tyrimų centre ir Norvegijos meteorologijos institute analizuojant 365 dienas metuose. Gardelės dydis: 2,5° ilgumos ir 1,895° platumos (2.3 lent.). Matavimo vienetai: paros vidutinė oro temperatūra (K) ir kritulių kiekis (kg m⁻² s⁻¹) (Akstinas, 2019).

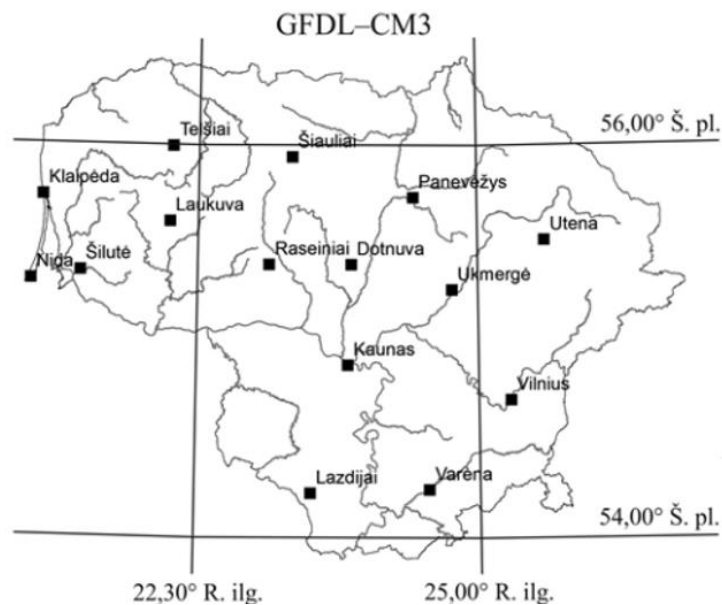
HadGEM2-ES (Hadley Global Environment Model 2 - Earth System) modelis. Toks Žemės sistemos modelis sukurtas JK (Jungtinės Karalystės) orų tarnybos Hadley centre tirinat 360 dienų metuose. Gardelės dydis: 1,875° ilgumos ir 1,25° platumos (2.3 lent.). Matavimo vienetai: paros vidutinė oro temperatūra (K) ir kritulių kiekis (kg m⁻² s⁻¹) (Keršytė et al., 2015).

2.3 lentelė. Modelių išvesties duomenų gardelių centriniai taškai ir juos patenkančios Lietuvos meteorologinės stotys (Keršytė et al., 2015)

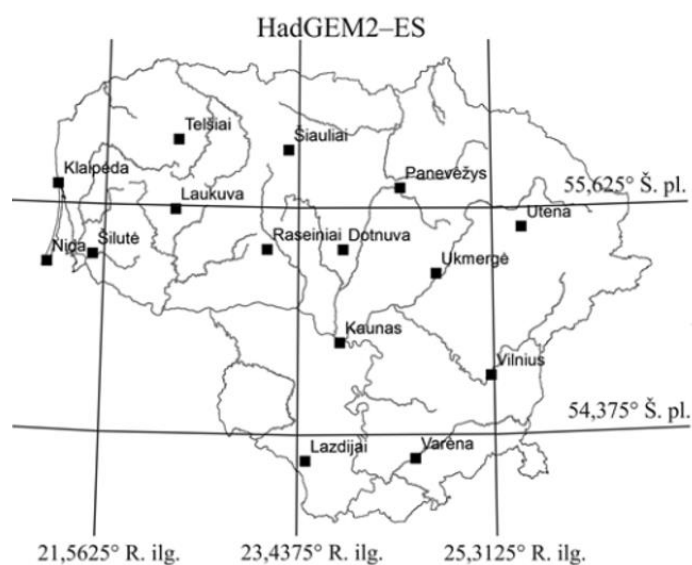
Gardelės vidurio taškas		GFDL-CM3 modelis
Ilguma, °	Platuma, °	Meteorologijos stotys
21,25	55,0	Klaipėda, Laukuva, Šilutė, Telšiai.
23,75	55,0	Dotnuva, Kaunas, Lazdijai, Panevėžys, Raseiniai, Šiauliai, Ukmergė, Varėna.
25,25	55,0	Utena, Vilnius.
Gardelės vidurio taškas		NorESM1-M modelis
Ilguma, °	Platuma, °	Meteorologijos stotys
22,5	55,895	Klaipėda, Laukuva, Raseiniai, Šiauliai, Šilutė, Telšiai.
25,0	54,0	Kaunas, Lazdijai, Varėna, Vilnius.
25,0	55,895	Dotnuva, Panevėžys, Ukmergė, Utena.

Gardelės vidurio taškas		HadGEM2-ES
Ilguma, °	Ilguma, °	Meteorologijos stotys
22,5	55,0	Klaipėda, Laukuva, Raseiniai, Šilutė.
22,5	56,25	Šiauliai, Telšiai.
24,375	53,75	Lazdijai, Varėna.
24,375	55,0	Dotnuva, Kaunas, Panevėžys, Ukmergė.
26,25	55,0	Utena, Vilnius.

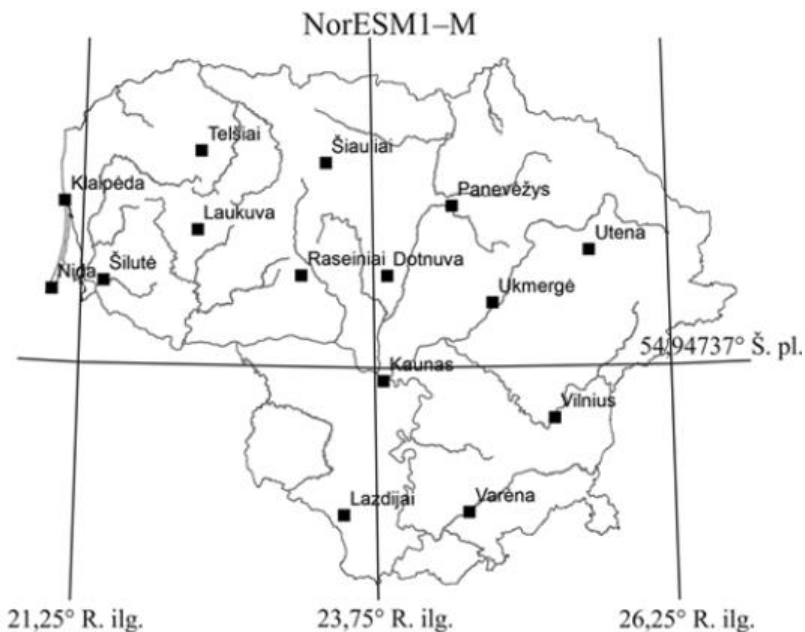
Kiekvienas globalaus klimato modelis turi savo specifines charakteristikas ir skirtingo dydžio tinklelio gardeles, į kurias patenka Lietuvos meteorologijos stotys (2.11–2.13 pav.).



2.11 pav. GFDL-CM3 klimato modelio gardelių pasiskirstymas Lietuvos meteorologinėse stotyse (Keršytė et al., 2015)



2.12 pav. HadGEM2-ES klimato modelio gardelių pasiskirstymas Lietuvos meteorologinėse stotyse (Keršytė et al., 2015)



2.13 pav. NorESM1-M klimato modelio gardelių pasiskirstymas Lietuvos meteorologinėse stotyse (Keršytė et al., 2015)

Prognozei sudaryti naudojama kiekvienos dienos oro temperatūros ir kritulių kiekių duomenys pagal MS (meteorologines stotis). Klimato modeliai pagal keturis RCP (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5) scenarijus prognozuoja numatomas ateities temperatūros ir kritulių kiekio pokyčius. Klimato modelių pagalba prognozuojamos metinės oro temperatūros pokytis ateities perspektyvai 20 metų (°C) 2081–2100 metais lyginant su praėjusiais 20 metų 1986–2005 metų laikotarpiu Lietuvos MS, taip pat prognozuojamas metinių kritulių kiekio pokytis ateities perspektyvai 20 metų (%) 2081–2100 metais lyginant su praėjusių 20 metų 1986–2005 metų laikotarpiu Lietuvos MS.

2.2.9. Hidrologinių parametrų prognozės

Patikrinus duomenų eilių koreliacinius ryšius tarp upės nuotėkio ir kritulių duomenų, nuotėkio prognozė rengiama *Curve expert 2.7* programa gautomis lygtimis bei kritulių ateities prognozėmis, pagal skirtingus RCP scenarijus ir CMIP klimato modelius.

Curve expert 2.7 programa yra modeliavimo įrankis, leidžiantis lengvai ir greitai nustatyti tinkamiausią X (kritulių) ir Y(debitų) duomenų taškus. Programoje yra galimų daugiau nei 30 kreivių modelių, pagal kuriuos bus atliekama ateities nuotėkio prognozė. Iš daugiau nei 30 modelių prognozių rezultatų, pagal duomenų standartinę paklaidą ir koreliacijos koeficientus, yra atrenkami tinkamiausi modeliai.

Į programą suvedus bazinius 1986–2005 metų kritulių ir debito duomenis gaunamos lygtis, kurių pagalba atliekama nuotėkio prognozė. Visos pateiktos prognozių lygtys yra patikimos. Nuotėkio prognozė atliekama tik penkioms upėms. Žeimenos upei prognozė neatliekama, nes duomenys yra nepatikimi, o koreliacijos koeficientas yra neigiamas ir turi labai silpną ryšį tarp kritulių ir debito.

Minijos upės nuotėkio prognozei taikomi tokie modeliai:

- Laipsninės funkcijos atitiktis (*Power Fit*):

$$y = a \cdot x^b, \quad (2.13)$$

čia: $a = 0,031561$; $b = 0,942367861$.

- Karščio talpumo modelis (*Heat Capacity Model*):

$$y = a + b \cdot x + \frac{c}{x^2}, \quad (2.14)$$

čia: $a = 4,190735$; $b = 0,017431$, $c = -561185,817709$.

- Geometrinės funkcijos atitiktis (*Geometric Fit*):

$$y = a \cdot x^{bx}, \quad (2.15)$$

čia: $a = 7,443806$; $b = 0,000153$.

- 4-tos eilės polinominis modelis (*4 th Degree Polynomial Fit*):

$$y = a + b \cdot x + c \cdot x^2 + d \cdot x^3 + e \cdot x^4, \quad (2.16)$$

čia: $a = 118,306$; $b = -0,772$, $c = 0,00189$, $d = -0,0000019$, $e = 6,8650E-10$.

Jūros upės nuotėkio prognozei taikomi tokie modeliai:

- Laipsninės funkcijos atitiktis (*Power Fit*):

$$y = a \cdot x^b, \quad (2.17)$$

čia: $a = 0,041179$; $b = 0,939729$.

- Karščio talpumo modelis (*Heat Capacity Model*):

$$y = a + b \cdot x + \frac{c}{x^2}, \quad (2.18)$$

čia: $a = 10,121193$; $b = 0,018300$, $c = -1597240,732352$.

- Geometrinės funkcijos atitiktis (*Geometric Fit*):

$$y = a \cdot x^{bx}, \quad (2.19)$$

čia: $a = 9,798494$; $b = 0,000149$.

- Hoerl modelis (*Hoerl Model*):

$$y = ab^x \cdot x^c, \quad (2.20)$$

čia: $a = 8,67259 \cdot 10^{-5}$; $b = 0,998640$, $c = 2,026760$.

Dubysos upės nuotėkio prognozei taikomi tokie modeliai:

- Geometrinės funkcijos atitiktis (*Geometric Fit*):

$$y = a \cdot x^{bx}, \quad (2.21)$$

čia: $a = 3,984252$; $b = 0,000145$.

- Karščio talpumo modelis (*Heat Capacity Model*):

$$y = a + b \cdot x + \frac{c}{x^2}, \quad (2.22)$$

čia: $a = 2,266706$; $b = 0,008692$, $c = -265537,311666$.

- Saturation Growth Rate modelis (*Saturation Growth Rate*):

$$y = \frac{ax}{(b+x)}, \quad (2.23)$$

čia: $a = 89,241178$; $b = 7326,528514$.

- Laipsninės funkcijos atitiktis (*Power Fit*):

$$y = a \cdot x^b, \quad (2.24)$$

čia: $a = 0,020535$; $b = 0,906\ 151$.

Lėvens upės nuotėkio prognozei taikomi tokie modeliai:

- Abipuse kvadratinė atitiktis (*Reciprocal Quadratic*):

$$y = \frac{1}{(a+b \cdot x+c \cdot x^2)}, \quad (2.25)$$

čia: $a = 3,377292$; $b = -0,007\ 628$, $c = 0,000\ 005$.

- Karščio talpumo modelis (*Heat Capacity Model*):

$$y = a + b \cdot x + \frac{c}{x^2}, \quad (2.26)$$

čia: $a = 7,846062$; $b = -0,003552$, $c = -1322400,24$.

- Geometrinės funkcijos atitiktis (*Geometric Fit*):

$$y = a \cdot x^{bx}, \quad (2.27)$$

čia: $a = 0,823601$; $b = 0,000239$.

- Logistinės laipsninės funkcijos atitiktis (*Logistic Power*):

$$y = \frac{a}{\left(1+\left(\frac{x}{b}\right)^c\right)}, \quad (2.28)$$

čia: $a = 3,239929$; $b = 554,125389$, $c = -6,3160396$.

Merkio upės nuotėkio prognozei taikomi tokie modeliai:

- Geometrinės funkcijos atitiktis (*Geometric Fit*):

$$y = a \cdot x^{bx}, \quad (2.29)$$

čia: $a = 20,875482$; $b = 0,000103$.

- Karščio talpumo modelis (*Heat Capacity Model*):

$$y = a + b \cdot x + \frac{c}{x^2}, \quad (2.30)$$

čia: $a = 19,309\,014$; $b = 0,021826$, $c = -505509,929098$.

- Modifikuotas laipsnis (*Modified Power*):

$$y = a \cdot b^x, \quad (2.31)$$

čia: $a = 19,473683$; $b = 1,000773$.

- Hoerl modelis (*Hoerl Model*):

$$y = a \cdot b^x \cdot x^c, \quad (2.32)$$

čia: $a = 4,259076$; $b = 1,000363$, $c = 0,276105$.

Šias lygtis pritaikius nuotėkio prognozei, gaunami nuotėkio pokyčiai tolimai ateičiai 2081–2100 metams.

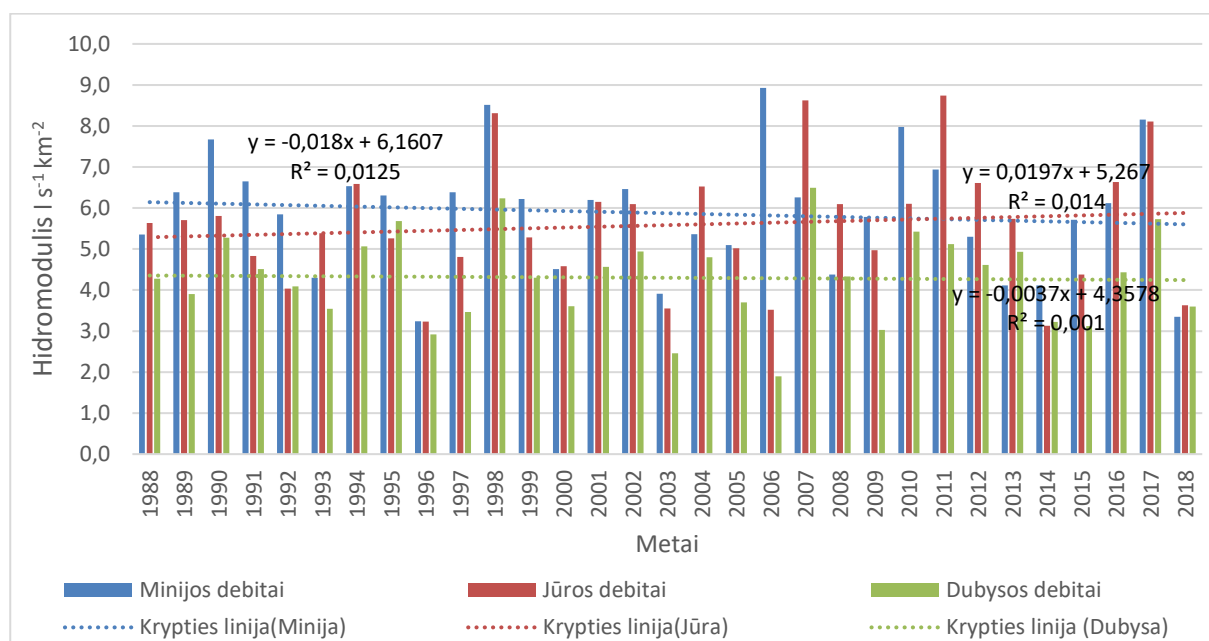
3. TYRIMO REZULTATAI

3.1. Hidrologinių duomenų kaitos analizė

Turint trisdešimties metų duomenų eilę, galima pastebėti upių tendencijas, upės vandeningus ir mažai vandeningus metus. Pagal upės baseino plotą ir vidutį debitą nustatomas hidromodulis, kuris leidžia palyginti upių vandeningumus, esančius skirtingo dydžio upių baseinuose. Analizuojant Vakarų regiono upes (3.1 pav.) matoma, kad Minijos upė ties Kartena ir Jūros upė ties Taurage išsiskiria didesniu vandeningumu, nei Dubysos upė ties Lyduvėnais. Pagal metų vandens nuotėkio normų izolinijų žemėlapi (Kovalenkovičienė, et., al. 1996) Minijos ir Jūros upės būdingas didžiausias nuotėkio kiekis ($11 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ – $14,3 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$). Todėl šių upių nuotėkio modulis yra didesnis nei Dubysos upės. Minijos upės hidromodulis svyruoja nuo $3,24 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ iki $8,16 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ ir yra labai panašus į Jūros upės hidromodulį $3,13 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ iki $8,74 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, nors Jūros upės baseino plotas yra beveik 1000 km^2 didesnis. Dubysos upės nuotėkio modulis yra $1,90 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ iki $6,49 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, o jos baseino plotas yra 2 kartus mažesnis už Jūros upės.

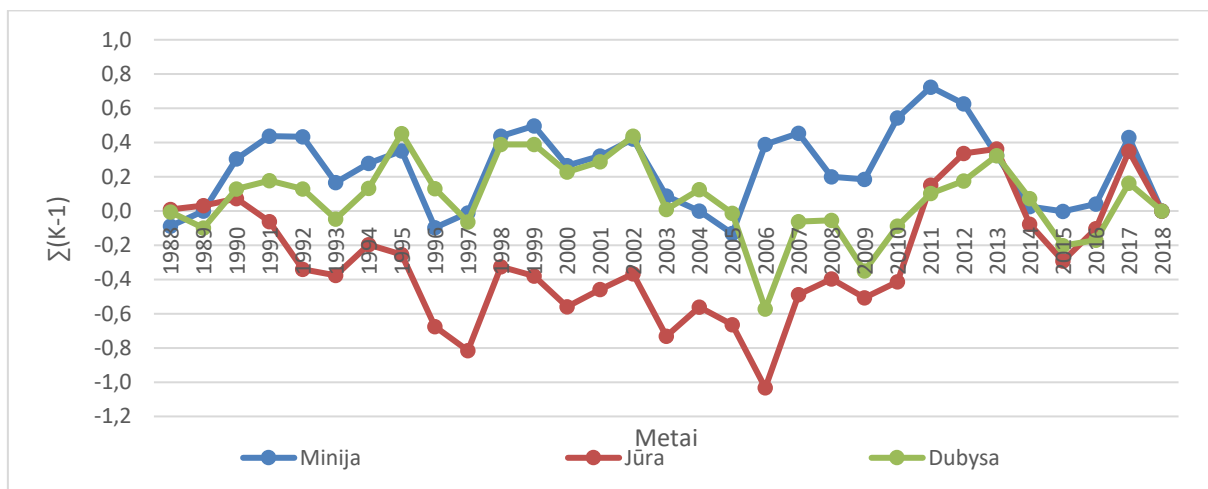
Minijos upės vandeningiausi 2006, 1998, 2010 ir 2017 metai, kai vandeningumas 2,2–11,8 % tikimybės (1 priedas.), o tuo tarpu Jūros upės 2011, 2007, 1998 ir 2017 metai vandeningumas buvo 2,2–11,8 %. Dubysos upėje vandeningiausi metai buvo: 2007, 1998, 2017, 1995. Dubysos ir Jūros upėse vandeningiausi metai buvo 2007 ir 2017. Bendrai visose upėse 2017 pasižymėjo didžiausiu vandeningumu, kai Minijos ir Dubysos upių vandeningumas buvo lygus 8,6 % tikimybės, o Jūros upėje 11,8 % tikimybės.

Mažai vandeningi metai Minijos upėje buvo 1996, 2018, 2003, 2013 metais, Jūros upėje 2014, 1996, 2006, 2003 metais, o Dubysos upėje 2006, 2003, 1996, 2009 metai, kai upių vandeningumas buvo 88,2–97,8 % tikimybės. Pagal tokią tikimybę galima manyti, kad dažniausiai upėse bus toks vandeningumas. Iš krypties linijos matoma, kad Minijos upės vidutinių metinių debitų tendencija linkusi mažėti, tai parodo nuotėkio mažėjimą upėje. Dubysos upėje ties Lyduvėnais tai pat pastebimas neryškus nuotėkio modulio mažėjimas, todėl tikėtina, kad ateityje nuotėkis mažės. Jūros upėje, priešingai nei Minijos ar Dubysos upėse, matomas vandeningų metų augimas. Tikėtina, kad vyksta Jūros upės nuotėkio ciklo pasikeitimas (3.2 pav.). Jis keičiasi iš nevandeningo į vandeningą ciklą, todėl šios upės 1988–2018 metų hidromodulių tendencija didėjanti.



3.1 pav. Vakarų regiono upių vidutiniai metiniai hidromoduliai

Upių vidutiniam nuotėkio cikliškumui (fazei) parodyti, naudojamos integralinės modulinio koeficientų (k) nuokrypio kreivės, kurios padeda pastebėti debito kitimo tendenciją vidurkio atžvilgiu. Integralinės kreivės (3.2 pav.) parodo upių metus, kurių metu upė yra sausoje vandeningumo fazėje (jei atvirkščiai – vandeningoje fazėje). Upės vandeninga fazė yra tuomet, kai nuotėkio koeficientai yra nukrypę nuo vidurkio (0,00) linksta link teigiamų reikšmių, o sausoji vandeningumo fazė, kai reikšmės yra neigiamos. Nagrinėjamos Vakarų regiono upės Jūra ir Minija pasižymi skirtingomis fazėmis. Jūros upė nagrinėjamu laikotarpiu yra sausoje vandeningumo fazėje (1990–2010), o Minijos upė vandeningoje fazėje išliko beveik visą laikotarpį, išskyrus 1988, 1996, 1997 ir 2000 metus. 2011 metais Jūros upėje pastebimas sausos vandeningumo fazės perėjimas į vandeningąją. Dubysos upėje skirtingai nuo kitų upių, sauso vandeningumo ir vandeningos fazės yra labiau susimaišiusios. Iš analizuojamų 31 metų Dubysos upė 11 metų buvo sausoje vandeningumo fazėje, likusius metus vandeningoje fazėje. Dubysos upė nuo 2005 iki 2011 metų pereina ilgesnį laikotarpį, kai upė buvo sauso vandeningumo, todėl galima teigti, kad upe pratekantys metiniai debitai nebuvo didėjantys.

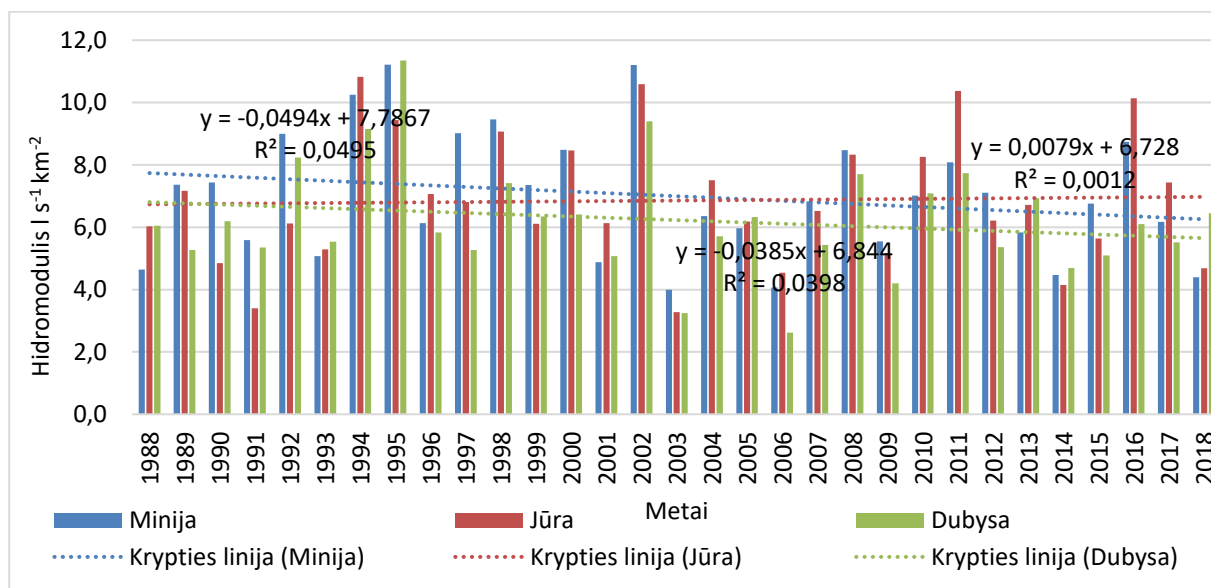


3.2 pav. Vakarų regiono upių vidutinio metinio nuotėkio modulinio koeficientų nukrypimo nuo vidurkio integralinė kreivės

Analizuojant, darbe nagrinėjamą laikotarpį, vidutinius vasario–gegužės mėnesio hidromodus (3.3 pav.) pastebima, tokia pat krypties linijos tendencija, kaip ir metiniuose vidutiniuose hidromoduliuose: Minijos ir Dubysos upėse mažėjimas, o Jūros upėje didėjimas. Minijos upės vasario–gegužės hidromodulis svyruoja nuo $4,07 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ iki $11,22 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, jis yra apie 1,3 karto didesnis už visų metinių vidurkių hidromodulį, todėl tikėtina, kad didžiausi debitai nuteka pavasario mėnesiais potvynio metu. Jūros upės vasario–gegužės minimalaus hidromodulio reikšmė yra $3,28 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, o maksimalaus hidromodulio reikšmė $10,82 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Vasario–gegužės minimali reikšmė yra 1,05 karto didesnė už visų metų vidurkio hidromodulio minimalią reikšmę, o maksimali reikšmė yra 1,24 karto didesnė. Dubysos upės minimalus hidromodulis lygus $2,62 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, o maksimalus $11,34 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Šios upės mažiausia vasario–gegužės mėnesių hidromodulio reikšmė yra 1,38 karto didesnė, negu vidutinių metinių debitų hidromodulio vertė, maksimali reikšmė yra 1,75 karto didesnė. Išanalizuotose Vakarų regiono upėse, beveik visada pavasario metu vyrauja didesni debitai negu metiniai vidutiniai, todėl galima teigti, kad didžioji dalis debitų susidaro potvynių metu. Pastebima didelė nuotėkio variacija t. y. 2003 metais upių hidromodulis buvo iki $4 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, o 2002 metais daugiau nei $9 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$.

