

# Klimato kaitos įtakos Lietuvos vandens ištekliams tyrimai

---

Jūratė Kriaučiūnienė,

Brunonas Gailiušis,

Diana Šarauskienė,

Darius Jakimavičius,

Aldona Jurgelėnaitė,

Diana Meilutytė-Lukauskienė,

Vytautas Akstinas,

Aldona Tomkevičienė,

Valdas Irbinskas

*Lietuvos energetikos institutas,  
Hidrologijos laboratorija,  
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas  
El. paštas Jurate.Kriauciuniene@lei.lt*

1957 m. prie Hidrologijos laboratorijos vairo stojęs vienas garsiausių Lietuvos hidrologų prof. M. Lasinskas pradėjo vadovauti plataus masto Lietuvos vandens telkinių tyrimams. Atlikta daug įvairaus pobūdžio studijų, publikuotos svarbios monografijos. Pastaraisiais dešimtmečiais laboratorijos tyrimų objektai išlieka tie patys, tačiau keičiasi tyrimų problematika, turima daugiau hidrologinių duomenų ir taikomi modernūs tyrimo metodai. Straipsnyje pateiktas Lietuvos energetikos instituto Hidrologijos laboratorijos indėlis hidrologijos mokslo raidai, aprašyti reikšmingiausi pastarojo dešimtmečio darbai, susiję su klimato kaitos įtaka Lietuvos vandens telkinių (upių ir Kuršių marių) ištekliams. Taip pat ištirti Lietuvos upių nuotėkio ir Kuršių marių balanso elementų pokyčiai praityje, statistiniais metodais nustatyti upių nuotėkio ir jo ekstremalių reikšmių pokyčiai, pateikta Nemuno baseino, apimančio 75 % Lietuvos teritorijos, upių nuotėkio prognozė, naudojant hidrologinį modelį HBV ir 2 globalius klimato modelius (Echam5 ir HadCM3) bei 3 emisijų scenarijus (A2, A1B, B1), ir įvertinti Kuršių marių vandens balanso pokyčiai XXI a.

**Raktažodžiai:** klimato kaita, upės, Kuršių marios, statistiniai metodai, hidrologinis modeliavimas

---

## IVADAS

Kalbant apie hidrologijos mokslo raidą šalyje reikia prisiminti, kaip Lietuvos energetikos instituto (LEI) mokslo darbuotojai prisidėjo prie šio proceso. 1957 m. Energetikos ir elektrotechnikos instituto Hidroenergetikos laboratorijoje, kuriai vadovavo prof. M. Lasinskas, pradėti plataus masto Lietuvos vandens telkinių tyrimai. Vadovaujant profesoriui buvo tiriamos upių baseinų nuotėkio skaičiuojamosios charakteristikos (vidutiniai metiniai debitai, maksimalūs ir minimalūs debitai, nuotėkio pasiskirstymas per metus), nuotėkio formavimosi ir svyravimų charakteristikos, šalies upių tinklo lyginamasis tankis. Hidrologijos labo-

ratorijoje atliktas Lietuvos teritorijos hidrologinis rajonavimas, tirti paviršinių ir požeminių vandenų ryšiai, vandens balansas ir jo dinamika. Šių tyrimų pagrindu 1962 m. paskelbta Lietuvos upių kadastro 3-oji dalis (autoriai J. Jablonskis, M. Lasinskas) [1]. Šioje knygoje pateikta daug naujų duomenų apie upių hidrografinius ir hidroenergetinius rodiklius. Pažymint kadastrinių darbų reikšmę sprendžiant mokslo plėtros ir vandens ūkio klausimus, autoriams M. Lasinskui, J. Burneikiui, J. Jablonskiui ir J. Macevičiui 1965 m. paskirta Lietuvos valstybinė mokslo ir technikos premija.