Vandeningiausi metai pavasario mėnesiais Minijos upėje buvo 1995, 2002, 1992, 2016, o sausringiausi 2003, 2018, 2014, 1988. Jūros upėje pavasario metu didžiausias debitas pratekėjo 1994, 2002, 2011, 2016 metais, o sausringas pavasaris buvo 2003, 1991, 2014, 2006

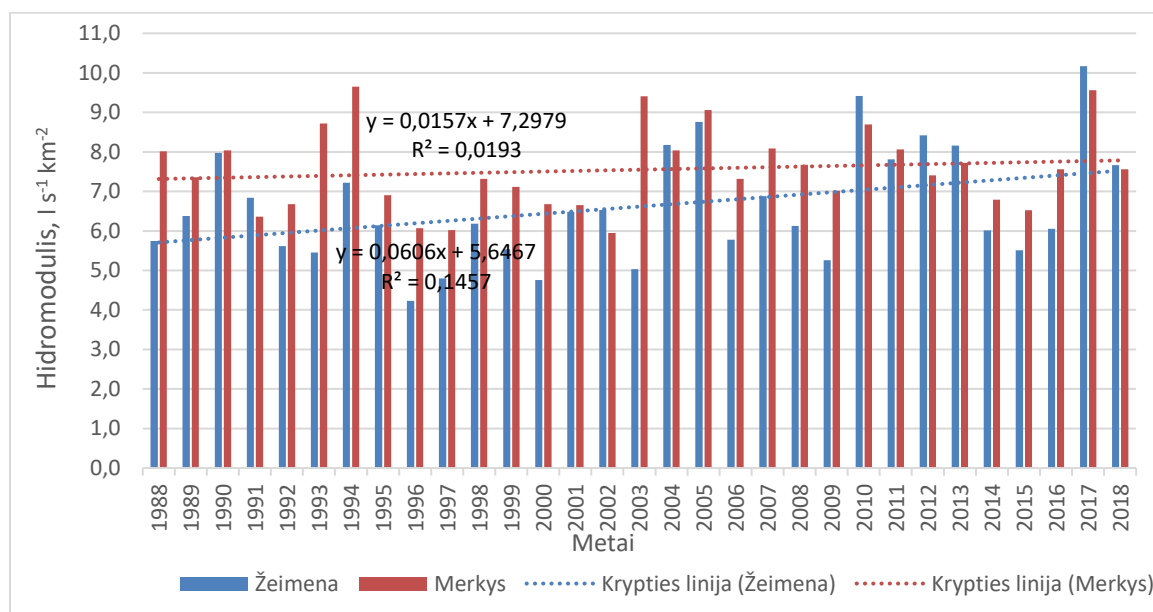
metais. Dubysos upėje didžiausias pavasario nuotėkis buvo 1995, 2002, 1994, 1992, o nevandeninga buvo 2006, 2003, 2009, 2014.



3.3 pav. Vakarų regiono upių vidutiniai vasario–gegužės mėnesių hidromoduliai

Pagal 3.1 ir 3.3 paveikslus palyginus vidutinius metinius ir vidutinius vasario–gegužės hidromodulius galima teigti, kad hidrologinė sausra Minijos upėje buvo 2003 metais, nes tais metais iškrito beveik mažiausiai kritulių, lyginant su kitais metais (priedas nr. 2). Jūros upėje didžiausias nuotėkis palyginus vidutinius metinius ir vidutinius vasario–gegužės mėnesius buvo 2011 metais, o mažiausias nuotėkis buvo 2014 ir 2016 metais. Minijos ir Jūros upių vasario–gegužės nuotėkio hidromodulis, iš analizuojamų 1988–2018 metų, 8 metus buvo mažesnis negu vidutinis metinis nuotėkis, o Dubysos upėje tik 2 metus. Dubysos upės didžiausi hidromoduliai buvo 1995 metais, o mažiausi hidromoduliai buvo 2006, 2003, 2009 metais.

Pietryčių Lietuvos upių, Žeimenos upė ties Pabrade ir Merkio upė ties Puvočiais vidutinių metinių hidromodulių didėjančios tendencijos, pastebimas nuotėkio kilimas abejose upėse (3.4 pav.).

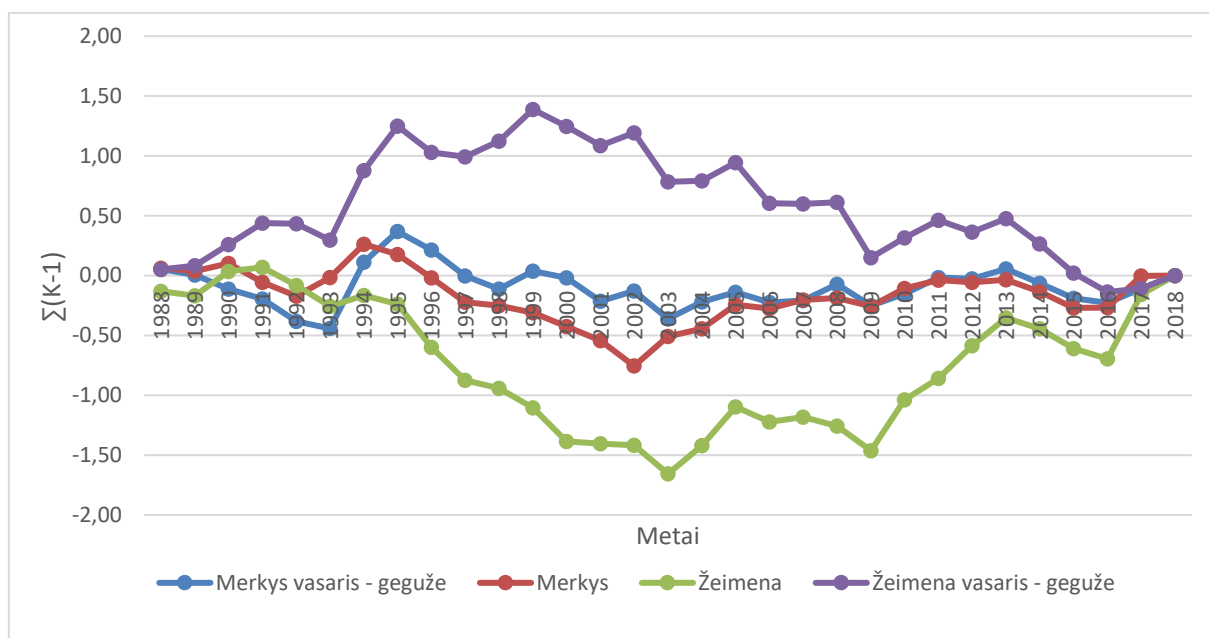


3.4 pav. Pietryčių Lietuvos regiono upių vidutiniai metiniai hidromoduliai

Žeimenos upės vidutinis metinis hidromodulis svyruoja nuo $4,23 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ iki $10,17 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$, Merkio upės $5,95 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ iki $9,65 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Žeimenos upės ties Pabrade didžiausias nuotėkio modulis buvo 2017, 2010, 2005, 2012 tai parodo, kad upė buvo vandeninga. Mažiausias nuotėkio modulis buvo 1996, 1997, 2000, 2003 metais. Merkio upės ties Puvočiais didžiausias hidromodulis buvo 1994, 2017, 2003, 2005 metais, o mažiausias 2002, 1997, 1996, 1991 metais. Abejose upėse 2005 metais pasižymėjo vienais iš didžiausių nuotėkių, o mažu nuotėkiu pasižymėjo 1997 ir 1996 metai.

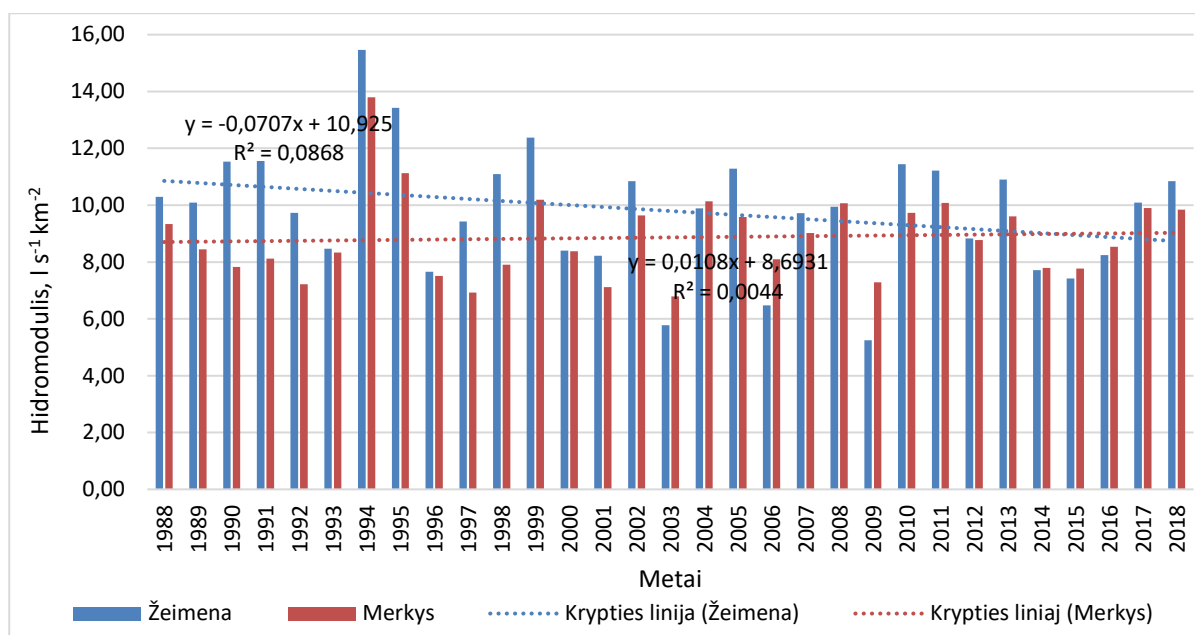
Merkio ir Žeimenos upių integralinių kreivių grafikas pateikiamas 3.5 paveiksle. Merkio upė ilgą tarpą pagal vidutines metines integralines kreives 1996–2011 metais buvo nevandeningoje fazėje. Vasario–gegužės integralinės kreivės parodo, kad upė 1994–1998 ir 2013 metais buvo vandeningoje fazėje, kitais metais buvo sausoje vandeningumo fazėje.

Žeimenos upė analizuojamu laikotarpiu, beveik pagal visus vidutinius metinius debitus, yra sausame vandeningumo cikle, tik 1990 ir 1991 metais buvo vandeningoje fazėje. Iš integralinės kreivės, pastebima, kad metiniai upės debitai, nuo 2003 metų po truputį kyla, bet upė išlieka sausoje vandeningumo fazėje visą likusį analizuojamą laikotarpį. Pagal vasario–gegužės integralinę kreivę matoma, kad pavasario potvynių metu yra vandeninga. Nuo 1999 metų pastebima, kad upės nuotėkis pradeda mažėti pavasario laikotarpiu.



3.5 pav. Pietryčių Lietuvos upių vidutinio metinio ir vasario–gegužės nuotėkio modulių koeficientų nukrypimo nuo vidurkio integralinė kreivės

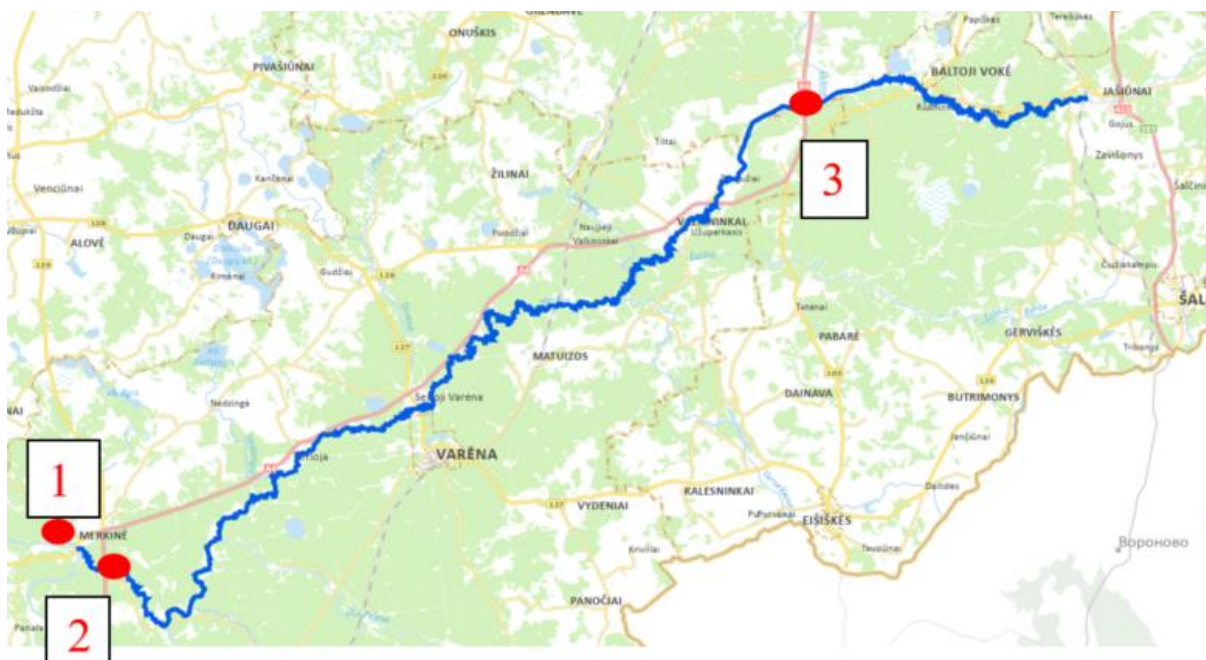
Žiūrint į vidutinius vasario–gegužės nuotėkio modulius (3.6 pav.) Žeimenos upėje matomas mažėjimas, skirtingai negu buvo metiniuose vidurkiuose. Merkio upė ties Puvočiais išlaiko nuotėkio didėjimo tendenciją. Žeimenos upėje nuotėkio moduliai svyruoja nuo $5,77 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ iki $15,46 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. 1994 ir 1995 metai pasižymi didžiausiu nuotėkio kiekiu, manoma, kad tai paveikė upės baseine iškritę gausesni krituliai. Merkio upės nuotėkio moduliai svyruoja nuo $6,79 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$ iki $13,79 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^{-2}$. Didžiausi nuotėkio hidromoduliai upėje buvo 1994, 1995, 1999, 2011 dėl didesnio kritulių kiekio iškritusio vasario–gegužės metu arba iškritusių kritulių, kurie buvo sniego pavidalu ir kaupėsi ant žemės paviršiaus. Mažas nuotėkis buvo 2003, 1997, 2001, 1992 metais. Abejose upėse 1994, 1995 ir 1999 metai buvo vandeningi, o 2003 metai sausringi.



3.6 pav. Pietryčių regiono upių vidutiniai vasario–gegužės mėnesių hidromoduliai

Palyginus vidutinius metinius (3.4 pav.) ir vasario–gegužės nuotėkio modulius (3.6 pav.), pastebima, kad Merkio upėje 1997 metais buvo sumažėjęs nuotėkis o 1994 metais padidėjęs nuotėkis. Žeimenos upėje pavasario minimalus debitas yra didesnis 1,3 karto didesnis, o maksimalus 1,6 karto didesnis. Merkio upėje ties Puvočiais minimalus nuotėkis 1,1 karto didesnis, o maksimalus 1,4 karto didesnis. Žeimenos upėje vasario–gegužės debitas visada buvo didesnis negu vidutinis metinis debitas, o Merkio upėje to nebuvo tik 3 kartus. Galima teigti, kad ir Pietryčių regiono upėse didžiausi debitai dažniausiai susiformuoja pavasario metu.

Potvynis, kuris buvo užfiksuotas trijose skirtingose vietose 2022–02–23, kai upės vandens lygis Puvočių hidrologinėje stotyje siekė 1,85 m (3.7–3.11 pav.).



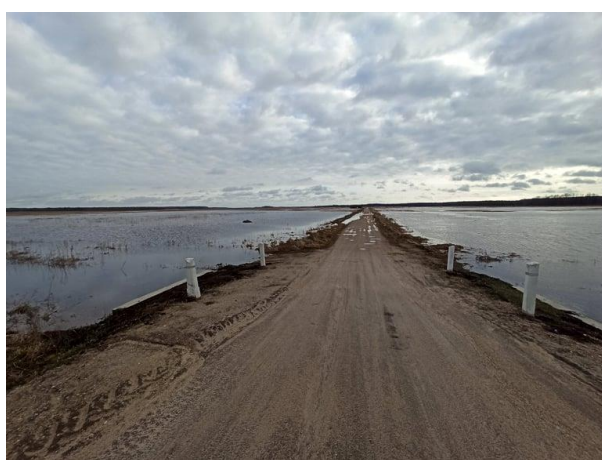
3.7 pav. Merkio upėje užfiksuoti potvyniai



3.8 pav. Merkio upės žemupys (1) potvynio metu (2022–02–23)

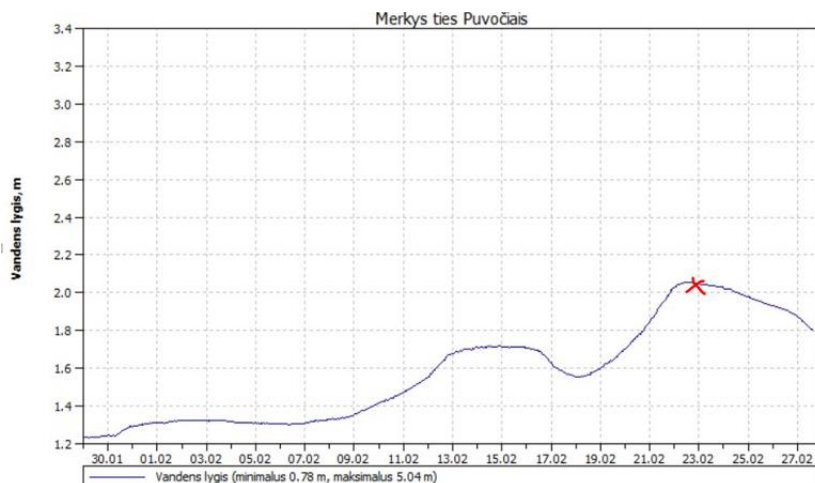


3.9 pav. Merkio upės vaga potvynio metu (kairėje) (2022–02–23), gegužės mėnesį (dešinėje) (2022–05–10)



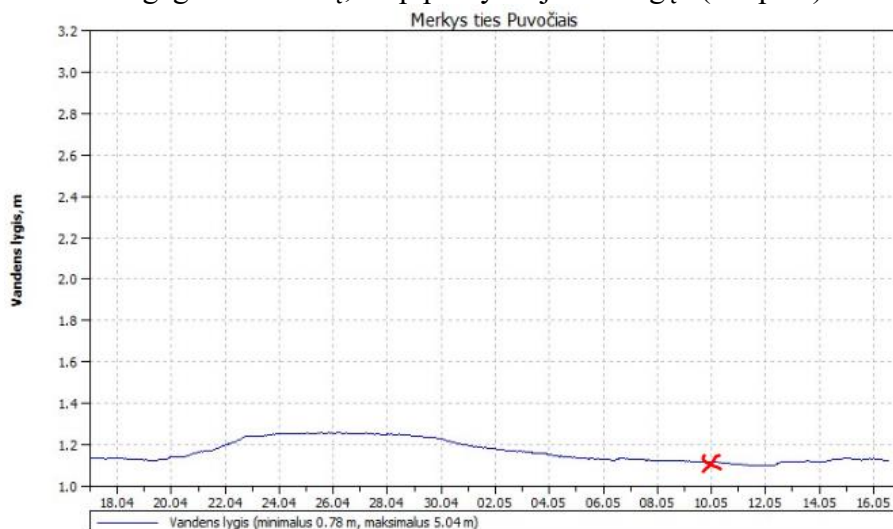
3.10 pav. Merkio upė potvynio metu aukštupyje (3) (2022–02–23)

Iš 3.8 paveikslo matome, kaip atrodo Merkio upės žiotys ir santaka su Nemuno upe. Vandens lygis upės daug labiau pakilęs negu vasaros laikotarpiu. Analizuojamame antrame upės taške matoma, kad upės vandens lygis yra pakilęs, o upės krantai pradedami veikti vandens erozijos (3.9 pav.). Potvynis užfiksuotas trečiame taške upės aukštupyje. Upės vanduo tiek pakilęs, kad užliejo pievas ir pradeda plauti kelią (3.10 pav.). Iš 3.11 paveikslo galima pastebėti kaip potvynis upėje formavosi ir kaip keitėsi vandens lygis upėje. Potvynis pradėjo formotis vasario mėnesį, nes vasario pirmojo dešimtadienio vidutinė oro temperatūra Lietuvoje buvo 0,2 °C. Dėl tokios vidutinės teigiamos temperatūros vandens lygis upėje dar žymiai nekito iki vasario 7 dienos. Vasario antrojo dešimtadienio vidutinė oro temperatūra Lietuvoje buvo 2,5 °C, pradėjo formotis potvynis. Aukščiausia oro temperatūra 9,7 °C išmatuota 16 d. Druskininkuose.



3.11 pav. Vandens lygis potvynio metu Puvočių hidrologinėje stotyje (2022–02–23)

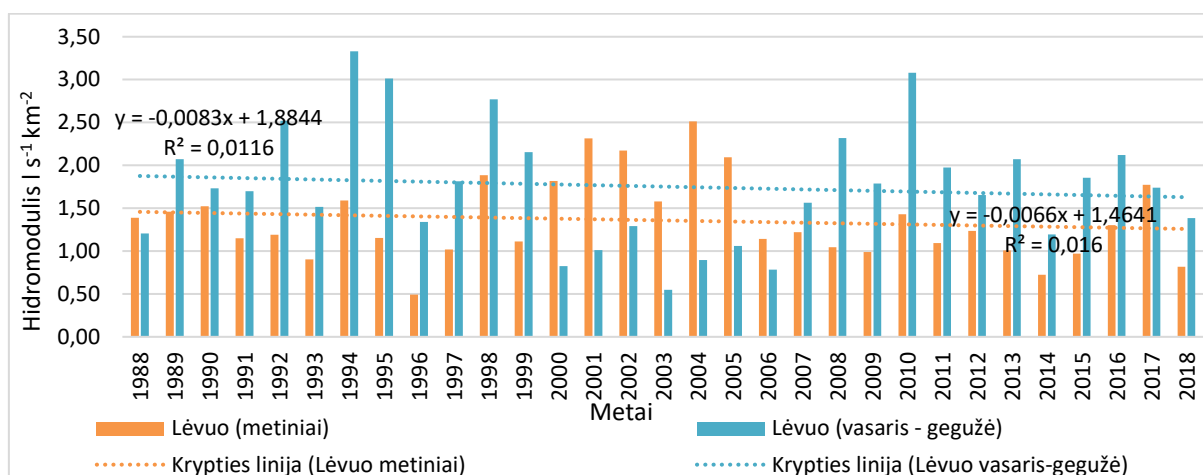
Gegužės mėnesį užfiksuotas vandens lygis Merkio upėje pateikiamas 3.12 paveiksle. Vandens lygis jau sumažėjęs apie 1 m. Taip pat vizualiai galima palyginti, kaip atrodo upės vaga potvynio metu ir gegužės mėnesį, kaip potvynis jau atslūgęs (3.9 pav.).



3.12 pav. Vandens lygis potvynio metu Puvočių hidrologinėje stotyje (2022–05–10)

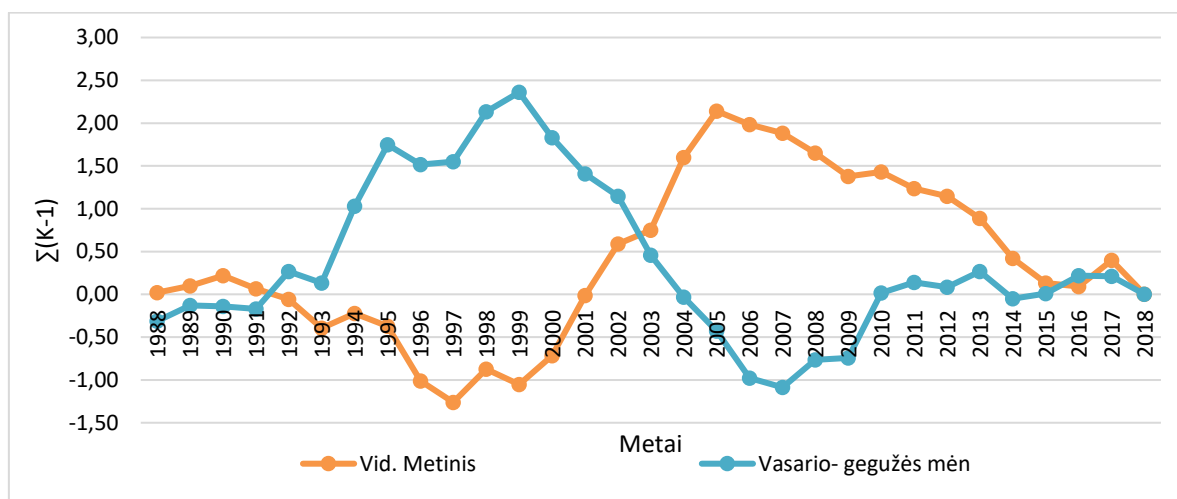
Vidurio Lietuvos hidrologinio rajono Lėvens upė pagal vidutinius vasario–gegužės ir vidutinius nuotėkio modulius turi neigiamą tendenciją, nuotėkis mažėja (3.13 pav.). Taip pat šios upės nuotėkio moduliai yra mažiausi, nes baseino plotas yra mažiausias lyginant su kitomis analizuojamomis upėmis, o žemės paviršius yra gan lygus, todėl upės nuotėkis toks mažas. Lėvens upė ties Kupiškiais pagal metinį hidromodulį vandeninga buvo 2004, 2001, 2002, 2005, o pagal vasario–gegužės mėnesius 1994, 2010, 1995, 1998. Hidrologinė sausra pagal vidutinį

metinį modulį buvo 1996, 2014, 2018, 1993 metais, o pavasario metu 2003, 2006, 2000, 2004 metais.



3.13 pav. Lėvens upės vidutiniai metiniai ir vasario–gegužės vidutiniai hidromoduliai

Lėvens upės sauso vandeningumo ir vandeningumo fazės puikiai parodo 3.14 paveikslas. Hidrologinė sausra pagal metinius vidurkius buvo 1990 iki 2001 metais, o upės nuotėkis pradėjo kilti nuo 2001 iki 2018 metų. Vasario–gegužės integralinė kreivė, rodo kiek kitokią tendenciją – vandeningumo fazės pavasario metų mažėjimą nuo 2004 metų. Taip pat šis grafikas parodo, kad 2003 pasikeitė pavasario potvyniai. Anksčiau nuo 1988 metų iki 2003 didžioji dalis nutekančio debito buvo pavasario metu, bet dėl vykstančios klimato kaitos, upe pavasario metu tekantys debitai ėmė mažėti, o metiniai debitai augti.



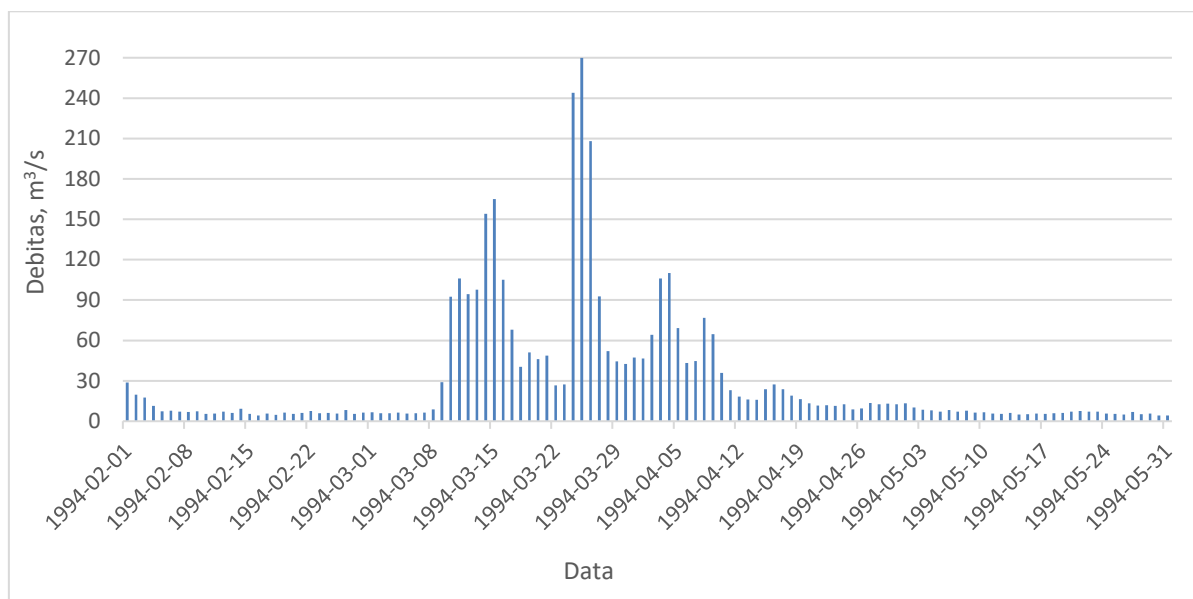
3.14 pav. Lėvens upės vidutinio metinio ir vasario–gegužės mėnesių nuotėkio modulių koeficientų nukrypimo nuo vidurkio integralinė kreivė

3.1 lentelė. Maksimalūs pavasario debitai ir jų hidromoduliai (1988–2018)

Minija		Jūra		Dubysa		Lėvuo		Žeimena		Merkys	
Data	(Q _{pot. max.})	Data	(Q _{pot. max.})	Data	(Q _{pot. max.})	Data	(Q _{pot. max.})	Data	(Q _{pot. max.})	Data	(Q _{pot. max.})
1988-04-01	77	1988-04-01	224	1988-04-02	88	1988-04-02	12	1988-04-08	46	1988-04-03	152
1989-03-26	128	1989-03-27	157	1989-03-27	21	1989-04-04	9	1989-02-01	33	1989-04-12	47
1990-03-05	94	1990-03-06	174	1990-03-07	44	1990-02-01	8	1990-03-14	48	1990-03-11	49
1991-02-26	99	1991-02-26	148	1991-02-26	36	1991-03-25	12	1991-03-25	43	1991-03-25	58
1992-02-17	89	1992-02-17	97	1992-03-28	30	1992-02-17	14	1992-04-02	35	1992-04-02	42
1993-03-19	116	1993-03-19	258	1993-03-18	44	1993-03-22	10	1993-04-03	31	1993-03-22	65
1994-03-25	270	1994-03-25	394	1994-03-15	67	1994-04-05	30	1994-04-05	86	1994-03-28	165
1995-02-08	155	1995-02-08	278	1995-02-08	53	1995-03-09	13	1995-03-09	44	1995-03-12	64
1996-04-12	122	1996-04-12	246	1996-04-12	63	1996-04-12	14	1996-04-13	37	1996-04-13	92
1997-02-14	111	1997-02-10	173	1997-02-11	35	1997-02-10	8	1997-03-20	33	1997-02-28	39
1998-02-13	177	1998-02-13	305	1998-04-09	40	1998-04-10	17	1998-03-10	39	1998-04-12	48
1999-03-07	128	1999-03-07	201	1999-03-08	48	1999-03-08	21	1999-04-04	51	1999-03-09	145
2000-02-10	121	2000-03-08	226	2000-03-09	38	2000-02-11	3	2000-03-22	30	2000-02-11	60
2001-02-14	108	2001-02-14	144	2001-02-10	29	2001-03-16	5	2001-04-18	30	2001-03-16	46
2002-03-01	142	2002-02-02	213	2002-02-01	63	2002-02-03	8	2002-02-16	42	2002-02-02	74
2003-03-13	49	2003-03-13	52	2003-03-13	17	2003-03-15	4	2003-04-23	22	2003-03-15	55
2004-03-17	101	2004-03-22	196	2004-03-26	54	2004-03-23	6	2004-03-24	44	2004-03-24	84
2005-03-28	57	2005-04-10	102	2005-04-09	49	2005-04-16	6	2005-04-19	53	2005-04-18	74
2006-04-01	76	2006-04-01	161	2006-04-02	34	2006-03-31	10	2006-04-17	28	2006-04-07	95
2007-03-19	86	2007-03-19	139	2007-03-20	35	2007-03-13	12	2007-03-20	35	2007-03-14	69
2008-03-08	76	2008-02-29	162	2008-02-01	44	2008-02-03	7	2008-03-18	36	2008-03-28	73
2009-03-30	63	2009-03-30	125	2009-04-02	29	2009-04-02	20	2009-04-11	19	2009-04-02	49
2010-03-22	139	2010-03-22	281	2010-03-23	70	2010-03-23	36	2010-03-25	60	2010-03-25	109
2011-02-09	108	2011-02-09	166	2011-02-09	40	2011-04-09	11	2011-02-25	45	2011-02-11	80
2012-03-03	76	2012-02-26	153	2012-03-04	27	2012-03-23	8	2012-03-27	35	2012-03-24	53
2013-02-02	97	2013-04-10	149	2013-04-12	73	2013-04-12	29	2013-04-12	54	2013-04-12	113
2014-03-27	45	2014-03-27	60	2014-03-28	24	2014-03-27	9	2014-03-27	26	2014-02-19	43
2015-03-04	64	2015-04-01	88	2015-04-04	26	2015-03-09	8	2015-04-21	23	2015-04-06	44
2016-02-01	135	2016-02-01	206	2016-02-01	34	2016-02-15	10	2016-03-14	29	2016-03-13	56
2017-02-24	96	2017-02-22	170	2017-03-02	31	2017-03-13	9	2017-03-12	43	2017-02-27	66
2018-02-02	66	2018-02-01	94	2018-03-14	36	2018-02-01	10	2018-03-15	42	2018-03-17	83

3.1 lentelėje pateiktos skirtingų Lietuvos hidrologinių rajonų upių 1988–2018 metų debitų reikšmės. Iš lentelės galima matyti, kuriais metais buvo didžiausi ar mažiausi debitai.

B. Gailiusis (2001) išanalizavęs Minijos upės ties Kartena debitą, iš ilgos duomenų eilės ($n=71$) pastebėjo, kad upėje 1994 metai, taip pat buvo pasižymėję didžiausiu debitu (3.15 pav.).

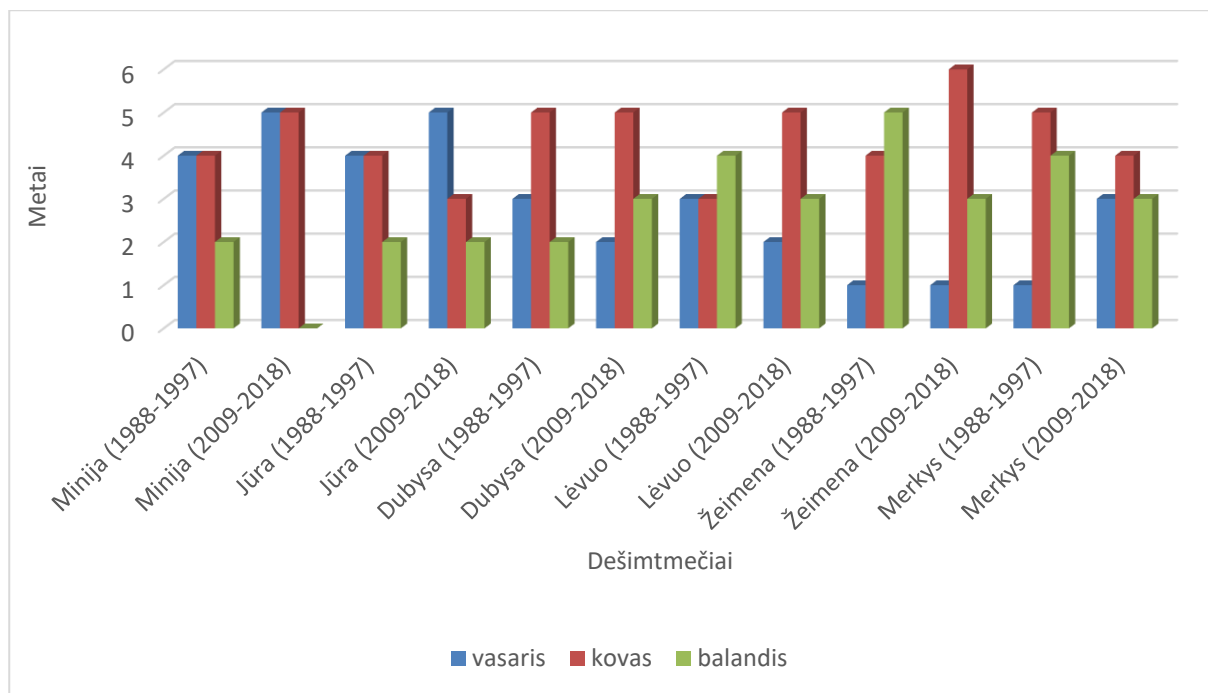


3.15 pav. Minijos upės potvynis 1994 metais

Analizuojant Minijos upės maksimalias potvynio debito reikšmes (1988–2018 metais), pastebima, kad amplitudė tarp aukščiausios ir žemiausios debito reikšmės yra $225 \text{ m}^3/\text{s}$, o potvynių tendencija neigiama (3.1 lentelė). Apskaičiavus debitų vidurkį $105 \text{ m}^3/\text{s}$ pastebima, kad 13 metų debito reikšmės yra didesnės, negu gaunamas vidurkis. Iš analizuojamo laikotarpio, dešimt metų (1993–2002) išsiskiria aukštesniu debitu. Pagal visą analizuojamą laikotarpį pastebima, kad šios upės potvyniai dažniausiai yra kovo arba vasario mėnesiais. Palyginus du dešimtmečius pirmą 1988–1997 ir trečią 2009–2018 (3.16 pav.), pastebima, kad pirmame dešimtmetyje potvyniai vyrauja vasario, kovo ir balandžio mėnesiais, o jau trečiame dešimtmetyje balandį potvynis nesiformuoja. Ši upė vienintelė, kurioje trečio dešimtmečio maksimalūs debitai pasiskirsto tik per du mėnesius.

Jūros upės amplitudė tarp aukščiausios ir žemiausios potvynio debito reikšmės yra $342 \text{ m}^3/\text{s}$, metų vidurkis yra $179 \text{ m}^3/\text{s}$ (3.1 lentelė). Tokia potvynio debito vidurkio reikšmę viršija 12 metų. Pastebima ryški maksimalaus debito mažėjimo tendencija, pirmąjį dešimtmetį debito vidurkis $215 \text{ m}^3/\text{s}$, o trečiąjį $149 \text{ m}^3/\text{s}$. Analizuojant skirtingus dešimtmečius pirmame dešimtmetyje potvynio pikinės reikšmės pasiskirsto per vasario–balandžio mėnesius, o trečiame dešimtmetyje per tris mėnesius, daugiausia per vasario mėnesį (3.16 pav.).

Dubysos upės didžiausio ir mažiausio debito skirtumas yra $71 \text{ m}^3/\text{s}$, kai tuo tarpu trisdešimties metų vidurkis yra tik $43 \text{ m}^3/\text{s}$ (3.1 lentelė). Analizuojamų metų debitų duomenų eilės tendencija yra linkusi mažėti. Potvynių pasiskirstymas mėnesiuose, per abu dešimtmečius, parodo, kad dažniausiai potvynis įvyksta kovo mėnesį (3.16 pav.).



3.16 pav. Maksimalių debitų pasiskirstymas dešimtmečiais 1988–1997 ir 2009–2018 metai

Lėvens upės amplitudė tarp maksimalaus ir minimalaus debito yra $33 \text{ m}^3/\text{s}$. Debitų tendencija skiriasi nuo kitų upių, ji labai minimaliai yra linkusi didėti (3.1 lentelė). Tik 8 metus debitas buvo didesnis, nei vidutinis ir 3 metus buvo toks pat kaip vidutinis. Maksimalaus debito pasiskirstymas trečią dešimtmetį toks pat, kaip ir kitoje Vakarų regiono upėje – Dubysos upėje (3.16 pav.).

Pietryčių Lietuvos upės Žeimenos skirtumas tarp maksimalaus ir minimalaus debito yra $67 \text{ m}^3/\text{s}$ (3.1 lentelė). Vidutinis analizuojamo laikotarpio upės potvynio debitas yra $39 \text{ m}^3/\text{s}$. Net 15 metų debitas yra didesnis, nei vidurkis. Iš analizuojamų metų pastebima, debitų mažėjimo tendencija. Dažniausiai didžiausi debitai fiksuoti balandžio ar kovo mėnesį (3.16 pav.).

Nustatyta Merkio upės potvynio debitų mažėjimo tendencija. Pirmojo dešimtmečio potvynių pikų vidurkis yra $77 \text{ m}^3/\text{s}$, antrojo $73 \text{ m}^3/\text{s}$, o trečiojo $70 \text{ m}^3/\text{s}$ (3.1 lentelė). Tarp maksimalios ir minimalios debito reikšmės yra $123 \text{ m}^3/\text{s}$ skirtumas, kai tuo tarpu visų debitų vidurkis yra tik $74 \text{ m}^3/\text{s}$. Trečiame dešimtmetyje maksimalios reikšmės pasiskirsto taip: 3 metus vasarį, 4 metus kovą ir 3 balandį.

Beveik visose upės jaučiama maksimalių debitų mažėjimo tendencija yra susijusi su klimato kaita. Buvo nustatyta, kad Lietuvos upių nuotėkis žiemos metu yra padidėjęs, o pavasario metu mažėjantis. Pavasariniai potvyniai prasideda anksčiau, o kartais net žiemos metu. A. Bukantis (2007) su kolegomis taip pat pastebi ryškius nuotėkio sezono persiskirstymus. Tai priklauso klimato kaitos, dėl kurios kyla oro temperatūra o anksčiau ir greičiau tirpsta sniego danga (Meilutytė-Barauskienė & Kovalenkoviienė, 2007).

Analizuojamų maksimalių pavasario potvynio debitų ($Q_{\text{potv. max.}}$) ir metinių vidutinių debitų ($Q_{\text{vid. metinis}}$) santykiai pateikiami 3.2 lentelėje. Pastebima, kad visose upės didžiausias skirtumas yra tarp pavasario maksimalaus debito ir vidutinio metinio debito. Didžiausi skirtumai tarp debitų pastebimi pirmąjį analizuojamą dešimtmetį (1988–1998).

1994 metais Minijos upės pikinis debitas $270 \text{ m}^3/\text{s}$, buvo 14,1 kartų didesnis už vidutinį metinį vidurkį $19,21 \text{ m}^3/\text{s}$, nes tais metais žiemą buvo susiformavęs įšalas ir stora sniego danga. Kovo mėnesio pabaigoje oro temperatūra tapo teigiama, dėl to prasidėjo staigus sniego ir ledo tirpimas ir tai sukėlė didelį potvynį, kurio vandeningumo tikimybė lygi 2,2 %. Iš visų analizuojamų upių didžiausiu skirtumu pasižymėjo 1996 metų Jūros upės pikinis debitas $246 \text{ m}^3/\text{s}$, jis buvo 19,1 kartų didesnis už metinį vidurkį $12,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Toks didelis skirtumas

atsirado dėl to, kad tais metais vidutinis metinis debitas buvo vienas iš mažiausių, o upės vandens lygis nukrito. Dubysos upės maksimalus debitas $62,8 \text{ m}^3/\text{s}$, 1996 metais 10,9 kartų viršijo vidutinį metinį debitą $5,75 \text{ m}^3/\text{s}$. 1996 buvo vieni iš šaltesnių metų, o kovo mėnesio vidutinė temperatūra buvo $-3,8 \text{ }^\circ\text{C}$, o potvynio pikas susiformavo balandžio mėnesį, kai vidutinė mėnesio temperatūra lygi $5,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Staigus potvynis 1996 metais susiformavo Lėvens upėje dėl pakitusios oro temperatūros. Tada upės maksimalus pavasario debitas 18 kartų viršijo vidutinį metinį debitą ($0,8 \text{ m}^3/\text{s}$). Žeimenos upės pavasario maksimalus debitas $86,1 \text{ m}^3/\text{s}$, 1994 metais 11,1 kartų buvo aukštesnis negu metų vidurkis $7,77 \text{ m}^3/\text{s}$, priežastys tokios pat kaip Minijos upėje vykusio potvynio, temperatūrų pasikeitimas ir įšalo buvimas leido formuotis didesniai paviršiniui nuotėkiui upės baseine. Merkio upėje pastebimi bene mažiausi skirtumai, tarp pavasario pikinio debito $145 \text{ m}^3/\text{s}$, 1999 metais ir vidutinio metinio $31,4 \text{ m}^3/\text{s}$ tik 4,6 karto, tai galėtų priklausyti nuo smėlingų nuogulų, kurios leidžia paviršiniui nuotėkiui greičiau susigerti ir tiesiogiai nutekėti į upės vagą.

Santykis tarp maksimalių pavasario pikų ($Q_{\text{pot. max.}}$) ir vasario–gegužės debitų ($Q_{\text{vas-geg. vid.}}$) pateikiamas 3.2 lentelėje. Čia skirtumai kiek mažesni, negu tarp vidutinio metinio debito ir pavasario potvynio piko debitų, nes pavasario pikas ir jo kilimas įeina į tą patį laikotarpį. Minijos upėje mažiausias skirtumas 2005 metais, tik 3,2 karto, taip galėjo nutikti dėl to, nes potvynio maksimalus debitas susiformavo kovo pabaigoje kritulių iškrito mažai ir jis buvo vienas iš mažiausių pikų. Didžiausias skirtumas buvo 9 kartai 1994 metais, potvynio maksimumas buvo didelis, bet pats potvynis truko trumpą laiką tarpą. Jūros upėje mažiausias skirtumas 2014 metais, tik 3,6 karto upės tą pavasarį upė nebuvo labai vandeninga o per vasarį ir balandį iškrito mažiau kritulių. Didžiausias skirtumas 12,2 karto 1993 metais, nes debitas upėje pradėjo staiga kilti dėl teigiamos oro temperatūros. Dubysoje upėje mažiausias skirtumas 1992 metais, tik 1,9 karto, nes potvynis formavosi palaipsniui. 1988 metais buvo didžiausias skirtumas tarp maksimalaus ir vasario–gegužės debitų 7,4 karto, nes potvynis sukilo per keletą dienų ir greit nuslūgo, kiek galėjo susigėrė į gruntą o likusi vandens dalis nutekėjo upe. Lėvens upės mažiausias skirtumas 2008 metais, tik 1,9 karto, nes debitas buvo gan tolygiai pasiskirstęs per vasario ir balandžio mėnesį ir pats pikas nebuvo išsiskiriantis. 2013 metais įvyko staigus per 6 dienas pakilęs potvynis, o sumažėjęs per 8 dienas, todėl didžiausias skirtumas tarp vasario–gegužės debitų ir potvynio piko debito yra 8,5 karto. Žeimenos upės mažiausias skirtumas 2015 metais, tik 1,1 karto, nes debitai per vasario gegužės mėnesius buvo pasiskirstę tolygiai, o gan ryškių potvynio pikų nebuvo. Didžiausias skirtumas tarp potvynio piko ir vasario–gegužės debitų 2 kartai 1994 metais. Žeimenos upėje pastebimi, tokie maži skirtumai dėl to, kad upės baseine yra daug ežerų, kurie padeda reguliuoti vandens lygius upėje. Merkio upės mažiausias skirtumas tarp maksimalaus pavasario potvynio ir vasario–gegužės debitų buvo 2014 metais, nes upėje nebuvo ryškaus potvynio. 1988 metais didžiausias skirtumas šioje upėje buvo 3,7 karto.

Pietryčių Lietuvos upių debitų skirtumai yra mažiausi, tai galėtų priklausyti nuo upės maitinimosi būdo. Didžiąją upių maitinimosi dalį sudaro gruntinis/požeminis vanduo, kuris kaupia kritulių vandenį ir jį paskirsto tolygiau. Lėvens upėje pastebimi didžiausi debitų skirtumai 1,1 karto iki 18 kartų. Tai priklauso nuo baseiną dengiančių nelaidžių nuogulų, kurios neleidžia infiltruoti krituliams ir papildyti požeminio vandens. Dauguma iškritusių kritulių tampa paviršiniu nuotėkiu, todėl upėje vyrauja nepastovūs debitai. Taip pat visoms upėms tokius debitų skirtumus galėtų paveikti įšalas, kuris leidžia susiformuoti didesniai nuotėkio kiekiui pavasario potvynio piko metu. Viena iš svarbiausių potvynio piko formavimosi rodiklių yra temperatūra, jeigu ji per keletą dienų tampa teigiama, tikėtina, kad potvynis bus trumpas, bet su didesniais debitais.

3.2 lentelė. Pavasario potvynio pikų debitų palyginimas su vidutiniais metiniais ir vidutiniais vasario–gegužės debitais

Upės	Minija		Jūra		Dubysa		Lėvuo		Žeimenė		Merkys	
Metai	$Q_{\text{pot. max.}} / Q_{\text{vid.}}$ metinis	$Q_{\text{pot. max.}} / (Q_{\text{vas-}} / Q_{\text{geg. vid.}})$	$Q_{\text{pot. max.}} / Q_{\text{vid.}}$ metinis	$Q_{\text{pot. max.}} / (Q_{\text{vas-}} / Q_{\text{geg. vid.}})$	$Q_{\text{pot. max.}} / Q_{\text{vid.}}$ metinis	$Q_{\text{pot. max.}} / (Q_{\text{vas-}} / Q_{\text{geg. vid.}})$	$Q_{\text{pot. max.}} / Q_{\text{vid.}}$ metinis	$Q_{\text{pot. max.}} / (Q_{\text{vas-}} / Q_{\text{geg. vid.}})$	$Q_{\text{pot. max.}} / Q_{\text{vid.}}$ metinis	$Q_{\text{pot. max.}} / (Q_{\text{vas-}} / Q_{\text{geg. vid.}})$	$Q_{\text{pot. max.}} / Q_{\text{vid.}}$ metinis	$Q_{\text{pot. max.}} / (Q_{\text{vas-}} / Q_{\text{geg. vid.}})$
1988	4,88	5,63	9,96	9,3	10,44	7,38	5,4	6,2	2,87	1,6	4,29	3,69
1989	6,81	5,91	6,89	5,49	2,7	2	3,73	2,63	1,87	1,18	1,45	1,26
1990	4,14	4,28	7,5	8,98	4,19	3,57	3,39	2,98	2,17	1,5	1,38	1,42
1991	5,06	6,02	7,67	10,9	4	3,37	6,15	4,16	2,25	1,33	2,06	1,62
1992	5,18	3,36	5,99	3,95	3,77	1,87	7,11	3,36	2,21	1,27	1,42	1,31
1993	9,16	7,77	12	12,22	6,34	4,06	6,65	3,96	2,02	1,3	1,68	1,76
1994	14,06	8,96	14,98	9,11	6,73	3,72	11,47	5,48	4,27	1,99	3,87	2,71
1995	8,36	4,7	13,24	7,38	4,74	2,37	6,65	2,55	2,55	1,17	2,09	1,3
1996	12,8	6,76	19,07	8,71	10,92	5,46	18	6,59	3,12	1,72	3,42	2,77
1997	5,91	4,19	9,01	6,36	5,07	3,33	4,6	2,58	2,49	1,27	1,48	1,28
1998	7,07	6,36	9,19	8,42	3,28	2,76	5,64	3,84	2,28	1,27	1,48	1,37
1999	6,99	5,92	9,53	8,24	5,68	3,85	11,38	5,87	3,28	1,47	4,62	3,22
2000	9,12	4,85	12,36	6,69	5,36	3,02	1,15	2,53	2,27	1,29	2,02	1,61
2001	5,93	7,53	5,87	5,88	3,26	2,93	1,26	2,89	1,65	1,3	1,55	1,45
2002	7,47	4,31	8,75	5,04	6,42	3,37	2,14	3,6	2,31	1,39	2,81	1,73
2003	4,23	4,14	3,68	3,99	3,4	2,58	1,39	4,01	1,59	1,38	1,32	1,83
2004	6,4	5,4	7,52	6,54	5,72	4,8	1,53	4,31	1,91	1,58	2,37	1,88
2005	3,77	3,22	5,09	4,13	6,66	3,9	1,8	3,56	2,17	1,69	1,86	1,76
2006	2,88	6,31	11,45	8,89	9,12	6,6	5,15	7,5	1,72	1,54	2,93	2,65
2007	4,65	4,27	4,04	5,33	2,74	3,27	5,98	4,67	1,8	1,27	1,94	1,74
2008	5,9	3,05	6,65	4,87	5,16	2,9	4,18	1,88	2,07	1,28	2,15	1,64
2009	3,73	3,88	6,3	6,05	4,82	3,47	12,42	6,87	1,32	1,32	1,59	1,53
2010	5,92	6,73	11,54	8,52	6,56	5,03	15,28	7,09	2,27	1,87	2,84	2,54
2011	5,29	4,54	4,76	4,01	3,92	2,6	6,35	3,51	2,06	1,44	2,24	1,79
2012	4,87	3,63	5,8	6,16	2,98	2,56	4,04	3,01	1,48	1,41	1,61	1,36
2013	8	5,64	6,51	5,55	7,53	5,36	17,56	8,53	2,39	1,79	3,31	2,66
2014	3,69	3,39	4,81	3,62	3,74	2,57	7,26	4,4	1,57	1,22	1,42	1,24
2015	3,83	3,32	5,01	3,89	4,23	2,59	5,37	2,81	1,49	1,11	1,54	1,29
2016	7,5	5,25	7,77	5,09	3,86	2,8	4,67	2,87	1,7	1,25	1,67	1,48
2017	4	5,29	5,25	5,72	2,73	2,83	3,14	3,2	1,5	1,51	1,57	1,52
2018	6,65	5,08	6,49	5,03	5,13	2,86	7,82	4,62	1,95	1,38	2,47	1,9

3.2. Upių tendencijų vertinimas pagal Mann-Kendall ir Spearman's Rho testų rezultatus

Lietuvos upėms nuotėkio kaitai tirti naudojama tendencijų (trendų) analizė. Mann-Kendall ir Spearman's Rho tendencijų testai dažniausiai naudotini hipotezės tikrinimui ar yra tendencija (trendas) tarp ilgalaikės duomenų eilės.

Pritaikius Mann-Kendal'io ir Spearman'o Rho testus nustatoma ar vasario–gegužės maksimalių debitų eilės turi patikimas reikšmingas duomenų kitimo tendencijas. Duomenų kitimo tendencijos analizuojamos trimis skirtingais laikotarpiais (1988–1997, 1998–2007, 2008–2018), siekiant įvertinti turimos hidrologinių duomenų eilės ilgio svarbą, pavasario potvynių kaitos kitimui (3.3 lentelė). Tyrime naudojami 6 hidrologinių stočių duomenys 1988–2018 metams. Iš šių stočių debitų buvo atrinkti maksimalūs pavasario potvynio piko debitai, kurie buvo įvertinti Mann-Kendal'io testu, siekiant nustatyti analizuojamų duomenų kitimo tendencijos statistinį patikimumą.

Pagal 1988–1997 metų pavasario potvynio debitus tik dvi upės turėjo reikšmingas duomenų kitimo tendencijas. Vakarų Lietuvos hidrologinio rajono upės Minija ties Kartena ir Jūra ties Taurage turėjo reikšmingą pavasario potvynio neigiamą tendenciją. Kitos upės Dubysa, Lėvu ir Žeimeną turėjo nereikšmingas neigiamas tendencijas, tik Merkio upė turėjo teigiamą nereikšmingą tendenciją. Gauti abiejų testų rezultatai nesiskyrė, todėl Spearman'o Rho testas patvirtino Mann-Kendal'io testo rezultatus.

Analizuojant 1998–2007 laikotarpio pavasario ekstremumų debitus pagal Mann-Kendal'io testą, pastebima, kad tik Minijos upėje ties Kartena gaunamas reikšminga teigiama tendencija. Jūros upėje ties Taurage, gaunama taip pat teigiama tendencija, bet ji nėra reikšminga. Dubysos upė ties Lyduvėnais ir Merkio upėje ties Puvočiais pasižymi nuline nereikšminga duomenų kitimo kryptimi. Lėvens ir Žeimenos upių duomenų kitimo tendencijos rezultatai parodė neigiamas nereikšmingas tendencijas. Spearman'o Rho testas patvirtino Mann-Kendal'io testo rezultatus: Minijos upėje gauta reikšminga teigiama tendencija, Jūros upėje nereikšminga teigiama tendencija, Lėvens ir Žeimenos upėse pasirodė neigiamos nereikšmingos duomenų kitimo kryptys, o Dubysos ir Merkio upėse, nulinės tendencijos tapo neigiamomis nereikšmingomis.

2008–2018 laikotarpiui pavasario debitams, atlikus Mann-Kendal'io ir Spearman'o Rho testus, pastebima, kad Lėvens upė turi teigiamą reikšmingą tendenciją. O kitos trys upės – Minija, Jūra ir Žeimeną pagal abiejų testų rezultatus, turi teigiamą nereikšmingą tendenciją, o Dubysos ir Merkio upės neigiamą nereikšmingą tendenciją.

3.3 lentelė. Nagrinėjamo laikotarpio 1988–2018 dešimtmečių vasario–gegužės maksimalių debitų Mann-Kendall ir Spearman's Rho testų rezultatai

Upė ir VMS	Mann-Kendal'io testas					Spearman'o Rho testas				
	TS	Kritinės reikšmės			Rez.	TS	Kritinės reikšmės			Rez.
		a=0,1	a=0,05	a=0,01			a=0,1	a=0,05	a=0,01	
Pagal maksimalias vasario–gegužės debito reikšmes 1988–1997										
Minija (Kartena)	-2,04↓	1,645	1,96	2,576	S (0,05)	-2,089↓	1,645	1,96	2,576	S (0,05)
Jūra (Tauragė)	-2,176↓	1,645	1,96	2,576	S (0,05)	-2,127↓	1,645	1,96	2,576	S (0,05)
Dubysa (Lyduvėnai)	-1,428↓	1,645	1,96	2,576	NS	-1,411↓	1,645	1,96	2,576	NS
Lėvu (Kupiškis)	-0,068↓	1,645	1,96	2,576	NS	-0,477↓	1,645	1,96	2,576	NS
Žeimena (Pabradė)	-1,054↓	1,645	1,96	2,576	NS	-1,062↓	1,645	1,96	2,576	NS
Merkys (Puvočiai)	0,408↑	1,645	1,96	2,576	NS	0,311↑	1,645	1,96	2,576	NS

Upė ir VMS	Mann-Kendal'io testas					Spearman'o Rho testas				
	TS	Kritinės reikšmės			Rez.	TS	Kritinės reikšmės			Rez.
		a=0,1	a=0,05	a=0,01			a=0,1	a=0,05	a=0,01	
Pagal maksimalias vasario–gegužės debito reikšmes 1998–2007										
Minija (Kartena)	1,435↑	1,152	1,372	1,803	S (0,05)	1,71↑	1,152	1,372	1,803	S (0,05)
Jūra (Tauragė)	0,198↑	1,152	1,372	1,803	NS	0,508↑	1,152	1,372	1,803	NS
Dubysa (Lyduvėnai)	0	1,152	1,372	1,803	NS	-0,053↓	1,152	1,372	1,803	NS
Lėvuo (Kupiškis)	-0,396↓	1,152	1,372	1,803	NS	-0,869↓	1,152	1,372	1,803	NS
Žeimena (Pabradė)	-0,99↓	1,152	1,372	1,803	NS	-1,016↓	1,152	1,372	1,803	NS
Merkys (Puvočiai)	0	1,152	1,372	1,803	NS	-0,067↓	1,152	1,372	1,803	NS
Pagal maksimalias vasario–gegužės debito reikšmes 2008–2018										
Minija (Kartena)	0,585↑	1,234	1,47	1,932	NS	0,627↑	1,234	1,47	1,932	NS
Jūra (Tauragė)	0,135↑	1,234	1,47	1,932	NS	0,194↑	1,234	1,47	1,932	NS
Dubysa (Lyduvėnai)	-0,585↓	1,234	1,47	1,932	NS	-0,661↓	1,234	1,47	1,932	NS
Lėvuo (Kupiškis)	1,576↑	1,234	1,47	1,932	S (0,05)	1,469↑	1,234	1,47	1,932	S (0,1)
Žeimena (Pabradė)	0,135↑	1,234	1,47	1,932	NS	0,159↑	1,234	1,47	1,932	NS
Merkys (Puvočiai)	-0,495↓	1,234	1,47	1,932	NS	-0,797↓	1,234	1,47	1,932	NS

Pastaba: + Teigiamas nuotėkio pokytis; ↑ Nuotėkio didėjimo tendencijos; – Neigiamas nuotėkio pokytis; ↓ Nuotėkio mažėjimo tendencijos; NS – nereikšmingi rezultatai, S – reikšmingi rezultatai.

Atlikus testus ir patikrinus vidutines metines ir vidutines vasario–gegužės debito reikšmes 1988–2018 metų periodui (3.4 lentelė). Gauti testų rezultatai sutapo tose pačiose upėse, jeigu nuotėkis didėja pagal Mann-Kendall, tai didėja ir pagal Spearman's Rho testą. Žeimena vienintelė upė, kurioje pagal vidutinį metinį debitą, nustatyti reikšmingi (S 0,01) teigiami pokyčiai. Gaunama 1 % tikimybė, kad nuotėkis didės ateityje. Pagal Mann-Kendall ir Spearman's Rho kitų upių duomenų eilutės neturi jokios statistinės reikšmingos tendencijos, kuri nurodytų potvynio kaitos dėsningumus. Vasario–gegužės debitai nei vienoje upėje neparodė jokios reikšmingos tendencijos, todėl galima manyti, kad pavasario potvynius yra sunku prognozuoti.

3.4 lentelė. Nagrinėjamo laikotarpio 1988–2018 vidutinių metinių ir vasario–gegužės debitų Mann-Kendall ir Spearman's Rho testų rezultatai

Upė ir VMS	Mann-Kendal'io testas					Spearman'o Rho testas				
	TS	Kritinės reikšmės			Rez.	TS	Kritinės reikšmės			Rez.
		a=0,1	a=0,05	a=0,01			a=0,1	a=0,05	a=0,01	
Pagal vidutines metines debito reikšmes 1988–2018 metais										
Minija (Kartena)	-1,054↓	1,645	1,96	2,576	NS	-1,003↓	1,645	1,96	2,576	NS
Jūra (Tauragė)	0,629↑	1,645	1,96	2,576	NS	0,724↑	1,645	1,96	2,576	NS
Dubysa (Lyduvėnai)	0	1,645	1,96	2,576	NS	-0,018↓	1,645	1,96	2,576	NS
Lėvuo (Kupiškis)	-1,156↓	1,645	1,96	2,576	NS	-1,177↓	1,645	1,96	2,576	NS

Upė ir VMS	Mann-Kendal'io testas					Spearman'o Rho testas				
	TS	Kritinės reikšmės			Rez.	TS	Kritinės reikšmės			Rez.
		a=0,1	a=0,05	a=0,01			a=0,1	a=0,05	a=0,01	
Žeimeną (Pabradė)	3,739↑	1,645	1,96	2,576	S (0,01)	3,947↑	1,645	1,96	2,576	S (0,01)
Merkys (Puvočiai)	0,680↑	1,645	1,96	2,576	NS	0,932↑	1,645	1,96	2,576	NS
Pagal vidutines vasario–gegužės debito reikšmes 1988–2018 metais										
Minija (Kartena)	-1,156↓	1,645	1,96	2,576	NS	-1,27↓	1,645	1,96	2,576	NS
Jūra (Tauragė)	0,102↑	1,645	1,96	2,576	NS	0,166↑	1,645	1,96	2,576	NS
Dubysa (Lyduvėnai)	-0,612↓	1,645	1,96	2,576	NS	-0,685↓	1,645	1,96	2,576	NS
Lėvuo (Kupiškis)	-0,272↓	1,645	1,96	2,576	NS	-0,314↓	1,645	1,96	2,576	NS
Žeimeną (Pabradė)	-1,547↓	1,645	1,96	2,576	NS	-1,59↓	1,645	1,96	2,576	NS
Merkys (Puvočiai)	0,646↑	1,645	1,96	2,576	NS	0,936↑	1,645	1,96	2,576	NS

Pastaba: + Teigiamas nuotėkio pokytis; ↑ Nuotėkio didėjimo tendencijos; – Neigiamas nuotėkio pokytis; ↓ Nuotėkio mažėjimo tendencijos; NS – nereikšmingi rezultatai, S – reikšmingi rezultatai.

Atlikus vidutinių debitų dešimtmečių analizę gauti rezultatai (3.5 lentelė) parodė, kad beveik visos upės pirmame analizuojamame dešimtmetyje (1988–1997) turi reikšmingas tendencijas. Testo statistika (TS) viršijo gautas kritines reikšmes. Abu testai prognozuoja upių debito mažėjimo tendenciją. Merkio upės gauti nereikšmingi rezultatai, pagal juos negalime prognozuoti ateities tendencijų.

Antrame analizuojamame dešimtmetyje (1998–2007), pagal Mann-Kendal'io testas Žeimenos ir Merkio upių duomenys pasižymėjo teigiamu nuotėkio pokyčiu, kurių pasikartojimai ateityje atitinkamai yra Žeimenos upėje S(0,01) 1 % procento tikimybė pasikartoti ateityje, Merkio upėje S(0,1) 10 % procentų. Dubysos upėje pastebėta nuotėkio mažėjimo tendencija. Pagal Spearman'o Rho testą Dubysos upės rezultatai jau nereikšmingi, reikšmingais išlieka Merkio ir Žeimenos upių rezultatai.

Trečiame analizuojamame dešimtmetyje (2007–2018), pagal abu testus gaunami nereikšmingi rezultatai, tad pagal šį laikotarpį negalima prognozuoti upių ateities tendencijų.

3.5 lentelė. Nagrinėjamo laikotarpio 1988–2018 dešimtmečių vidutinių debitų Mann-Kendall ir Spearman's Rho testų rezultatai

Upė ir VMS	Mann-Kendal'io testas					Spearman'o Rho testas				
	TS	Kritinės reikšmės			Rez.	TS	Kritinės reikšmės			Rez.
		a=0,1	a=0,05	a=0,01			a=0,1	a=0,05	a=0,01	
Pagal vidutines metines debito reikšmes 1988–1997										
Minija (Kartena)	-0,716↓	0,74	0,882	1,159	NS	-0,818↓	0,74	0,882	1,159	S (0,1)
Jūra (Tauragė)	-1,252↓	0,74	0,882	1,159	S (0,01)	-1,509↓	0,74	0,882	1,159	S (0,01)
Dubysa (Lyduvėnai)	-0,716↓	0,74	0,882	1,159	NS	-0,927↓	0,74	0,882	1,159	S (0,05)
Lėvuo (Kupiškis)	-1,431↓	0,74	0,882	1,159	S (0,01)	-1,655↓	0,74	0,882	1,159	S (0,01)
Žeimena (Pabradė)	-1,431↓	0,74	0,882	1,159	S (0,01)	-1,582↓	0,74	0,882	1,159	S (0,01)
Merkys (Puvočiai)	-1,291↓	0,74	0,882	1,159	S (0,01)	-0,941↓	1,86	2,306	3,355	NS
Pagal vidutines metines debito reikšmes 1998–2007										
Minija (Kartena)	0	0,74	0,882	1,159	NS	0,091↑	0,74	0,882	1,159	NS

Upė ir VMS	Mann-Kendal'io testas					Spearman'o Rho testas				
	TS	Kritinės reikšmės			Rez.	TS	Kritinės reikšmės			Rez.
		a=0,1	a=0,05	a=0,01			a=0,1	a=0,05	a=0,01	
Jūra (Tauragė)	-0,358↓	0,74	0,882	1,159	NS	-0,273↓	0,74	0,882	1,159	NS
Dubysa (Lyduvėnai)	-0,927↓	0,74	0,882	1,159	S (0,05)	-0,309↓	0,74	0,882	1,159	NS
Lėvuos (Kupiškis)	-0,179↓	0,74	0,882	1,159	NS	-0,2↓	0,74	0,882	1,159	NS
Žeimenas (Pabradė)	1,968↑	0,74	0,882	1,159	S (0,01)	2,127↑	0,74	0,882	1,159	S (0,01)
Merkys (Puvočiai)	0,805↑	0,74	0,882	1,159	S (0,1)	1,727↑	0,74	0,882	1,159	S (0,01)
Pagal vidutinės metinės debito reikšmės 2008–2018										
Minija (Kartena)	-0,156↓	0,822	0,98	1,288	NS	-0,374↓	0,822	0,98	1,288	NS
Jūra (Tauragė)	-0,156↓	0,822	0,98	1,288	NS	-0,374↓	0,822	0,98	1,288	NS
Dubysa (Lyduvėnai)	0	0,822	0,98	1,288	NS	0,144↑	0,822	0,98	1,288	NS
Lėvuos (Kupiškis)	-0,156↓	0,822	0,98	1,288	NS	-0,287↓	0,822	0,98	1,288	NS
Žeimenas (Pabradė)	0,156↑	0,822	0,98	1,288	NS	0,316↑	0,822	0,98	1,288	NS
Merkys (Puvočiai)	-0,234↓	0,822	0,98	1,288	NS	-0,172↓	0,822	0,98	1,288	NS

Pastaba: + Teigiamas nuotėkio pokytis; ↑ Nuotėkio didėjimo tendencijos; – Neigiamas nuotėkio pokytis; ↓ Nuotėkio mažėjimo tendencijos; NS – nereikšmingi rezultatai, S – reikšmingi rezultatai.

Atlikus vasario–gegužės debitų dešimtmečių analizę gauti rezultatai (3.6 lentelė) parodė, kad pirmame analizuojamame dešimtmetyje (1988–1997) Minijos ir Jūros upės turi reikšmingas tendencijas pavasario metu turėti teigiamą nuotėkio augimą, ten galima prognozuoti didesnius potvynius. Žeimenos ir Merkio upės turės neigiamus nuotėkio pokyčius, potvyniai mažės.

3.6 lentelė. Nagrinėjamo laikotarpio 1988–2018 dešimtmečių vasario–gegužės debitų Mann-Kendall ir Spearman'as Rho testų rezultatai

Upė ir VMS	MannKendal'io testas					Spearman'o Rho testas				
	TS	Kritinės reikšmės			Rez.	TS	Kritinės reikšmės			Rez.
		a=0,1	a=0,05	a=0,01			a=0,1	a=0,05	a=0,01	
Pagal vidutinės vasario–gegužės debito reikšmės 1988–1997										
Minija (Kartena)	1,61↑	0,74	0,882	1,159	S (0,01)	1,618↑	0,74	0,882	1,159	S (0,01)
Jūra (Tauragė)	0,894↑	0,74	0,882	1,159	S (0,05)	1,291↑	0,74	0,882	1,159	S (0,01)
Dubysa (Lyduvėnai)	0,358↑	0,74	0,882	1,159	NS	0,091↑	0,74	0,882	1,159	NS
Lėvuos (Kupiškis)	0,537↑	0,74	0,882	1,159	NS	0,782↑	0,74	0,882	1,159	S (0,1)
Žeimenas (Pabradė)	-0,745↓	0,74	0,882	1,159	S (0,1)	-0,111↓	1,86	2,306	3,355	NS
Merkys (Puvočiai)	-0,894↓	0,74	0,882	1,159	S (0,05)	-0,855↓	0,74	0,882	1,159	S (0,1)
Pagal vidutinės vasario–gegužės debito reikšmės 1998–2007										
Minija (Kartena)	-1,252↓	0,74	0,882	1,159	S (0,01)	-1,545↓	0,74	0,882	1,159	S (0,01)
Jūra (Tauragė)	-0,716↓	0,74	0,882	1,159	NS	-0,891↓	0,74	0,882	1,159	S (0,05)
Dubysa (Lyduvėnai)	-1,61↓	0,74	0,882	1,159	S (0,01)	-1,8↓	0,74	0,882	1,159	S (0,01)

Upė ir VMS	MannKendal'io testas					Spearman'o Rho testas				
	TS	Kritinės reikšmės			Rez.	TS	Kritinės reikšmės			Rez.
		a=0,1	a=0,05	a=0,01			a=0,1	a=0,05	a=0,01	
Lėvuo (Kupiškis)	-0,894↓	0,74	0,882	1,159	S (0,05)	-1,109↓	0,74	0,882	1,159	S (0,05)
Žeimeną (Pabradė)	-1↓	0,74	0,882	1,159	S (0,05)	-1,004↓	1,86	2,306	3,355	NS
Merkys (Puvočiai)	0	0,74	0,882	1,159	NS	0,164↑	0,74	0,882	1,159	NS
Pagal vidutinės vasario–gegužės debito reikšmes 2008–2018										
Minija (Kartena)	-1,09↓	0,822	0,98	1,288	S (0,05)	-1,064↓	0,822	0,98	1,288	S (0,05)
Jūra (Tauragė)	-0,778↓	0,822	0,98	1,288	NS	-0,891↓	0,822	0,98	1,288	S (0,1)
Dubysa (Lyduvėnai)	-0,467↓	0,822	0,98	1,288	NS	-0,747↓	0,822	0,98	1,288	NS
Lėvuo (Kupiškis)	-1,401↓	0,822	0,98	1,288	S (0,01)	-1,552↓	0,822	0,98	1,288	S (0,01)
Žeimeną (Pabradė)	-0,156↓	0,822	0,98	1,288	NS	-0,144↓	0,822	0,98	1,288	NS
Merkys (Puvočiai)	-0,156↓	0,822	0,98	1,288	NS	-0,201↓	0,822	0,98	1,288	NS

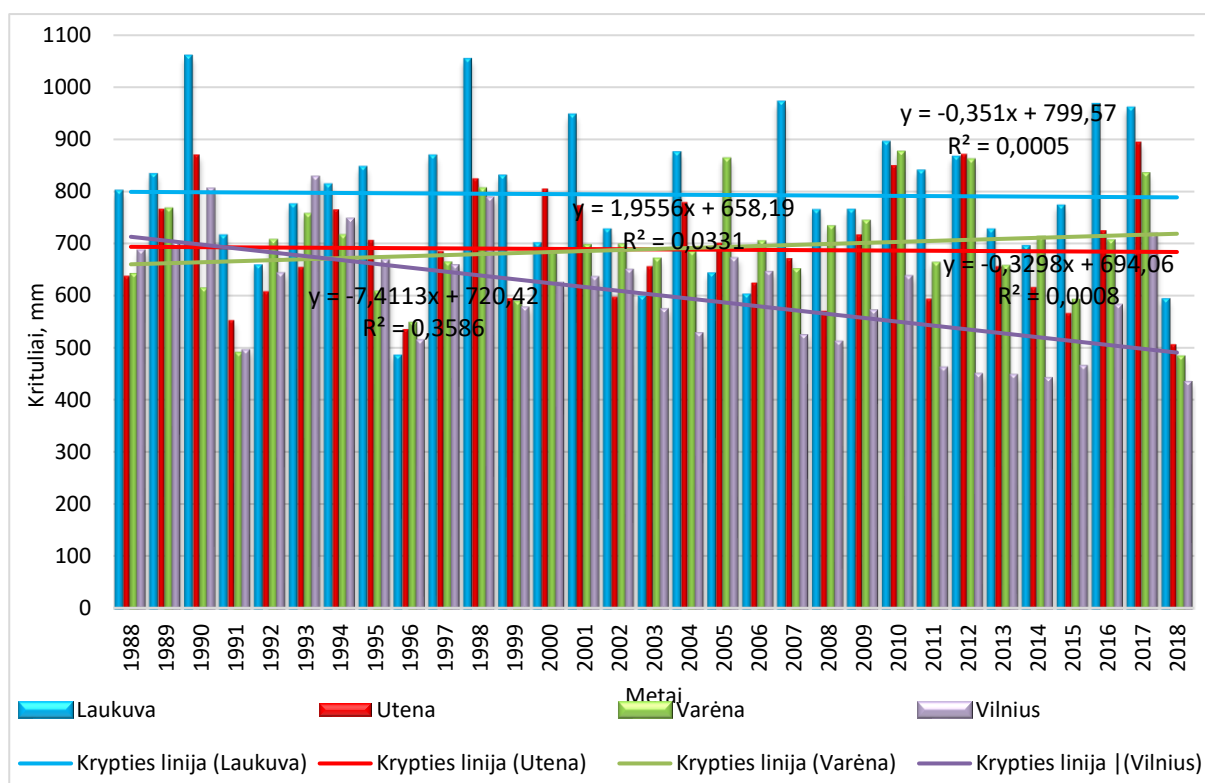
Pastaba: + Teigiamas nuotėkio pokytis; ↑ Nuotėkio didėjimo tendencijos; – Neigiamas nuotėkio pokytis; ↓ Nuotėkio mažėjimo tendencijos; NS – nereikšmingi rezultatai, S – reikšmingi rezultatai.

Kitose dviejuose dešimtmečiuose (1998–2007, 2008–2018) gauti neparametrinių testų rezultatai, visose upės tiek reikšmingi, tiek nereikšmingi rezultatai, parodo, nuotėkio mažėjimo tendencijas.

3.3. Meteorologinių duomenų įvertinimas

Krituliai – pagrindinė upių baseinų vandens balansų pajamų dalies sudedamoji. Krituliai yra viena iš svarbiausių nuotėkio analizės dalių. Krituliai – skystos ar kietos būsenos vanduo, krintantis iš debesų arba nusėdantis iš oro ant paklotinio paviršiaus. Krituliai yra tie klimato elementai, kurių reikšmės yra nuolat kintančios. Jiems būdinga įvairios trukmės ir dideslės amplitudės anomalijos (Rimkus, 2011). Dažnu atveju krituliai virsta nuotėkiu, todėl darbe analizuojami krituliai iškritę Laukuvos, Utenos, Varėnos ir Vilniaus meteorologinėse stotyse (3.17 pav.). Pagal šias stotis atitinkamai fiksuojami ir upių baseinuose iškritę krituliai: Laukuvos meteorologinės stotis fiksuoja Minijos upės ties Kartena, Jūros upės ties Taurage, Dubysos upės ties Lyduvėnais kritulių pasiskirstymą. Utenos stotyje išsaugojami duomenys apie kritulių kiekį iškritusį Lėvens upės ties Kupiškiu baseine, Vilniaus stotyje fiksuojami Žeimenos upės ties Pabrade kritulių duomenys, o Varėnos stotyje Merkio upės ties Puvočiais krituliai.

Laukuva išsiskiria kaip daugiausiai kritulių užfiksuojanti stotis, metinis kritulių kiekis svyruoja nuo 484 mm iki 1058 mm. Laukuvos meteorologinė stotis yra netoli Žemaičių aukštumos, todėl čia iškrenta kiek daugiau kritulių negu kitose stotyse. Žemaičių aukštuma yra arčiausiai jūros, čia vyrauja Jūrinis klimatas, todėl jaučiama drėgmė ore, kuri pavirsta lietumi. Taip pat didžioji dalis kritulių iškrenta vakariniame Žemaičių aukštumos šlaite, o mažesnė dalis Rytiniame aukštumos šlaite. Oro masėms slenkant toliau per Lietuvos teritoriją, oro masės drėgnumas dar labiau sumažėja, todėl ties Baltijos aukštumomis kritulių kiekis mažesnis (Kilkus ir Stonevičius 2011). Trisdešimties metų kritulių krypties linija Laukuvos ir Utenos stotyse rodo, kad krituliai nežymiai mažėja. Mažiausiai kritulių iškrenta Vilniaus stotyje nuo 434 mm iki 827 mm, pastebima ryški kritulių mažėjimo tendencija. Priešingai nei kitose stotyse – Varėnos stotyje pastebima kritulių didėjimo tendencija. Mažiausiai kritulių visose stotyse iškrito 2018 ir 1996 metais, o daugiausiai 1990, 1998 ir 2017 metais. H. Pauliukevičius (2004) analizavęs 1951–2002 metų kritulių duomenis, nustatė, kad 1996 metais taip pat iškrito bene mažiausiai kritulių. M. Pankauskas (2009) ištyręs Baltijos jūros regiono 1950–2004 metų kritulių duomenis, nustatė 1992–1997 metais sausringą laikotarpį, o drėgnasis laikotarpis buvo 1973–1991 metais. Taip pat gavo mažėjančias kritulių tendencijas Baltijos regione.



3.17 pav. Kritulių pasiskirstymas meteorologinės stotyse 1988–2018 metai

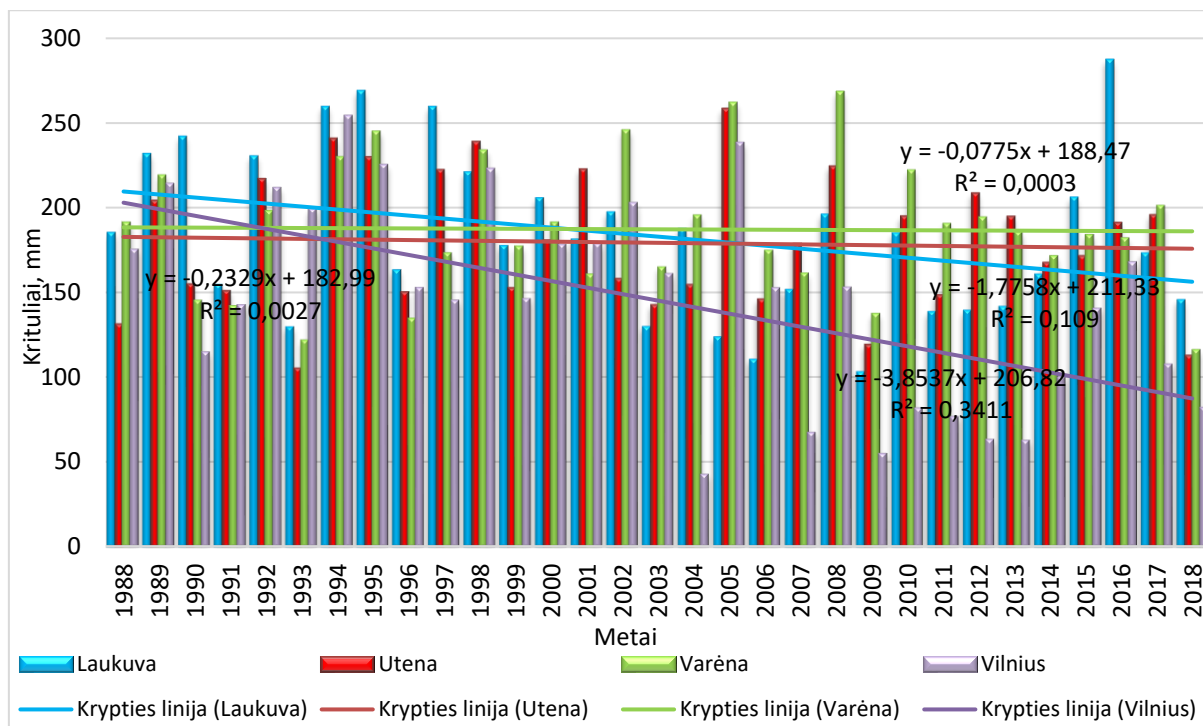
3.18 paveiksle pavaizduotas vasario–gegužės mėnesių kritulių pasiskirstymas 1988–2018 metais, leidžia pastebėti kritulių tendencijas meteorologinėse stotyse. Kritulių tendencijos vasario–gegužės mėnesiais Laukuvos ir Vilniaus stotyje išlieka mažėjančios. Utenos stotyje matoma kritulių mažėjimo tendencija, bet ne tokia ryški kaip Vilniaus stotyje. Varėnos stotyje vasario–gegužės laikotarpiu kritulių tendencija vos didėjanti.

Laukuvos stotyje vasario–gegužės mėnesiais mažiausias kritulių kiekis buvo 2006 metais 110 mm ir tai sudaro 18 % metinio kiekio, o didžiausias kiekis buvo 2016 metais 30 % metinio kiekio. Vasario–gegužės mėnesiais daugiausiai metinio kritulių kiekio iškrito 1992 (35 %), o mažiausiai 2009 (13%).

Utenos stotyje vasario–gegužės laikotarpiu mažiausias kritulių kiekis buvo 2018 metais (112 mm), o didžiausias 2005 metais (258 mm). Pavasario mėnesiais daugiausia metinio kritulių kiekio iškrito 2008 metais (39 %), o mažiausiai 1993 metais (16 %).

Varėnos hidrometeorologijos stotyje iš 3.17 paveikslą matoma, kad mažiausiai kritulių iškrito 2018 metais (116 mm), tai sudaro 24 % nuo viso metinio kiekio. Lietingiausi metai buvo 2008 (268 mm), o tai sudaro bet 37 % metinio kiekio. Vasario–gegužės mėnesiais didžiausias metinis kritulių kiekis (40 %) iškrito 1995 metais.

Vilniaus stotyje mažiausiai kritulių buvo 2013 metais (62 mm), o daugiausiai 1994 metais (254 mm). Analizuojamų metų vidurkis yra 145 mm, nuo 1988 iki 2004 metų vidutiniškai per metus iškrenta 182 mm kritulių, o jau nuo 2004 iki 2018 metų tik 116 mm. Kritulių mažėjimo tendenciją puikiai parodo žemėjanti krypties linija (3.18 pav.). Taip pat 2004 metai vasario–gegužės mėnesių krituliai, sudarė labai mažą (8%) dalį metininiame kritulių kiekyje.

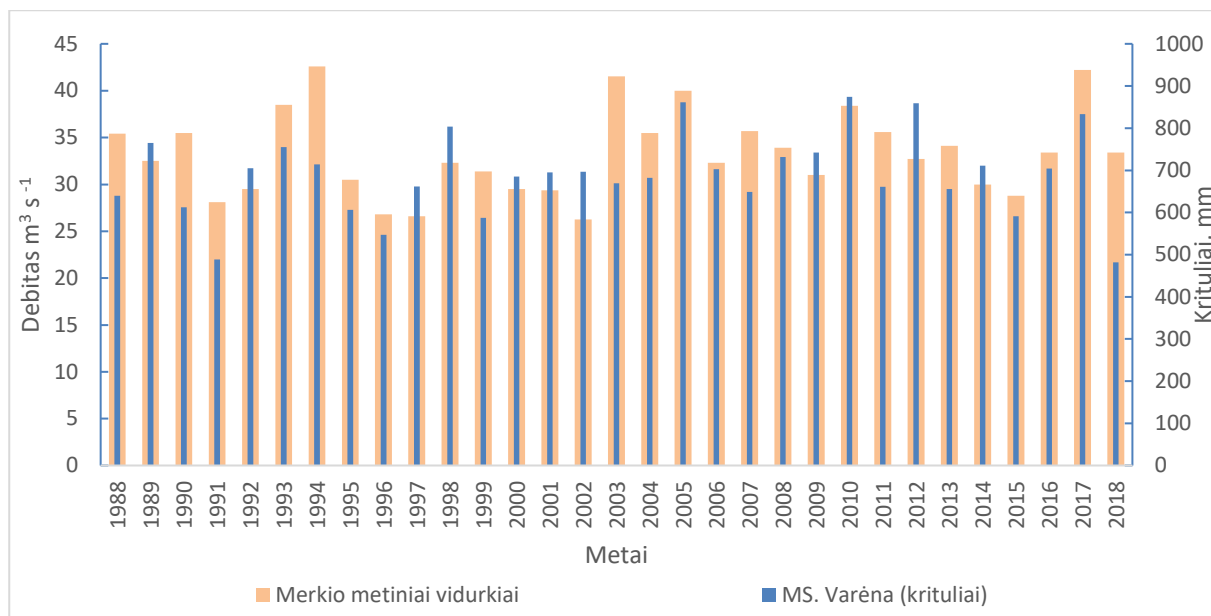


3.18 pav. Kritulių pasiskirstymas vasario–gegužės mėnesiais meteorologinės stotyse 1988–2018 metais

Iš keturių analizuojamų meteorologinių stočių trijose stotyse nustatyta kritulių mažėjimo tendencijos. Taip pat kritulių mažėjimo tendencijas 1961–2008 metais nustatė Vilniaus universiteto mokslininkai (Kažys et al., 2009). Gautus rezultatus, palyginus su pasaulinėmis tendencijomis didesni pokyčiai pastebimi nuo XX a. vidurio, kritulių kiekiai buvo padidėjęs Australijoje dalyje Pietų Amerikos. Didžiausi kritulių mažėjimai buvo fiksuojami ties Viduržemio jūra, Rytinėje Azijoje (Bukantis et al., 2017).

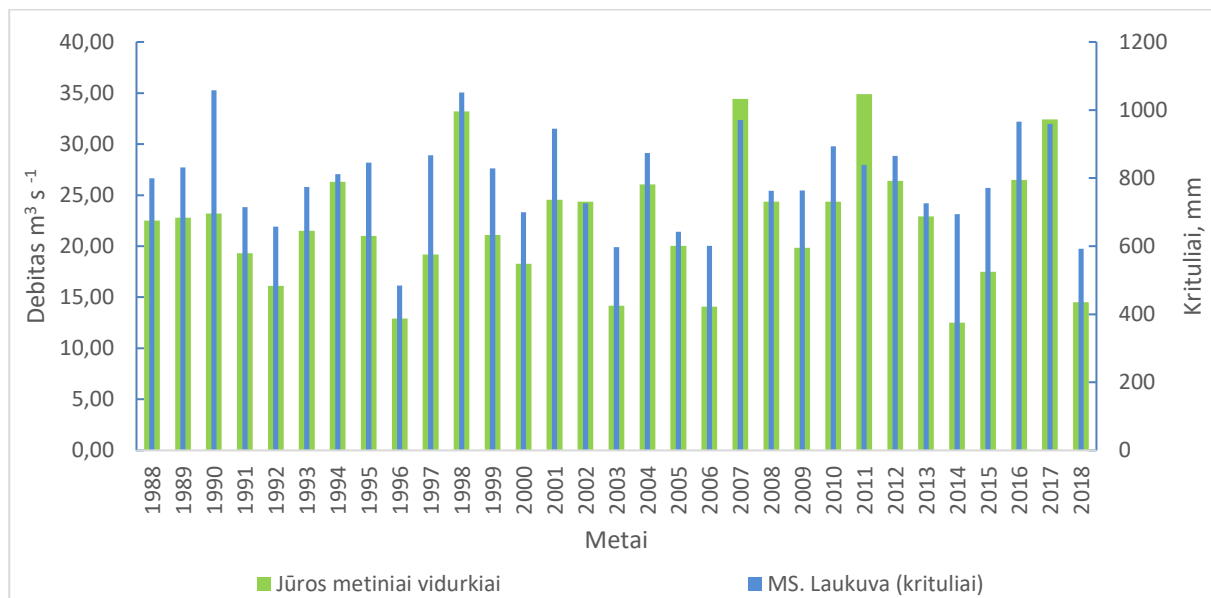
Merkio baseino upės nuotėkis ir Varėnos MS kritulių pasiskirstymas vasario–gegužės mėnesiai pateikiamas 3.19 paveiksle. Merkio upėje bene mažiausiai jaučiama kritulių padidėjimo ar mažėjimo įtaka. Analizuojant metinius ar keturių mėnesių kritulius, ne visada iškritus daugiau kritulių upės nuotėkis padidėja ar atvirkščiai – iškritus mažiau kritulių, nuotėkis sumažėja. Tokie atvejai, kai kritulių kiekis padidėja iki 30 % buvo 1989, 2000, 2002, 2004, 2008, 2009, 2012, 2014 metais, o debitas sumažėja iki 15 %. Tikėtina, kad krituliai susigėrė į sausą ir laidų gruntą, todėl nevirto tiesiogiai upe papildančiu nuotėkiu.

Buvo ir tokių atvejų, kai kritulių kiekiai sumažėja iki 24 %, o debitai upėje padidėja net iki 58 %. Tai buvo tik penkis metus: 1990, 1994, 2003, 2007, 2013. Labiausiai debitas padidėjo 2003 metais, kai kritulių sumažėjo 28 mm (4 %), o debitas padidėjo $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (58 %). Tokius debitų ir kritulių pasiskirstymus, galėjo lemti tai, kad Merkio upė daugiausia maitinasi požeminiu vandeniu. Iškritę krituliai susigeria į smėlingą gruntą, dėl ko padidėja požeminio vandens kiekiai ir upė debitas palaikomas iš prieš tai buvusių metų kritulių, kurie susigėrė per laidžias nuogulas.



3.19 pav. Merkio upės vidutinių metinių debitų ir Varėnos MS kritulių pasiskirstymas 1988–2018 laikotarpiu

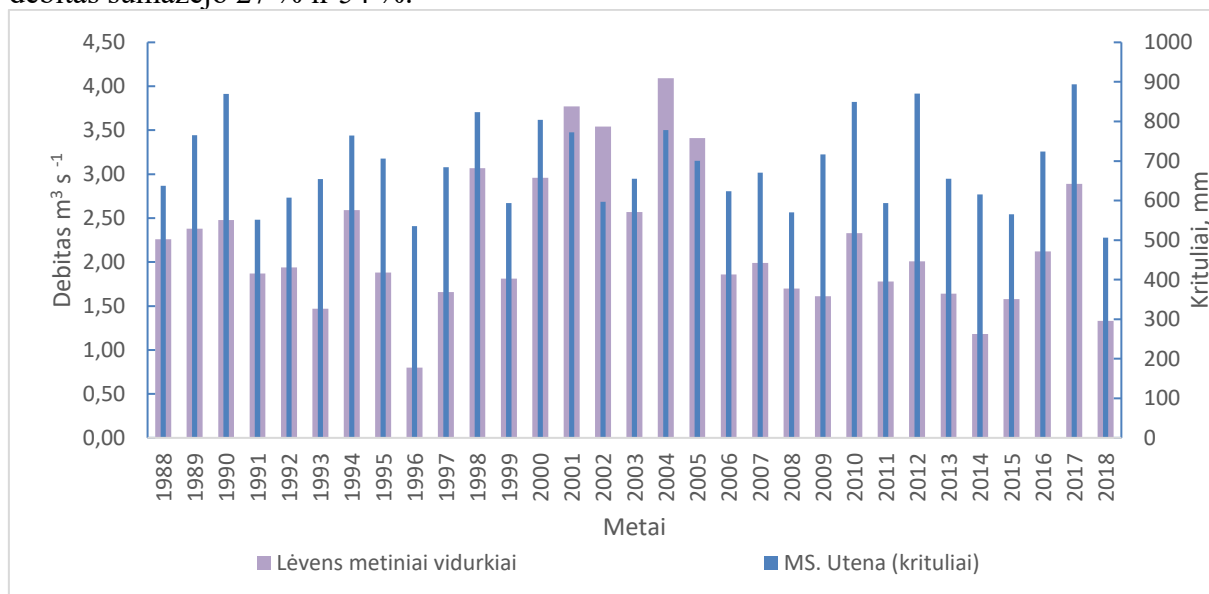
Vakarų Lietuvos hidrologinio rajono Jūros upėje daugiausia maitinasi kritulių vandeniu todėl, beveik visada iškritus daugiau kritulių upės debitas išauga (3.20 pav.). Bet buvo ir tokių atvejų, kai kritulių sumažėjo, o debitas padidėjo. Tai buvo tik 2011 metais (krituliai sumažėjo 55 mm (6 %), o debitas padidėjo 11 m³ s⁻¹ (43 %)) ir 2017 metais (krituliai sumažėjo 7 mm (1 %), o debitas padidėjo 6 m³ s⁻¹ (12 %)). 1995, 2009 ir 2012 metais krituliai padidėjo iki 33 %, bet debitas sumažėjo apie 22 %. Minijos ir Dubysos upėse gaunami panašūs rezultatai.



3.20 pav. Jūros upės vidutinių metinių debitų ir Laukuvos MS kritulių pasiskirstymas 1988–2018 laikotarpiu

Vidurio Lietuvos hidrologinio rajono Lėvens upės debitų ir kritulių pasiskirstymas pateikiamas 3.21 paveiksle. Panašiai kaip Vakarų regiono upėse, dažniausiai iškritus krituliams debitai pakyla, o jų iškritus mažiau – sumažėja. 2001 ir 2015 metais kritulių sumažėjo 4 % ir

8 %, o debitas padidėjo 27 % ir 34 %. 2003 ir 2009 metais kritulių padidėjo 10 % ir 26 %, o debitas sumažėjo 27 % ir 54 %.



3.21 pav. Lėvens upės vidutinių metinių debitų ir Utenos MS kritulių pasiskirstymas 1988–2018 laikotarpiu

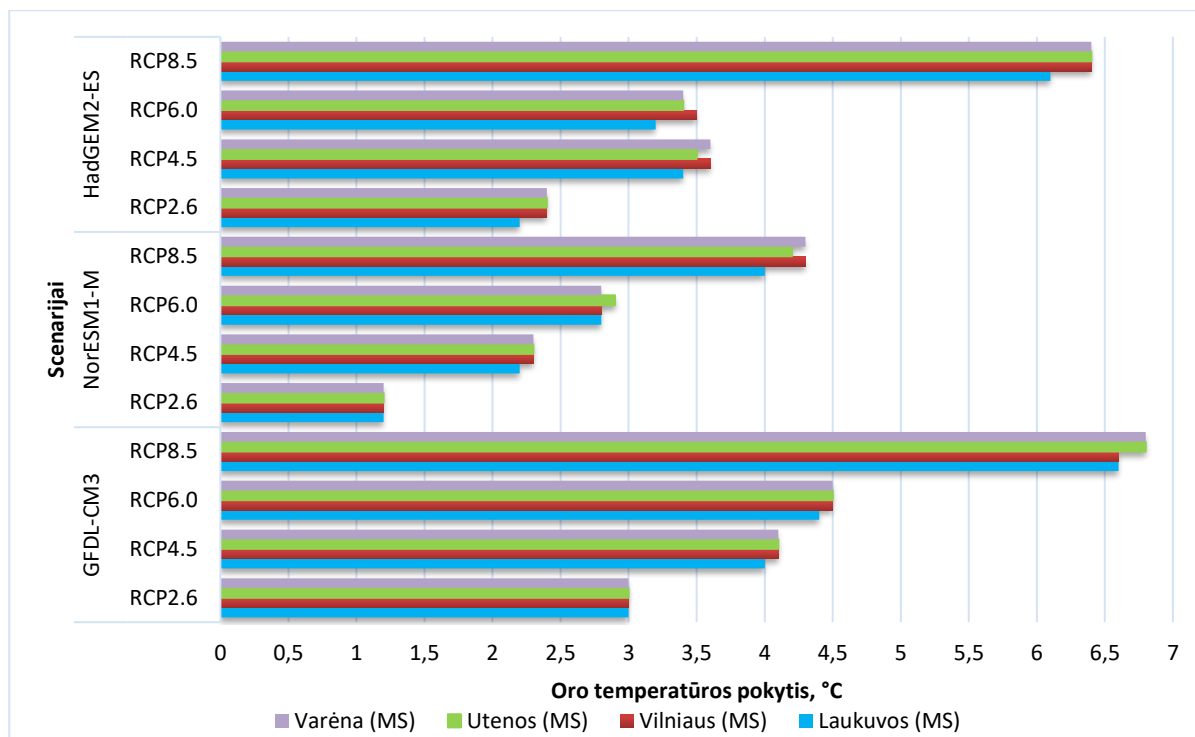
Vakarų ir Vidurio Lietuvos hidrologiniuose rajonuose esančiose upėse pastebima, kad padidėjus kritulių kiekiui beveik visada padidėja debitai. Galima teigti, kad atvirkštinei debitų nuo kritulių priklausomybei daro įtaka baseine esančios nuogulos. Pietryčių Lietuvos upėse dažniau pasitaiko tokių atvejų, kad sumažėja debitas o krituliai padidėja, ar atvirkščiai. Šios upės daugiausiai vandens gauna iš požeminio vandens, todėl ten pastebimi tokie debito svyravimai, mažiau priklausantys nuo kritulių.

3.4. Klimato parametrų pokyčių prognozė

Klimato kaitos efektai Lietuvoje jau pastebimi XX a. pabaigoje taip pat XXI a. pradžioje, kurie išryškėja analizuojant ir stebint meteorologinių duomenų sekos pokyčius (Mickevič ir Rimkus 2013). Vertinant klimato kaitą, pagal keturis klimato kaitos RCP scenarijus: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5, taip pat remiantis PMO (Pasaulinės meteorologijos organizacijos) CMIP5 klimato modeliais buvo nustatytos prognozinis temperatūros pokytis Laukuvos, Vilniaus, Utenos ir Varėnos meteorologinėse stotyse (3.22 pav.). Pateikiamas nustatytas prognozuojamas temperatūros pokytis (°C) 2081–2100 laikotarpiui, lyginant su 1986–2005 metais (Keršytė et al., 2015).

Analizuojamų duomenų rezultatai parodo vidutinės temperatūros augimą. Ryškiausias pokytis atspindi, palyginus 1986–2005 metų stočių duomenis su 2081–2100 metų CMIP5 klimato modelių prognozėmis.

XXI a. pabaigoje didžiausią temperatūros augimą fiksuoja GFDL-CM3 modelis ir RCP8.5 scenarijus, taip pat HadGEM2-ES ir RCP8.5 scenarijus. Mažiausią pokytį stotyse 1,2(°C) numato NorESM1-M klimato modelis, RCP2.6 scenarijus. HadGEM2-ES klimato modelyje Laukuvos prognozuojamas temperatūros pokytis yra mažiausias lyginant su kitomis stotimis. Mažiausią temperatūros kilimą Laukuvos stotyje taip pat prognozuoja NorESM1-M ir GFDL-CM3 klimato modeliai. Vilniaus stotyje didžiausias temperatūros pokytis 6.6 °C bus pagal GFDL-CM3 klimato modelį RCP8.5 scenarijų, o Utenos ir Varėnos meteorologijos stočių temperatūros pokytis bus 6,8 °C.



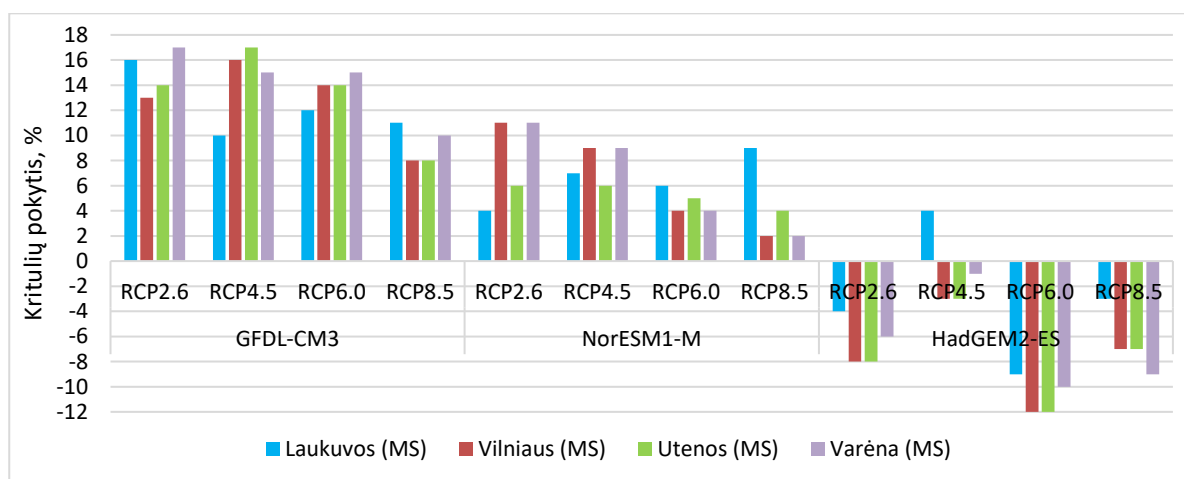
3.22 pav. Skirtingų klimato modelių ir scenarijų oro temperatūros pokytis (°C) 2081–2100 laikotarpiui

Pagal klimato modelius ir RCP scenarijus prognozuojama metinis kritulių pokytis (%) 2081–2100 metams, pagal bazinius 1986–2005 metų duomenis (3.23 pav.). Analizuojamas labiausiai išsiskiriantis kritulių pokytis 2080–2100 metams.

GFDL-CM3 klimato modelis išsiskiria, kaip turintis didžiausią teigiamą kritulių pokytį visose meteorologinėse stotyse. Varėnoje pagal du RCP scenarijus prognozuojama didesnis kritulių kiekio augimas, negu kitose stotyse. Pagal RCP4.5 ir RCP6.0 Laukuvoje prognozuojama mažiausias kritulių augimas.

Vienintelis HadGEM2-ES klimato modelis pasižymi beveik visada neigiamais kritulių pokyčiais pagal visus RCP scenarijus. Pagal RCP4.5 scenarijų vienintelė Laukuvos stotis sulauks teigiamo kritulių prieaugio. Kritulių kiekio didžiausias mažėjimas numatoma pagal RCP6.0. Gan panašus kritulių kiekio pasikeitimas yra RCP2.6 ir RCP8.5 scenarijuose.

NorESM1-M numato šiek tiek mažesnius teigiamus kritulių pasikeitimus. Vilniaus meteorologinė stotis pagal RCP2.6 ir RCP4.5 numato didžiausius pokyčius.

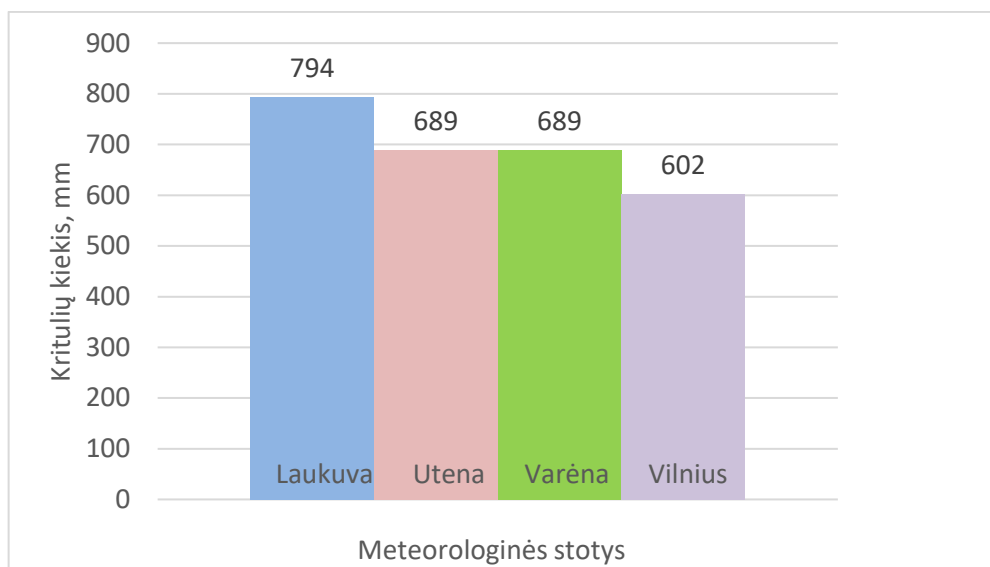


3.23 pav. Skirtingų scenarijų kritulių pokytis (%) 2081–2100 laikotarpiui

Analizuojant temperatūros ir kritulių pokyčius (3.22 ir 3.23 pav.) pastebima, kad prognozuojant didesnę temperatūrą numatomas mažesnis kritulių padidėjimas. Galima teigti, kad dalis kritulių išgaruos dar net nepasiekę žemės paviršiaus, todėl esant žemesnei temperatūrai žemės paviršių pasieks didesnis kritulių kiekis.

3.5. Kritulių ir temperatūros ateities prognozės

Pagal meteorologijos stočių kasdienių temperatūros ir kritulių duomenis atliekama prognozė Lietuvoje 2081–2100 metams, pagal tris globalius klimato modelius (GFDL-CM3, NorESM1-M ir HadGEM2-ES). Šių modelių gaunami rezultatai remiantis RCP scenarijais (3.7–3.9 lentelės). Analizuojamo laikotarpio meteorologinių stočių vidutinis kritulių kiekis pateikiamas 3.24 paveiksle. Gauta, kad Utenos ir Varėnos stotyse vidutiniškai iškrenta vienodai kritulių, Laukuvoje daugiausia, o Vilniuje mažiausiai.

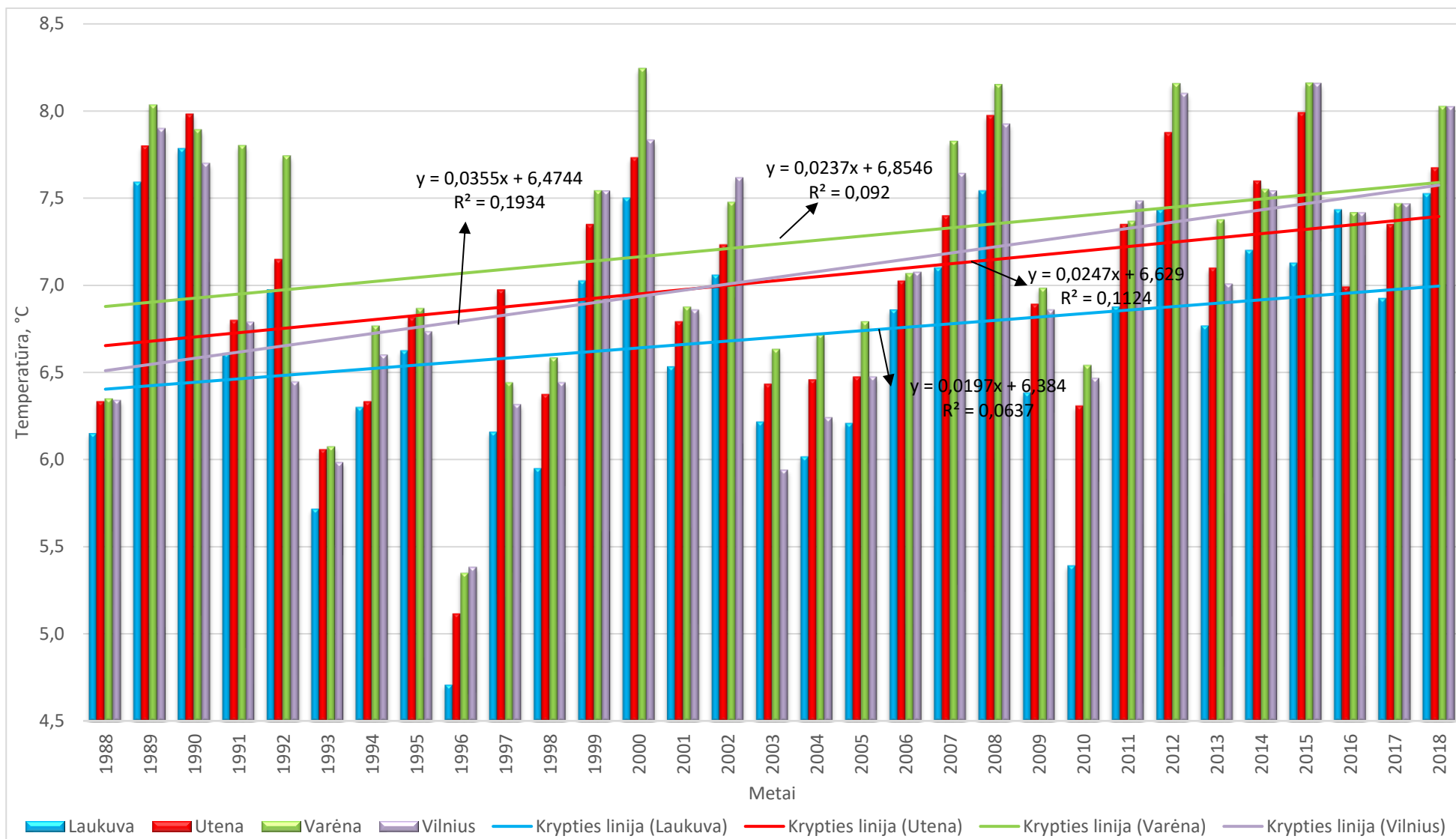


3.24 pav. Vidutinis 1988–2018 metų kritulių kiekis

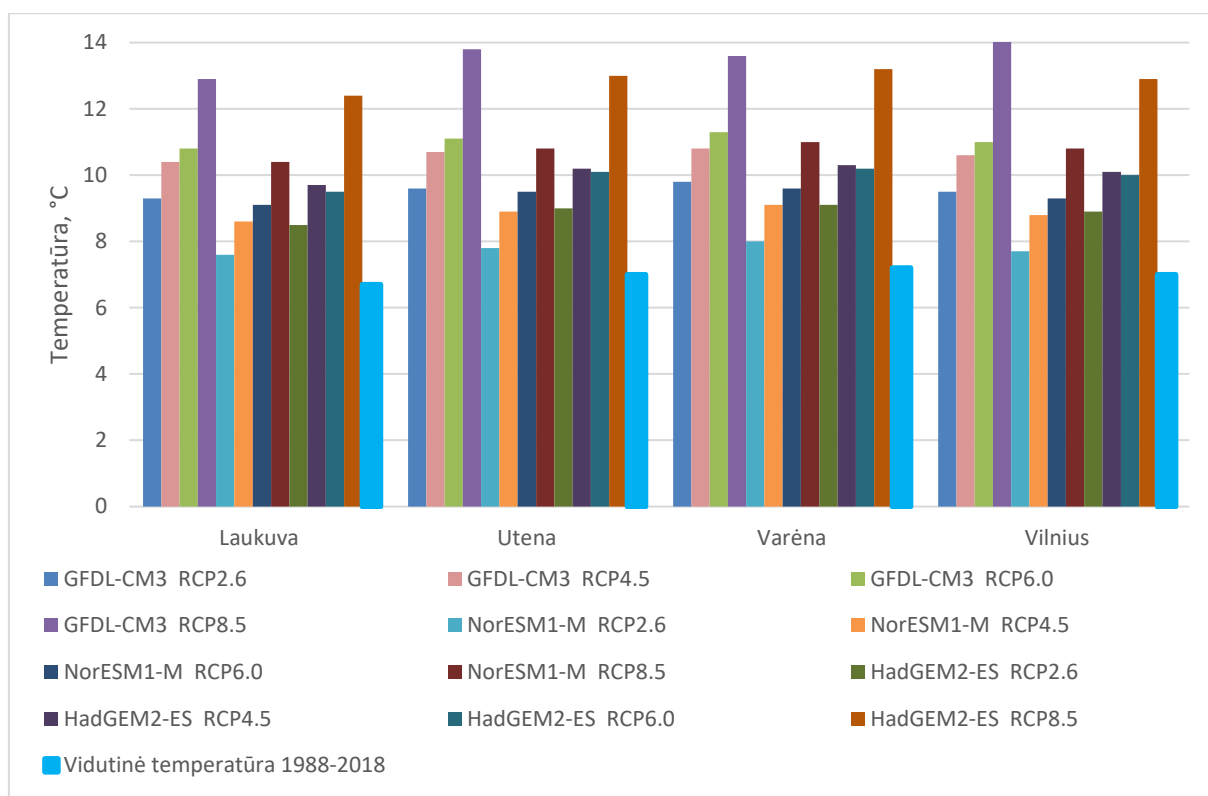
Analizuojant vidutinę metinę temperatūrą pagal GFDL-CM3 modelį, didžiausia temperatūra numatoma Vilniaus MS 14,4 °C, pagal RCP8.5 scenarijų, pagal kitus scenarijus Varėnos MS (3.7 lentelė). Taip pat pastebimas vidutinės temperatūros augimas pagal visus RCP scenarijus, o kritulių kiekio prognozė mažėjanti visoms MS. Laukuvos MS prognozuojama didesnis kritulių kiekis, nei kitose stotyse. Mažiausiai kritulių prognozuojama Vilniaus stotyje. Prognozuojamą kritulių kiekį, palyginus su analizuojamo laikotarpio kritulių vidurkiu, pastebima, kad prognozuojamas kritulių kiekis Laukuvos, Utenos, Varėnos stotyse yra iki 15 % didesnis, o Vilniaus meteorologijos stotyje net iki 23 % didesnis, pagal RCP4.5 scenarijų. GFDL-CM3 klimato modelis prognozuoja didesnes temperatūras, negu buvo 1988–2018 metais (3.25 pav.–3.26 pav.).

3.7 lentelė. Prognozuojamos 2081–2100 metų, vidutinės temperatūros ir kritulių kiekiai pagal klimato modelį GFDL-CM3

Meteorologijos stotis (MS)	Vidutinė temperatūra, °C				Kritulių kiekis, mm			
	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
Laukuva	9,3	10,4	10,8	12,9	926	882	891	884
Vilnius	9,5	10,6	11,0	14,4	764	784	770	731
Utena	9,6	10,7	11,1	13,8	790	814	792	752
Varėna	9,8	10,8	11,3	13,6	808	798	793	760



3.25 pav. Vidutinė metinė temperatūra meteorologinėse stotyse °C 1988–2018 metais



3.26 pav. Vidutinė metinė ir prognozinė temperatūra meteorologinėse stotyse °C

Analizuojant NorESM1-M klimato modelio rezultatus, gaunamos kiek mažesnės vidutinės temperatūros, taip pat mažesnis kritulių, negu pagal GFDL-CM3 modelį (3.8 lentelė). Laukuvos stotyje prognozuojama mažiausia vidutinė temperatūra, bet didžiausias kritulių kiekis. Varėnos MS aukščiausia temperatūra pagal visus RCP scenarijus. Mažiausias kritulių kiekis numatomas Utenoje. Pastebima, kad būtent šitame klimato modelyje, Laukuvos stotyje priešingai nei kitose stotyse, kritulių kiekis pagal RCP scenarijus yra didėjantis. NorESM1-M klimato modelio kritulių prognozė, numato jau kiek mažesnius kritulių kiekio padidėjimus: Laukuvos stotyje svyruoja tarp 5–9 % kritulių padidėjimo, Utenos stotyje svyruoja tarp 5–7 % kritulių padidėjimo, Varėnos stotyje nuo 2 % iki 10 % kritulių padidėjimo. Vilniaus stotyje, kaip ir pagal GFDL-CM3 prognozuojami didžiausi kritulių pokyčiai 13–19 %. Laukuvos meteorologinėje stotyje prognozuojama vidutinė temperatūra yra visada didesnė, negu buvo 1988–2018 metais (3.26 pav.). Temperatūros prognozė pagal RCP2.6 scenarijų yra mažai tikėtina, nes pagal praeities duomenis visose stotyse pastebimas tendencingas temperatūros augimas, kuris tikėtina gali išlikti 2081–2100 metais.

3.8 lentelė. Prognozuojamos 2081–2100 metų, vidutinės temperatūros ir kritulių kiekiai pagal klimato modelį NorESM1-M

Meteorologijos stotis (MS)	Vidutinė temperatūra, °C				Kritulių kiekis, mm			
	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
Laukuva	7,6	8,6	9,1	10,4	833	858	850	872
Vilnius	7,7	8,8	9,3	10,8	746	734	699	689
Utena	7,8	8,9	9,5	10,8	738	734	728	725
Varėna	8,0	9,1	9,6	11,0	765	753	718	706

HadGEM2-ES modelis (3.9 lentelė), kaip kituose dviejuose modeliuose Laukuvoje prognozuoja mažiausias vidutines temperatūras, o aukščiausias Varėnos stotyje (3.26 pav.). Laukuvoje numatomas didžiausias kritulių kiekis, kaip ir pagal kitus du klimato modelius. Mažiausias kritulių kiekis Vilniaus MS, taip pat kaip ir pagal GFDL-CM3. Nors HadGEM2-

ES klimato modelis prognozuoja mažesnę kritulių kiekį, bet didesnę temperatūrą, kuri tikėtina sumažins upių nuotėkį. Kritulių prognozę palyginus su analizuojamo laikotarpio vidutiniais metiniais kritulių duomenimis, pastebima, kai kuriuose RCP scenarijuose, neigiama kritulių prognozė. Todėl iškrentantis kritulių kiekis matuojamas meteorologinėse stotyse bus mažesnis.

3.9 lentelė. Prognozuojamos 2081–2100 metų, vidutinės temperatūros ir kritulių kiekiai pagal klimato modelį HadGEM2-ES

Meteorologijos stotis (MS)	Vidutinė temperatūra, °C				Kritulių kiekis, mm			
	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
Laukuva	8,5	9,7	9,5	12,4	764	829	728	773
Vilnius	8,9	10,1	10,0	12,9	621	651	591	629
Utena	9,0	10,2	10,1	13,0	659	690	627	662
Varėna	9,1	10,3	10,2	13,2	651	684	620	632

Išanalizavus tris globalių klimato modelių rezultatus pastebimos panašios oro temperatūros augimo tendencijos meteorologijos stotyse per analizuojamą. Didžiausius klimato pokyčius numato GFDL-CM3 modelis, išsiskiria didžiausia vidutine temperatūra ir didžiausiu kritulių kiekiu. Prognozuojama, kad kritulių kiekio pokyčiai labiau priklausys nuo pasirinkto klimato modelio ir RCP scenarijaus rezultatų.

3.6. Nuotėkio prognozė

Nustačius Laukuvos, Vilniaus, Utenos ir Varėnos meteorologinių stočių kritulių vidutinės oro temperatūros ir kritulių pokyčio prognozes, buvo atlikta tolimos ateities (2081–2100 m.) vidutinė metinė nuotėkio prognozė remiantis skirtingais *Curve expert 2.7* programos modeliais. Kad prognozė būtų tiksli, reikia įvertinti kiekvienos upės duomenų patikimumą bei koreliacijos koeficientus (3.7 lentelė). Koreliacijos koeficientai parodė, kad vienintelėje Žeimenos upėje gautas neigiamas labai silpnas ryšys tarp metinių vidutinių debitų ir kritulių, o ir duomenys yra nepatikimi. Galima teigti, kad upės baseinas yra ežeringas, todėl krituliai turi mažesnę įtaką upės nuotėkiui. Dėl duomenų nepatikimo, upės prognozė yra nepatikima, todėl prognozė šiai upei neatliekama.

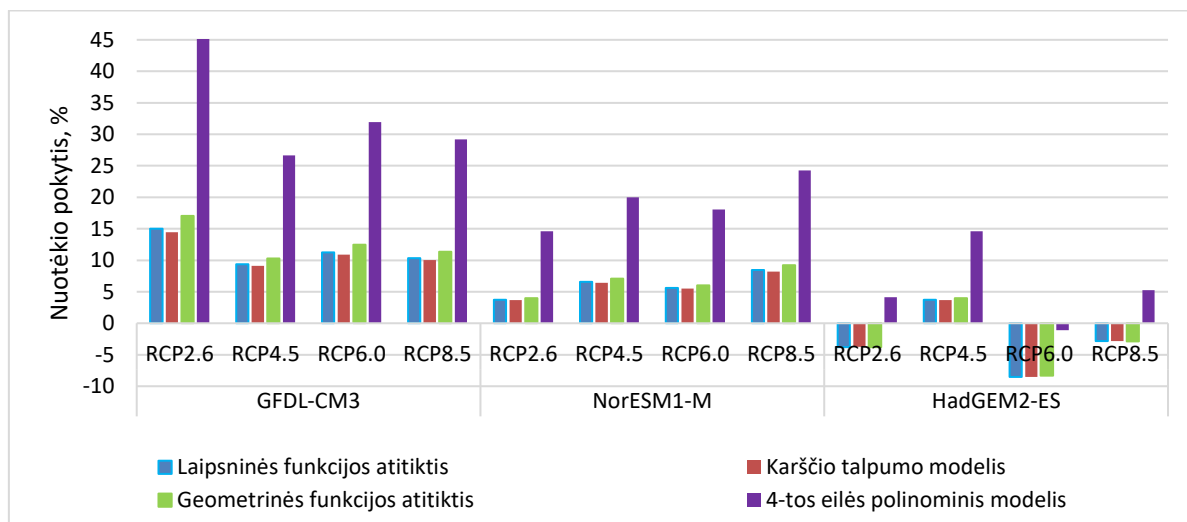
3.10 lentelė. Vidutinių metinių kritulių ir debitų koreliacijos koeficientai bei duomenų patikimumas.

Upės	Koreliacijos koeficientas r	Koeficiento r vertinimas	Duomenų patikimumas
Merkys	0,45	Vidutinis ryšys	0,047
Lėvu	0,54	Vidutinis ryšys	0,017
Žeimena	-0,17	Neigiamas labai silpnas tarpusavio ryšys	0,475
Minija	0,79	Stiprus ryšys	0
Jūra	0,80	Stiprus ryšys	0
Dubysa	0,73	Stiprus ryšys	0

Prieš rengiant upių nuotėkio prognozę, būtinai reikia įvertinti nuotėkio pasiskirstymo tendencijas praeityje, todėl prognozės sudarymui remiamasi TKKK AR5 (Tarpvyriausybė klimato kaitos komisija ataskaita). TKKK AR5 rekomenduoja naudoti 1986–2005 metų duomenis, kaip foną sudarant tolimos ateities upių debitų prognozes. Upių vidutinė metinė nuotėkiui prognozė atlikta penkioms upėms: Minijos upė ties Kartena ir Jūros upė ties Taurage (Vakarų Lietuva), Lėvens upė ties Kupiškio (Vidurio Lietuva) ir Merkio upė ties Puvočiai (Pietryčių Lietuva). Kiekviena iš šių pasirinktų upių reprezentuoja Lietuvos hidrologinį rajoną, kuriame ji yra. Prognozės buvo sudarytos taikant tris CMIP5 klimato modelius, keturis RCP scenarijus ir *Curve expert 2.7* modelius.

Prognozuojama Minijos upės nuotėkio prognozė 2081–2100 metams pateikiama 3.27 paveiksle. Nuotėkio pokytis, kurio prognozė buvo atliekama naudojantis 4-tos eilės polinominiu modeliu išsiskyrė didžiausiais procentiniais pokyčiais, lyginant su foniniu laikotarpiu. Pagal šį modelį pokyčiai svyruoja nuo 45 % nuotėkio augimo iki 1 % nuotėkio mažėjimo. GFDL-CM3 ir NorESM1-M klimato modeliai, pagal visas ŠESD emisijų scenarijus prognozuoja tik teigiamą nuotėkio pokytį. Klimato modelis HadGEM2-ES, pagal RCP4.5 scenarijų prognozuoja, tik teigiamus pokyčius, o pagal kitus tris RCP scenarijus numatomi tiek teigiami, tiek neigiami pokyčiai. Trijų nuotėkio prognozės modelių rezultatai – laipsninės funkcijos atitiktis, karščio talpumo modelis ir geometrinės atitiktis parodė panašius nuotėkio pokyčių skirtumus.

Pastebima, ŠESD emisijų scenarijų įtaka galutinėms Minijos upės nuotėkio prognozėms. RCP įtaka padidėja XXI a.pab., kuomet skirtumai tarp RCP scenarijų padidėja. 2081–2100 metų nuotėkio prognozė pagal GFDL-CM3 klimato modelio prognozės pagal RCP scenarijus, neskaitant 4-eilės polinominio modelio prognozių, svyravo nuo 17 % padidėjimo RCP2.6 iki 9 % padidėjimo RCP4.5 scenarijus. NorESM1-M modelis numato, didžiausią nuotėkio padidėjimą 24 % (RCP8.5), o mažiausią 4 % (RCP2.6). HadGEM2-ES klimato modelio didžiausias nuotėkio kiekio pokytis 15 % pagal RCP4.5 scenarijų, kai šiltnamio dujų koncentracija CO₂ ekvivalentu bus apie 650 ppm, mažiausias -9 % RCP6.0 scenarijus, kai šiltnamio dujų koncentracija CO₂ ekvivalentu bus apie 850 ppm.



3.27 pav. Prognozuojamas Minijos upės ties Kartena vidutinio nuotėkio prognozė 2081–2100 metams, pagal skirtingus RCP scenarijus, CMIP5 klimato modelius ir Curve Expert modelius

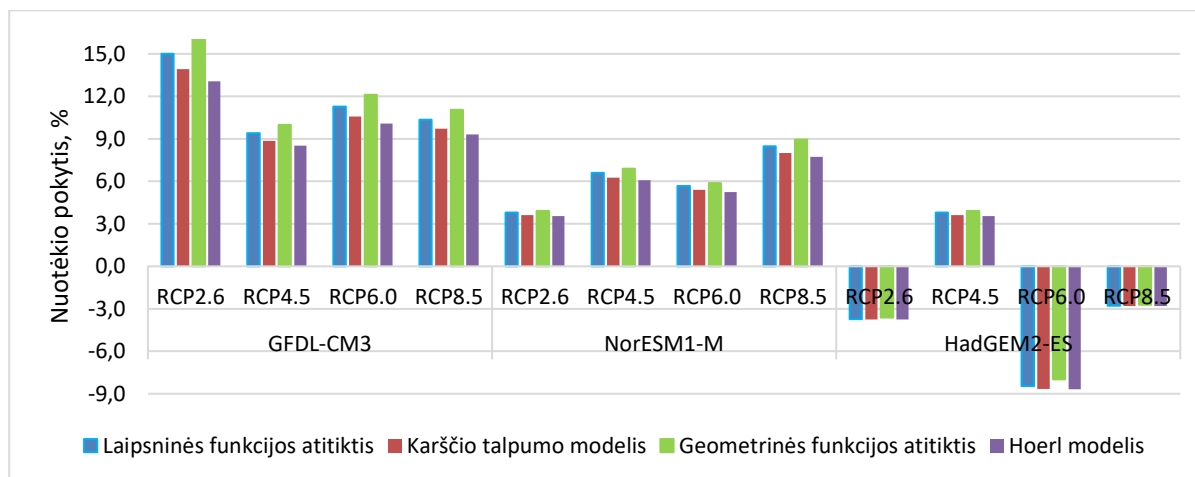
Kitos Vakarų Lietuvos hidrologinio rajono upės nuotėkio prognozė pateikiama 3.28 paveiksle. Jūros upės 1986–2005 metų kritulių ir vidutinių debitų koreliacijos koeficientas yra 0.80, todėl gautas ryšys yra stiprus. Įvertinus duomenų patikimumą gauta, kad duomenys yra patikimi.

CMIP5 klimato modelio GFDL-CM3 gauta nuotėkio prognozė svyruoja 16,5 % didėjimo RCP2.6 iki 8,5 didėjimo RCP4.5. RCP4.5 scenarijus numato, mažiausią upės debito pokytį, nes pagal šį scenarijų prognozuojama, kad energinis poveikis pasieks 4,5 W/m² ribą ir stabilizuosis iki 2100 metų, o šiltnamio dujų koncentracija CO₂ ekvivalentu bus apie 650 ppm. Didžiausius nuotėkio pokyčius, pagal visus RCP scenarijus, prognozuoja geometrinės funkcijos atitiktis modelis, o mažiausią Hoerl modelis.

NorESM1-M klimato modelis prognozės numato mažiausius teigiamus nuotėkio pokyčius nuo 3,5 % iki 8,9 %. RCP2.6 scenarijus prognozuoja mažiausią nuotėkio pokytį, o RCP8.5 numato didžiausią pokytį. Vidutiniškai RCP2.6 scenarijus nuspėja 3,7 % pokyčius, o

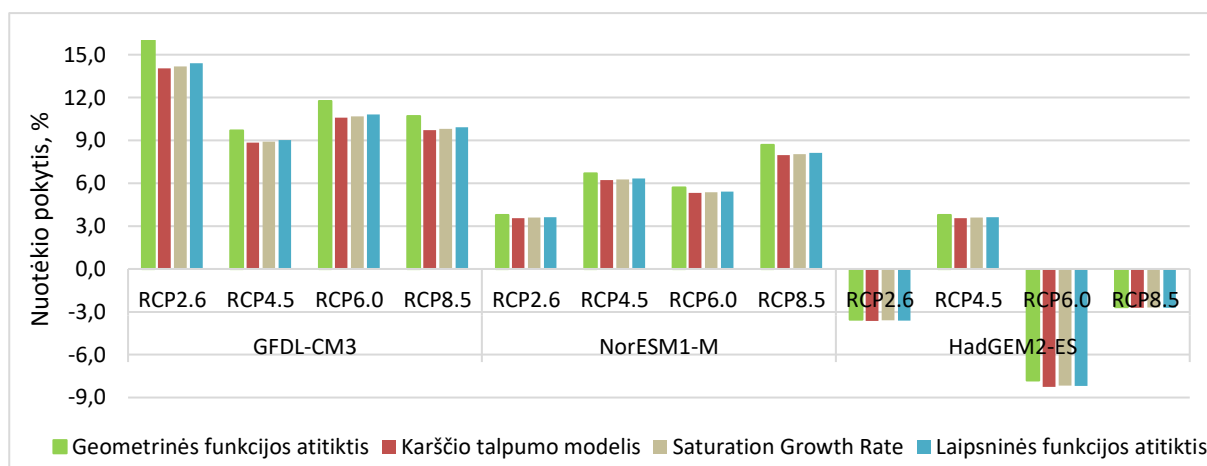
RCP8.5 apie 2,2 karto didesnius pokytį. RCP4.5 ir RCP6.0 scenarijų vidutinės prognozės skiriasi, tik 1,2 karto.

HadGEM2-ES modelis RCP2.6, RCP6.0 ir RCP8.5 numato neigiamus nuotėkio pokyčius. Tikėtina, kad pagal šiuos scenarijus nuotėkis 2081–2100 metais sumažės. Kai energinis poveikis pasieks $4,5 \text{ W/m}^2$, Jūros upės nuotėkis vidutiniškai padidės apie 3,7 %, lyginat su foniniu laikotarpiu. RCP6.0 scenarijus rodo 8,4 % mažėjimą. Laipsninės funkcijos atitikties nuotėkio prognozė svyruoja nuo 8,5 % sumažėjimo iki 3,8 % sumažėjimo. HadGEM2- ES klimato modelio kiekvieno ŠESD emisijų scenarijaus gautos prognozės, skiriasi apie $\pm 1 \%$.



3.28 pav. Prognozuojamas Jūros upės ties Taurage vidutinio nuotėkio prognozė 2081–2100 metams, pagal skirtingus RCP scenarijus, CMIP5 klimato modelius ir Curve Expert modelius

Dubysos upės ties Lyduvėnais nuotėkio prognozė yra labai panaši į Jūros upės nuotėkio prognozė (3.29 pav.). Nuotėkio pokyčio prognozė svyruoja nuo 16 % didėjimo iki 8.3 % mažėjimo, lyginant su 1986–2005 metais.

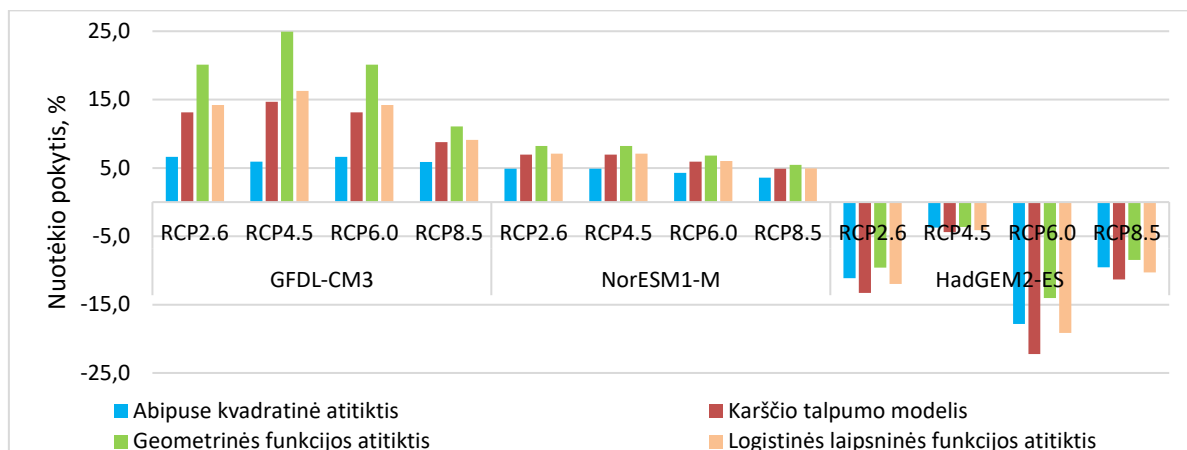


3.29 pav. Prognozuojamas Dubysos upės ties Lyduvėnais vidutinio nuotėkio prognozė 2081–2100 metams, pagal skirtingus RCP scenarijus, CMIP5

Vidurio Lietuvos hidrologinio rajono Lėvens upės nuotėkio prognozė pateikiama 3.30 paveiksle. GFDL-CM3 klimato modelis taip pat kaip Vakarų regiono upių prognozėje, parodo

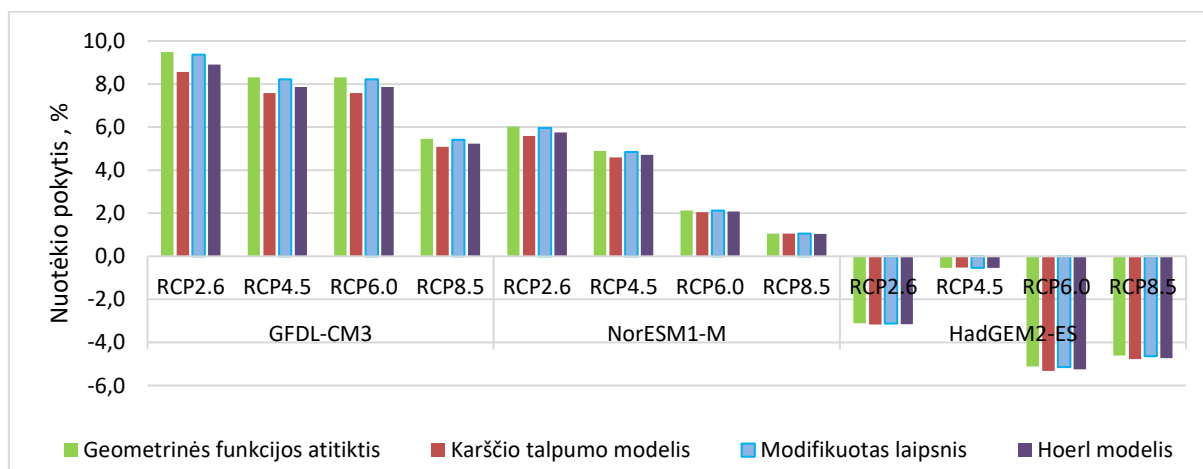
didžiausius nuotėkio pokyčius. Geometrinės funkcijos atitikties modelio prognozė, pagal GFDL-CM3 ir NorESM1-M modelius prognozuoja didžiausius nuotėkio pokyčius, o mažiausi nuotėkio pokyčiai abipuses kvadratinės atitikties modelis. Panašią nuotėkio prognozę numato karščio talpumo modelis ir logistinės laipsninės funkcijos atitikties modeliai. GFDL-CM3 klimato modelio RCP4.5 scenarijaus nuotėkio pokytis yra didžiausias teigiamas, kuris svyruoja nuo 6 % iki 25 % lyginat su 1986–2005 metais.

HadGEM2-ES modelio prognozėje skirtingai nei Vakarų regiono upių nuotėkio pokytis, yra tik neigiamas. Prognozuojama, kad nuotėkis gali sumažėti nuo 22 % pagal RCP6.0 iki 4 % pagal RCP4.5.



3.30 pav. Prognozuojamas Lėvens upės ties Kupiškio vidutinio nuotėkio prognozė 2081–2100 metams, pagal skirtingus RCP scenarijus, CMIP5 klimato modelius ir Curve Expert modelius

Pietryčių Lietuvos regiono Merkio upės nuotėkio prognozė pateikiama 3.31 paveiksle. Matoma, kad prognozuojamas upės nuotėkis lyginant su 1986–2005 metų duomenimis, gali pakilti iki 9,5 % arba sumažėti iki 5,3 %. Didžiausius nuotėkio pokyčius prognozuoja geometrinės funkcijos atitikties modelis: 9,5 % padidės arba 5,1% sumažės, o mažiausius Karščio talpumo modelis 8,6 % upių nuotėkio pakilimo arba iki 5,3 % nuotėkio sumažėjimo. GFDL-CM3 klimato modelis numato didžiausią metinio nuotėkio kilimą.



3.31 pav. Prognozuojamas Merkio upės ties Puvočiais vidutinio nuotėkio prognozė 2081–2100 metams, pagal skirtingus RCP scenarijus, CMIP5 klimato modelius ir Curve Expert modelius

Atlikus metinę nuotėkio prognozę 2081–2100 metams, pastebima, kad mažiausi nuotėkio pokyčiai numatomi Merkio upėje, o didžiausi Minijos upėje. HadGEM2-ES klimato modelis visoms upėms beveik visada parodė neigiamą nuotėkio pokytį, o GFDL-CM3 visada parodė didžiausią teigiamą nuotėkio pokytį. Tokie nuotėkio pokyčiai priklausė nuo pasirinktos *Curve expert 2.7* programos prognozės lygties, nuo skirtingų ŠESD emisijų scenarijų bei pačių klimato modelių. Nors upių nuotėkio prognozei pritaikytos skirtingos, *Curve expert 2.7* programos prognozės lygtis, rezultatai gaunami panašūs. Nuotėkio prognozė pavasario laikotarpiui nėra atliekama, nes vidutinių vasario–gegužės kritulių ir debitų koreliacijos koeficientai turi silpną tarpusavio ryšį, o duomenys nėra patikimi. Galima teigti, kad tokį vasario–gegužės debitų ir kritulių patikimumą lemia klimato kaita, kuri daro išbalansuoja upių hidrologinius režimus.

IŠVADOS

1. TREND programa atlikus trijų dešimtmečių upių vidutinių metinių nuotėkių analizę nustatyta, jog Minijos, Jūros, Dubysos, Lėvens Žeimenos, Merkio upių vidutiniai metiniai nuotėkiai 1988–1997 m. laikotarpiu mažėjo (testo statistika svyruoja nuo -0,716 iki -1,655). 1998–2007 m. laikotarpiu 50 % analizuotų upių parodė mažėjimo tendencija (testo statistika svyruoja nuo -0,179 iki -0,927), o didėjimo tendencija pastebėta Minijoje, Žeimenoje, Merkio upėse (TS nuo 0,091 iki +2,127). 2008–2018 metais visų upių duomenys nėra patikimi, t. y. debitų variacija yra labai didelė. Taip pat keturiose upėse nustatytas nuotėkio mažėjimas (TS nuo -0,156 iki -0,374), o Dubysos ir Žeimenos upėse nuotėkio didėjimas (TS nuo +0,144 iki +0,316).
2. TREND programa atlikus 1988–2018 metų vidutinių metinių nuotėkių analizę nustatyta, jog tik Žeimenos upės duomenys yra patikimi (TS +0,397). Atlikus viso analizuoto laikotarpio vasario–gegužės nuotėkių analizę, nei vienoje upėje nepastebėti patikimi duomenys. Dėl vykstančios klimato kaitos, nuotėkio duomenų variacija yra didelė, todėl nepastebėti patikimi duomenys.
3. Atlikus 1988–2018 metų kritulių ir debitų analizę, pastebima, kad labiausiai tikėtina HadGEM2-ES klimato modelio prognozė. Šio klimato modelio prognozė parodo, kad upių nuotėkis sumažės 2081–2100 metais. Gauta, kad 3 iš 4 meteorologinių stočių fiksuojamas kritulių kiekio mažėjimas, taip pat 3 iš 6 upių debitai mažėja.
4. Palyginus 1988–2018 m. vidutines temperatūras su klimato modelių prognozuojama temperatūra, nustatyta, kad galimi temperatūros svyravimai meteorologinėse stotyse: Utenos stotyje 11–76 %, Varėnos stotyje 11–88 %, Vilniaus stotyje 10–105 %, Laukuvos stotyje gali būti 13–92 %.
5. *Curve expert 2.7* programa atlikus metinę nuotėkio prognozę šešioms upėms, nustatyta, kad didžiausi nuotėkio pokyčiai numatomi Minijos upėje. Pagal 4-tos eilės polinominį modelį nuotėkis upėje gali padidėti net 45 %. Mažiausi nuotėkio pokyčiai numatomi Merkio upėje, dėl ten vyraujančių smėlingų gruntų. Prognozuojama, kad nuotėkis šioje upėje galėtų pakilti iki 10 % arba sumažėti iki 5 %.

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Akstinas, V. (2019). Lietuvos upių potvynių ir jų rizikos vertinimas klimato kaitos sąlygomis. In *Lietuvos energetikos institutas* (p. 123). <http://ktu.edu>
2. Akstinas, V., Meilutytė-Lukauskienė, D., Kriaučiūnienė, J., & Šarauskienė, D. (2020). Features and causes of catastrophic floods in the Nemunas River basin. *Hydrology Research*, 51(2), 308–321. <https://doi.org/10.2166/nh.2019.147>
3. Aplinkos apsaugos agentūra. (2019). *PRELIMINARAUS POTVYNIŲ RIZIKOS VERTINIMO ATNAUJINIMAS 2011 – 2018 M.* [https://gamta.lt/files/2019 m. Preliminarus vertinimo atnaujinimas_12 18.pdf](https://gamta.lt/files/2019_m_preliminarus_vertinimo_atnaujinimas_12_18.pdf)
4. Australian academy of science. (2021). *What is climate change?* <https://www.science.org.au/learning/general-audience/science-climate-change/1-what-is-climate-change>
5. Barredo, J. I. (2007). Major flood disasters in Europe: 1950-2005. *Natural Hazards*, 42(1), 125–148. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9065-2>
6. Bates, B., Wu, S., Zbigniew Kundzewicz, A. W., & Palutikof, J. (2008). *Climate Change and Water. Technical paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*
7. Bertola, M., Viglione, A., Lun, D., Hall, J., & Blöschl, G. (2020). Flood trends in Europe: Are changes in small and big floods different? *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(4), 1805–1822. <https://doi.org/10.5194/hess-24-1805-2020>
8. Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R. A. P., Merz, B., Arheimer, B., Aronica, G. T., Bilibashi, A., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G. B., Claps, P., Fiala, K., Frolova, N., Gorbachova, L., Gül, A., Hannaford, J., ... Živković, N. (2017). Changing climate shifts timing of European floods. *Science*, 357(6351), 588–590. <https://doi.org/10.1126/science.aan2506>
9. Blöschl, G., Hall, J., Viglione, A., Perdigão, R. A. P., Parajka, J., Merz, B., Lun, D., Arheimer, B., Aronica, G. T., Bilibashi, A., Boháč, M., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G. B., Claps, P., Frolova, N., Ganora, D., ... Živković, N. (2019). Changing climate both increases and decreases European river floods. *Nature*, 573(7772), 108–111. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6>
10. Brakenridge, G. R., Syvitski, J. P. M., Overeem, I., Higgins, S. A., Kettner, A. J., Stewart-Moore, J. A., & Westerhoff, R. (2013). Global mapping of storm surges and the assessment of coastal vulnerability. *Natural Hazards*, 66(3), 1295–1312. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0317-z>
11. Brázdil, R., Glaser, R., Pfister, C., & Stangl, H. (2002). Floods in Europe – A Look into the Past. *PAGES News*, 10(3), 21–23. <https://doi.org/10.22498/pages.10.3.21>
12. Bukantis, A., Rimkus, E., Kažys, J., Pupienis, D., Stankūnavičius, G., Stonevičius, E., Valiuškevičius, G., Linkevičienė, R., Liukaitytė, J., Šidlauskaitė, L., & Valskys, V. (2015). 160.
13. Bukantis, A., Rimkus, E., Kažys, J., & Žalakevičius, M. (2017). *100 Klausimų Apie Klimato Kaitą.*
14. Canada Government. (2013). *Causes of flooding - Canada.ca.* <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/water-overview/quantity/causes-of-flooding.html>
15. Čepukas, R. (2019). *PAGRINDINIŲ EKOLOGINIŲ IR ANTROPOGENINIŲ RODIKLIŲ KAITA 1992 – 2017 METŲ LAIKOTARPYJE.* [https://www.utenos-kolegija.lt/upload/file_manager/Visuomenci/Ižvalgos/2019-Nr2/3 R. Cepukas_PAGRINDINIŲ EKOLOGINIŲ IR ANTROPOGENINIŲ RODIKLIŲ KAITA 1992 – 2017 METU LAIKOTARPYJE.pdf](https://www.utenos-kolegija.lt/upload/file_manager/Visuomenci/Ižvalgos/2019-Nr2/3_R_Cepukas_PAGRINDINIŲ_EKOLOGINIŲ_IR_ANTROPOGENINIŲ_RODIKLIŲ_KAITA_1992_2017_METU_LAIKOTARPYJE.pdf)
16. Christina Nunez. (2019, January 22). *What is global warming, facts and information?* <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/global-warming-overview>
17. Cunderlik, J. M., & Ouarda, T. B. M. J. (2009). Trends in the timing and magnitude of floods in Canada. *Journal of Hydrology*, 375(3–4), 471–480. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.050>

18. Dawei Han. (2001). *Flood risk assessment and management*. University of Bristol, Bristol. https://books.google.lt/books?hl=en&lr=&id=jSa5loVLDjMC&oi=fnd&pg=PP1&ots=X-fpZQfVmA&sig=qkgxQorSg9Fi6go9-ADLzkKPSuM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
19. Doocy, S., Daniels, A., Murray, S., & Kirsch, T. D. (2013). The Human Impact of Floods: A Historical Review of Events 1980-2009 and Systematic Literature Review. *PLoS Currents*, APR 2013. <https://doi.org/10.1371/currents.dis.f4deb457904936b07c09daa98ee8171a>
20. Dūdėnas, G. (2018). *Potvynių direktyvos įgyvendinimas*. Aplinkos Apsaugos Agentūra. <https://vanduo.gamta.lt/cms/index?rubricId=6d87deab-3ecc-412a-9b66-7fd6361f26ba>
21. Dumbrasukas, A., Bagdziunaitė-Litvinaitienė, L., & Vycienė, G. (2008). *ENVIRONMENTAL ENGINEERING TREND DETECTION IN HYDROLOGICAL SERIES OF MAIN LITHUANIAN RIVERS*.
22. Elisha Sawe Benjamin. (2018, September 6). *What Causes Floods?* - WorldAtlas. Worl Facts. <https://www.worldatlas.com/articles/what-causes-floods.html>
23. Gailiusis, B., Jablonskis, J., & Kovalenkovicienė, M. (2001). *Lietuvos upės. Hidrografija ir nuotėkis*. Lietuvos energetikos institutas. Kaunas, 797.
24. Hirsch, R. M., & Archfield, S. A. (2015). Flood trends: Not higher but more often. In *Nature Climate Change* (Vol. 5, Issue 3, pp. 198–199). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/nclimate2551>
25. Hrdinka, T., Novický, O., Hanslík, E., & Rieder, M. (2012). Possible impacts of floods and droughts on water quality. *Journal of Hydro-Environment Research*, 6(2), 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2012.01.008>
26. Hunt, J. G. R. (2005). Inland and coastal flooding: Developments in prediction and prevention. In *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* (Vol. 363, Issue 1831, pp. 1475–1491). Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rsta.2005.1580>
27. Kazimieras Pukėnas. (2009). *KOKYBINIŲ DUOMENŲ ANALIZĖ SPSS PROGRAMA*. Lietuvos kūno kultūros akademija.
28. Kažys, J., Rimkus, E., & Bukantis, A. (2009). *Gausūs krituliai Lietuvoje 1961-2008 metais*.
29. Keršytė, D., Rimkus, E., & Kažys, J. (2015). *Klimato rodiklių scenarijai Lietuvos teritorijoje XXI a.* Lietuvos Mokslų Akademija,. <https://www.lmaleidykla.lt/ojs/index.php/geologija-geografija/article/view/3069/1896>
30. Kilkus, K., & Stonevičius, E. (2011). *Lietuvos vandenų geografija*.
31. Kovalenkovicienė, M Jurgelėnaitė, A. (1996). Nauja Lietuvos upių nuotėkio norma. *Energetika*, 50–63. <https://www.lmaleidykla.lt/ojs/index.php/energetika>
32. Kriaučiūnienė, J., Gailiusis, B., Šarauskienė, D., Jakimavičius, D., Jurgelėnaitė, A., Meilutytė-Lukauskienė, D., Akstinas, V., Tomkevičienė, A., & Irbinskas, V. (2016). Klimato kaitos įtakos Lietuvos vandens ištekliams tyrimai. *Energetika*, 62(3), 87–101. <https://doi.org/10.6001/energetika.v62i3.3348>
33. Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., Mechler, R., Bouwer, L. M., Arnell, N., Mach, K., Muir-Wood, R., Brakenridge, G. R., Kron, W., Benito, G., Honda, Y., Takahashi, K., & Sherstyukov, B. (2014). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1), 1–28. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.857411>
34. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. (n.d.). *RSS - Meteo.lt*. Retrieved February 14, 2021, from http://www.meteo.lt/lt/rss/-/journal_content/56/20181/201268?refererPlid=20636
35. Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba. (2021). *Stebėjimų tinklas - Meteo.lt*. http://www.meteo.lt/lt/stebejimu_tinklas
36. Lietuvos Respublikos aplinkos ministerija. (2005). *D1-458 Dėl statybos techninio reglamento STR 2.05.19:2005 "Inžinerinė hidrologija. Pagrindiniai skaičiaiav...* <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.262827?jfwid=rivwzvvpvg>
37. Lietuvos Respublikos Vyriausybė. (2009). *1558 Dėl Potvynių rizikos vertinimo ir valdymo tvarkos aprašo patvirtinimo*. Valstybės Žinios, 2009-12-05, Nr. 144-6376. <https://e->

- seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.359696/fJnWcnAWKM
38. Mahmood, S., Khan, A. ul H., & Ullah, S. (2016). Assessment of 2010 flash flood causes and associated damages in Dir Valley, Khyber Pakhtunkhwa Pakistan. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 16, 215–223. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2016.02.009>
 39. Mallakpour, I., & Villarini, G. (2015). The changing nature of flooding across the central United States. *Nature Climate Change*, 5(3), 250–254. <https://doi.org/10.1038/nclimate2516>
 40. Meilutytė-Barauskienė, D., & Kovalenkoviėnė, M. (2007). *Change of spring flood parameters in Lithuanian rivers*.
 41. Meilutytė-Barauskienė, D., Kovalenkoviėnė, M., & Irbinskas, V. (2008). Lietuvos upių vandens ištekliai klimato kaitos fone. *Geografija*.
 42. 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>
 43. Mickevič, A., & Rimkus, E. (2013). *Vidutinės oro temperatūros dinamika Lietuvoje*. Geografija. <https://web.p.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=d1e497f4-cb73-4288-b7b2-9255ad995ebc%40redis>
 44. Montz, B. E., & Tobin, G. A. (2011). Natural hazards: An evolving tradition in applied geography. *Applied Geography*, 31(1), 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.06.005>
 45. Natural Resources Defense Council. (2022). *Flooding and Climate Change: Everything You Need to Know*. <https://www.nrdc.org/stories/flooding-and-climate-change-everything-you-need-know>
 46. Office of the Queensland Chief Scientist. (2018a, June 12). *How do we forecast floods? . Understanding Floods*. <https://www.chiefscientist.qld.gov.au/publications/understanding-floods/forecasting-floods>
 47. Office of the Queensland Chief Scientist. (2018b, June 12). *What are the consequences of floods? Understanding Floods*. <https://www.chiefscientist.qld.gov.au/publications/understanding-floods/flood-consequences>
 48. Pankauskas, M. (2009). *Baltijos jūros regiono klimato humidiškumo dinamika 1950-2004 metais*. <https://epublications.vu.lt/object/elaba:1920175/>
 49. Paprotny, D., Sebastian, A., Morales-Nápoles, O., & Jonkman, S. N. (2018a). Trends in flood losses in Europe over the past 150 years. *Nature Communications*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04253-1>
 50. Paprotny, D., Sebastian, A., Morales-Nápoles, O., & Jonkman, S. N. (2018b). Trends in flood losses in Europe over the past 150 years. *Nature Communications*, 9(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04253-1>
 51. Parlamento, E., Tarybos, I. R., Parlamento, E., & Parlamentui, E. (2007). 2007 11 11 - 6 -. 2455, 6–9.
 52. Pauliukevičius, H. (2004). *SAUSUMOS VANDENŲ TYRIMAI MAŽOS UPĖS NUOTĖKIO YPATYBĖS METAIS SU SAUSU ŠILTUOJU LAIKOTARPIU*.
 53. *Potvynių rizikos valdymas | Aplinkos apsaugos agentūra*. (2021). <https://aaa.lrv.lt/lt/veiklos-sritys/vanduo/upes-ezerai-ir-tvenkiniai/potvyniu-rizikos-valdymas>
 54. Reihan, A., Kriaučiūnienė, J., Meilutytė-Barauskienė, D., & Kolcova, T. (2012). Temporal variation of spring flood in rivers of the Baltic States. *Hydrology Research*, 43(4), 301–314. <https://doi.org/10.2166/nh.2012.141>
 55. Rimkus, E. (2011). *Meteorologijos įvadas* (A. Bukantis, I. Dailidienė, G. Stankūnavičius, & J. Kažys (Eds.)).
 56. Rojas, R., Feyen, L., & Watkiss, P. (2013). Climate change and river floods in the European Union: Socio-economic consequences and the costs and benefits of adaptation. *Global Environmental Change*, 23(6), 1737–1751. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.08.006>
 57. Rokaya, P., Budhathoki, S., & Lindenschmidt, K. E. (2018a). Trends in the Timing and Magnitude of Ice-Jam Floods in Canada. *Scientific Reports*, 8(1), 5834. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24057-z>

58. Rokaya, P., Budhathoki, S., & Lindenschmidt, K. E. (2018b). Trends in the Timing and Magnitude of Ice-Jam Floods in Canada. *Scientific Reports*, 8(1), 5834. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24057-z>
59. Sakalauskas, L. (2003). *Informacinės technologijos inžinerijoje*.
60. van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G. C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J. F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S. J., & Rose, S. K. (2011). The representative concentration pathways: An overview. *Climatic Change*, 109(1), 5–31. <https://doi.org/10.1007/S10584-011-0148-Z/TABLES/4>
61. Villarini, G., Serinaldi, F., Smith, J. A., & Krajewski, W. F. (2009). On the stationarity of annual flood peaks in the continental United States during the 20th century. *Water Resources Research*, 45(8), 8417. <https://doi.org/10.1029/2008WR007645>
62. Vozinaki, A.-E. K., Tapoglou, E., & Tsanis, I. K. (2018). Hydrometeorological impact of climate change in two Mediterranean basins. *International Journal of River Basin Management*, 16(2), 245–257. <https://doi.org/10.1080/15715124.2018.1437742>

Priedai

Priedas Nr. 1. Upių vidutinio metinio debito vandeningumo pasiskirstymas, pagal tikimybes.

Eil. Nr.	Tikimybė	Minijos upės debitai		Jūros upės debitai		Dubysos upės debitai		Lėvens upės debitai		Žeimenos upės debitai		Merkio upės debitai	
	p, %	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas
1	2,2	2006	26,26	2011	34,9	2007	12,80	2004	4,09	2017	28,40	1994	42,60
2	5,4	1998	25,04	2007	34,43	1998	12,30	2001	3,77	2010	26,30	2017	42,20
3	8,6	2017	24,00	1998	33,20	2017	11,30	2002	3,54	2005	24,47	2003	41,55
4	11,8	2010	23,47	2017	32,40	1995	11,20	2005	3,41	2012	23,51	2005	40,00
5	15	1990	22,56	2016	26,50	2010	10,70	1998	3,07	2004	22,83	1993	38,50
6	18,2	2011	20,40	2012	26,40	1990	10,40	2000	2,96	2013	22,79	2010	38,40
7	21,3	1991	19,57	1994	26,30	2011	10,10	2017	2,89	1990	22,26	2007	35,70
8	24,5	1994	19,21	2004	26,06	1994	9,99	1994	2,59	2011	21,82	2011	35,60
9	27,7	2002	19,02	2001	24,55	2002	9,74	2003	2,57	2018	21,40	1990	35,50
10	30,9	1989	18,79	2010	24,36	2013	9,72	1990	2,48	1994	20,16	2004	35,50
11	34,1	1997	18,77	2002	24,35	2004	9,46	1989	2,38	2007	19,22	1988	35,40
12	37,3	1995	18,54	2008	24,35	2012	9,10	2010	2,33	1991	19,10	2013	34,10
13	40,4	2007	18,42	1990	23,20	2001	9,00	1988	2,26	2002	18,25	2008	33,90
14	43,6	1999	18,31	2013	22,90	1991	8,90	2016	2,12	2001	18,11	2016	33,40
15	46,8	2001	18,22	1989	22,80	2016	8,74	2012	2,01	1989	17,80	2018	33,40
16	50	2016	18,00	1988	22,50	2008	8,54	2007	1,99	1998	17,26	2012	32,70
17	53,2	1992	17,19	1993	21,50	1999	8,48	1992	1,94	1995	17,15	1989	32,50
18	56,4	2009	17,01	1999	21,10	1988	8,43	1995	1,88	2008	17,12	1998	32,30
19	59,6	2015	16,80	1995	21,00	1992	8,06	1991	1,87	2016	16,90	2006	32,30
20	62,7	2004	15,78	2005	20,03	1989	7,69	2006	1,86	2014	16,80	1999	31,40
21	65,9	1988	15,75	2009	19,85	2005	7,30	1999	1,81	2006	16,14	2009	31,00
22	69,1	2012	15,58	1991	19,30	2000	7,11	2011	1,78	1988	16,04	1995	30,50
23	72,3	2005	14,99	1997	19,20	2018	7,10	2008	1,70	1992	15,67	2014	30,00

Eil. Nr.	Tikimybė	Minijos upės debitai		Jūros upės debitai		Dubysos upės debitai		Lėvens upės debitai		Žeimenos upės debitai		Merkio upės debitai	
	p, %	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas
24	75,5	2000	13,27	2000	18,29	1993	6,99	1997	1,66	1999	15,47	1992	29,50
25	78,7	2008	12,89	2015	17,50	1997	6,83	2013	1,64	2015	15,40	2000	29,50
26	81,8	1993	12,66	1992	16,10	2014	6,36	2009	1,61	1993	15,23	2001	29,38
27	85,0	2014	12,10	2018	14,50	2015	6,15	2015	1,58	2009	14,68	2015	28,80
28	88,2	2013	12,09	2003	14,17	2009	5,97	1993	1,47	2003	14,05	1991	28,10
29	91,4	2003	11,50	2006	14,06	1996	5,75	2018	1,33	1997	13,39	1996	26,80
30	94,6	2018	9,86	1996	12,90	2003	4,85	2014	1,18	2000	13,29	1997	26,60
31	97,8	1996	9,53	2014	12,50	2006	3,74	1996	0,80	1996	11,81	2002	26,27

Priedas Nr. 2. Upių vidutinio vasario-gegužės debito vandeningumo pasiskirstymas, pagal tikimybes.

Eil. Nr.	Tikimybė	Minijos upės debitai		Jūros upės debitai		Dubysos upės debitai		Lėvens upės debitai		Žeimenos upės debitai		Merkio upės debitai	
	p, %	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas
1	2,2	1995	33,00	1994	43,23	1995	22,37	1994	5,42	1994	43,19	1994	60,90
2	5,4	2002	32,96	2002	42,30	2002	18,52	2010	5,02	1995	37,51	1995	49,13
3	8,6	1994	30,15	2011	41,42	1994	18,04	1995	4,91	1999	34,57	1999	44,99
4	11,8	1998	27,82	2016	40,48	1992	16,24	1998	4,51	1991	32,28	2004	44,76
5	15,0	1997	26,52	1995	37,69	2011	15,25	1992	4,11	1990	32,20	2011	44,53
6	18,2	1992	26,47	1998	36,23	2008	15,18	2008	3,78	2010	31,95	2008	44,44
7	21,3	2016	25,71	2000	33,79	1998	14,63	1999	3,51	2005	31,52	2017	43,70
8	24,5	2000	24,95	2008	33,27	2010	13,97	2016	3,45	2011	31,34	2018	43,45
9	27,7	2008	24,94	2010	32,97	2013	13,67	1989	3,38	1998	30,97	2010	42,99
10	30,9	2011	23,79	2004	29,97	2018	12,71	2013	3,38	2013	30,43	2002	42,55
11	34,1	1990	21,87	2017	29,72	2000	12,63	2011	3,21	2002	30,30	2013	42,42
12	37,3	1989	21,67	1989	28,61	1999	12,52	2015	3,02	2018	30,30	2005	42,31
13	40,4	1999	21,63	1996	28,24	2005	12,47	1997	2,96	1988	28,76	1988	41,24
14	43,6	2012	20,92	1997	27,19	1990	12,21	2009	2,91	1989	28,19	2007	39,84
15	46,8	2010	20,64	2013	26,85	2016	12,02	2017	2,83	2017	28,17	2012	38,73
16	50,0	2007	20,08	2007	26,06	1988	11,93	1990	2,82	2008	27,76	2016	37,68
17	53,2	2015	19,87	2012	24,83	1996	11,50	1991	2,76	2004	27,62	1989	37,32
18	56,4	2004	18,70	2005	24,71	2004	11,26	2012	2,69	1992	27,18	2000	37,01
19	59,6	2017	18,15	2001	24,51	1993	10,92	2007	2,55	2007	27,15	1993	36,78
20	62,7	1996	18,05	1992	24,43	2017	10,88	1993	2,47	1997	26,32	1991	35,85
21	65,9	2005	17,56	1999	24,40	2007	10,72	2018	2,25	2012	24,66	2006	35,73
22	69,1	2013	17,16	1988	24,08	2012	10,58	1996	2,19	1993	23,66	1998	34,91
23	72,3	1991	16,44	2015	22,53	1991	10,56	2002	2,10	2000	23,47	1990	34,54
24	75,5	2009	16,32	1993	21,12	1989	10,40	1988	1,97	2016	23,01	2014	34,40
25	78,7	1993	14,92	2009	20,66	1997	10,39	2014	1,95	2001	22,97	2015	34,29
26	81,8	2001	14,34	1990	19,37	2015	10,04	2005	1,72	2014	21,53	1996	33,15
27	85,0	1988	13,65	2018	18,71	2001	10,01	2001	1,65	1996	21,38	2009	32,15

Eil. Nr.	Tikimybė	Minijos upės debitai		Jūros upės debitai		Dubysos upės debitai		Lėvens upės debitai		Žeimenos upės debitai		Merkio upės debitai	
	p, %	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas	Metai	Debitas
28	88,2	2014	13,14	2006	18,11	2014	9,25	2004	1,46	2015	20,72	1992	31,87
29	91,4	2018	12,92	2014	16,58	2009	8,29	2000	1,34	2006	18,07	2001	31,43
30	94,6	2006	11,97	1991	13,58	2003	6,41	2006	1,28	2003	16,13	1997	30,59
31	97,8	2003	11,75	2003	13,10	2006	5,16	2003	0,89	2009	14,66	2003	29,97

Priedas Nr. 3. Upių vidutinio maksimalaus debito vandeningumo pasiskirstymas, pagal tikimybes.

Eil. Nr.	Tikimybė	Minijos upės debitai		Jūros upės debitai		Dubysos upės debitai		Lėvens upės debitai		Žeimenos upės debitai		Merkio upės debitai	
	p, %	Data	Debitas	Data	Debitas	Data	Debitas	Data	Debitas	Data	Debitas	Data	Debitas
1	2,2	1994-03-25	270	1994-03-25	394	1988-04-02	88	2010-03-23	36	1994-04-05	86	1994-03-28	165
2	5,4	1998-02-13	177	1998-02-13	305	2013-04-12	73	1994-04-05	30	2010-03-25	60	1988-04-03	152
3	8,6	1995-02-08	155	2010-03-22	281	2010-03-23	70	2013-04-12	29	2013-04-12	54	1999-03-09	145
4	11,8	2002-03-01	142	1995-02-08	278	1994-03-15	67	1999-03-08	21	2005-04-19	53	2013-04-12	113
5	15,0	2010-03-22	139	1993-03-19	258	1996-04-12	63	2009-04-02	20	1999-04-04	51	2010-03-25	109
6	18,2	2016-02-01	135	1996-04-12	246	2002-02-01	63	1998-04-10	17	1990-03-14	48	2006-04-07	95
7	21,3	1989-03-26	128	2000-03-08	226	2004-03-26	54	1996-04-12	14	1988-04-08	46	1996-04-13	92
8	24,5	1999-03-07	128	1988-04-01	224	1995-02-08	53	1992-02-17	14	2011-02-25	45	2004-03-24	84
9	27,7	1996-04-12	122	2002-02-02	213	2005-04-09	49	1995-03-09	13	1995-03-09	44	2018-03-17	83
10	30,9	2000-02-10	121	2016-02-01	206	1999-03-08	48	1988-04-02	12	2004-03-24	44	2011-02-11	80
11	34,1	1993-03-19	116	1999-03-07	201	1993-03-18	44	2007-03-13	12	1991-03-25	43	2005-04-18	74
12	37,3	1997-02-14	111	2004-03-22	196	2008-02-01	44	1991-03-25	12	2017-03-12	43	2002-02-02	74
13	40,4	2001-02-14	108	1990-03-06	174	1990-03-07	44	2011-04-09	11	2002-02-16	42	2008-03-28	73
14	43,6	2011-02-09	108	1997-02-10	173	1998-04-09	40	2018-02-01	10	2018-03-15	42	2007-03-14	69
15	46,8	2004-03-17	101	2017-02-22	170	2011-02-09	40	2016-02-15	10	1998-03-10	39	2017-02-27	66
16	50,0	1991-02-26	99	2011-02-09	166	2000-03-09	38	1993-03-22	10	1996-04-13	37	1993-03-22	65
17	53,2	2013-02-02	97	2008-02-29	162	2018-03-14	36	2006-03-31	10	2008-03-18	36	1995-03-12	64
18	56,4	2017-02-24	96	2006-04-01	161	1991-02-26	36	2017-03-13	9	2012-03-27	35	2000-02-11	60
19	59,6	1990-03-05	94	1989-03-27	157	2007-03-20	35	1989-04-04	9	1992-04-02	35	1991-03-25	58
20	62,7	1992-02-17	89	2012-02-26	153	1997-02-11	35	2014-03-27	9	2007-03-20	35	2016-03-13	56
21	65,9	2007-03-19	86	2013-04-10	149	2006-04-02	34	2015-03-09	8	1997-03-20	33	2003-03-15	55
22	69,1	1988-04-01	77	1991-02-26	148	2016-02-01	34	1990-02-01	8	1989-02-01	33	2012-03-24	53
23	72,3	2008-03-08	76	2001-02-14	144	2017-03-02	31	2012-03-23	8	1993-04-03	31	2009-04-02	49
24	75,5	2012-03-03	76	2007-03-19	139	1992-03-28	30	1997-02-10	8	2000-03-22	30	1990-03-11	49
25	78,7	2006-04-01	76	2009-03-30	125	2001-02-10	29	2002-02-03	8	2001-04-18	30	1998-04-12	48
26	81,8	2018-02-02	66	2005-04-10	102	2009-04-02	29	2008-02-03	7	2016-03-14	29	1989-04-12	47
27	85,0	2015-03-04	64	1992-02-17	97	2012-03-04	27	2004-03-23	6	2006-04-17	28	2001-03-16	46

Eil. Nr.	Tikimybė	Minijos upės debitai		Jūros upės debitai		Dubysos upės debitai		Lėvens upės debitai		Žeimenos upės debitai		Merkio upės debitai	
	p, %	Data	Debitas	Data	Debitas	Data	Debitas	Data	Debitas	Data	Debitas	Data	Debitas
28	88,2	2009-03-30	63	2018-02-01	94	2015-04-04	26	2005-04-16	6	2014-03-27	26	2015-04-06	44
29	91,4	2005-03-28	57	2015-04-01	88	2014-03-28	24	2001-03-16	5	2015-04-21	23	2014-02-19	43
30	94,6	2003-03-13	49	2014-03-27	60	1989-03-27	21	2003-03-15	4	2003-04-23	22	1992-04-02	42
31	97,8	2014-03-27	45	2003-03-13	52	2003-03-13	17	2000-02-11	3	2009-04-11	19	1997-02-28	39

Priedas Nr. 4. Analizuojamų upių hidromoduliai.

Eil. nr.	Metai	Minijos hidromodulis		Jūros hidromodulis		Dubysos hidromodulis		Lėvens hidromodulis		Žeimenos hidromodulis		Merkio hidromodulis	
		Metinis vidurkis	Vasario–gegužės	Metinis vidurkis	Vasario–gegužės	Metinis vidurkis	Vasario–gegužės	Metinis vidurkis	Vasario–gegužės	Metinis vidurkis	Vasario–gegužės	Metinis vidurkis	Vasario–gegužės
1	1988	5,35	4,64	5,63	6,03	4,27	6,05	1,39	1,21	5,74	10,30	8,02	9,34
2	1989	6,39	7,37	5,71	7,16	3,90	5,27	1,46	2,07	6,37	10,09	7,36	8,45
3	1990	7,67	7,43	5,81	4,85	5,27	6,19	1,52	1,73	7,97	11,53	8,04	7,82
4	1991	6,65	5,59	4,83	3,40	4,51	5,36	1,15	1,70	6,84	11,56	6,36	8,12
5	1992	5,84	9,00	4,03	6,12	4,09	8,23	1,19	2,52	5,61	9,73	6,68	7,22
6	1993	4,30	5,07	5,38	5,29	3,54	5,54	0,90	1,51	5,45	8,47	8,72	8,33
7	1994	6,53	10,25	6,58	10,82	5,07	9,15	1,59	3,33	7,22	15,46	9,65	13,79
8	1995	6,30	11,22	5,26	9,44	5,68	11,34	1,15	3,01	6,14	13,43	6,91	11,12
9	1996	3,24	6,14	3,23	7,07	2,92	5,83	0,49	1,34	4,23	7,66	6,07	7,51
10	1997	6,38	9,01	4,81	6,81	3,46	5,27	1,02	1,82	4,79	9,42	6,02	6,93
11	1998	8,51	9,46	8,31	9,07	6,24	7,42	1,88	2,77	6,18	11,09	7,31	7,90
12	1999	6,22	7,35	5,28	6,11	4,30	6,35	1,11	2,15	5,54	12,38	7,11	10,19
13	2000	4,51	8,48	4,58	8,46	3,61	6,40	1,82	0,82	4,76	8,40	6,68	8,38
14	2001	6,19	4,87	6,15	6,14	4,56	5,08	2,31	1,01	6,48	8,22	6,65	7,12
15	2002	6,46	11,20	6,10	10,59	4,94	9,39	2,17	1,29	6,53	10,85	5,95	9,64
16	2003	3,91	3,99	3,55	3,28	2,46	3,25	1,58	0,55	5,03	5,77	9,41	6,79
17	2004	5,36	6,36	6,52	7,50	4,80	5,71	2,51	0,89	8,17	9,89	8,04	10,14
18	2005	5,10	5,97	5,02	6,19	3,70	6,32	2,09	1,06	8,76	11,29	9,06	9,58
19	2006	8,93	4,07	3,52	4,53	1,90	2,62	1,14	0,78	5,78	6,47	7,31	8,09
20	2007	6,26	6,83	8,62	6,53	6,49	5,44	1,22	1,56	6,88	9,72	8,08	9,02
21	2008	4,38	8,48	6,10	8,33	4,33	7,70	1,04	2,32	6,13	9,94	7,68	10,06
22	2009	5,78	5,55	4,97	5,17	3,03	4,20	0,99	1,79	5,26	5,25	7,02	7,28
23	2010	7,98	7,02	6,10	8,26	5,43	7,08	1,43	3,08	9,42	11,44	8,70	9,74
24	2011	6,93	8,09	8,74	10,37	5,12	7,73	1,09	1,97	7,81	11,22	8,06	10,08

Eil. nr.	Metai	Minijos hidromodulis		Jūros hidromodulis		Dubysos hidromodulis		Lėvens hidromodulis		Žeimenos hidromodulis		Merkio hidromodulis	
		Metinis vidurkis	Vasario–gegužės	Metinis vidurkis	Vasario–gegužės	Metinis vidurkis	Vasario–gegužės	Metinis vidurkis	Vasario–gegužės	Metinis vidurkis	Vasario–gegužės	Metinis vidurkis	Vasario–gegužės
25	2012	5,30	7,11	6,61	6,22	4,61	5,36	1,23	1,65	8,42	8,83	7,40	8,77
26	2013	4,11	5,83	5,73	6,72	4,93	6,93	1,01	2,07	8,16	10,90	7,72	9,61
27	2014	4,11	4,47	3,13	4,15	3,23	4,69	0,72	1,20	6,02	7,71	6,79	7,79
28	2015	5,71	6,75	4,38	5,64	3,12	5,09	0,97	1,85	5,51	7,42	6,52	7,76
29	2016	6,12	8,74	6,63	10,14	4,43	6,10	1,30	2,12	6,05	8,24	7,56	8,53
30	2017	8,16	6,17	8,11	7,44	5,73	5,51	1,77	1,74	10,17	10,09	9,56	9,90
31	2018	3,35	4,39	3,63	4,68	3,60	6,45	0,82	1,38	7,66	10,85	7,56	9,84