Profesoriaus vadovaujama laboratorija tyrė ne tik hidroelektrinių darbo režimus, bet ir hidroakumuliacijos galimybes Lietuvoje. Šiais tyrimais

nustatytos tinkamiausios vietos hidroakumuliacinoms elektrinėms statyti. Hidrologijos laboratorija aktyviai dalyvavo rengiant rekomendacijas bei renkant vietą branduolinei jėgainei. Numačius statyti branduolinę jėgainę prie Drūkšių ežero, laboratorijai iškilo naujų uždavinių – tirti branduolinės jėgainės tvenkinio aušinimo galimybes, prognozuoti, kaip pasikeis ežero vandens balansas, jo šiluminės savybės, kokią įtaką pašildyto vandens telkinys turės aplinkai. Paskutinis didesnis profesoriaus darbas – 1994 m. išspausdinta bibliografija, kurioje aptarta apie 1 300 literatūros šaltinių vien apie Lietuvos upių nuotėkį [2].

Nuo paskutiniųjų Lietuvos upių nuotėkį vertinančių darbų praėjo 30 metų. Per tą laiką sukaupti nauji mokslo duomenys labiau atspindi daugiamečių kaitą ir tiksliau aprašo nuotėkio teritorinį pasiskirstymą. Ypač svarbu buvo parengti naujus nuotėkio skaičiavimo metodus. Šios krypties darbai paskelbti monografijoje „Lietuvos upės. Hidrografija ir nuotėkis“ (2001 m.) [3]. Monografijoje nagrinėjami hidrografinio tinklo rodikliai ir struktūra, taip pat apibendrinti 160-ies Lietuvos hidrometrijos stočių nuotėkio stebėjimų duomenys bei išanalizuotos svarbiausių upių nuotėkio hidrologinio režimo charakteristikos. Lietuvos mokslo premijų komitetas 2002 m. Hidrologijos laboratorijos mokslininkams Brunonui Gailiūšiui, Jonui Jablonskiui ir Mildai Kovalenkovienei už darbų ciklą „Lietuvos paviršiniai vandens ištekliai, jų kaita ir naudojimas energetikai bei jūrų transportui“ (1980–2001 m.) suteikė Lietuvos mokslo premiją.

Pastaruoju metu dažnai kalbama apie klimato kaitos poveikį hidrologiniams procesams ir vandens ištekliais. Kyla klausimas, ar besikeičiantis klimatas gali turėti įtakos ekstremaliems hidrologiniams reiškiniams ateityje. Ekstremalūs potvyniai ir sausros yra retai pasikartojantys įvykiai, ir hidrologai neturi galimybės surinkti pakankamai duomenų apie katastrofas. Norint išvengti ekstremalių hidrologinių reiškinių padaromos žalos ar ją sušvelninti, būtina surinkti visą įmanomą informaciją apie šiuos reiškinius bei juos sukeliančius veiksnius, gautus duomenis susisteminti, išanalizuoti bei panaudoti ekstremalioms situacijoms įvertinti.

Ekstremalių hidrologinių reiškinių (potvynių ir nuosėkio) tyrimai yra aktualūs projektuojant ir eksploatuojant tvenkinius, polderius, tiltus ir

pralaidas, taip pat potvynių rizikai valdyti bei planuoti, siekiant išvengti žmonių aukų bei materialinės žalos. Tokių priemonių parengimas Lietuvos upėms pagrįstas upių nuotėkio stebėjimais, jų analize bei skaitmeniniu modeliavimu. Hidrologijos laboratorijoje išanalizuotos Lietuvos upių ekstremalių hidrologinių reiškinių formavimosi sąlygos ir įvertinta daugiamečių upių nuotėkio ekstremalių parametrų kaita, atlikta šių reiškinių prognozė pagal naujausius klimato kaitos scenarijus XXI a. Šiandien vienas svarbiausių uždavinių, susijusių su ekstremalių hidrologinių reiškinių keliamais pavojais Lietuvoje, yra saugi hidrotechninių statinių eksploatacija bei naujų statinių projektavimas atsižvelgiant į besikeičiančias klimato sąlygas ir kintantį upių vandeningumą, siekiant visiškai bei visapusiškai įvertinti pavojų ir užtikrinti pavojingo objekto saugą [4].

Pastarąjį dešimtmetį Hidrologijos laboratorijoje buvo sukurta originali nuotėkio kaitos, potvynių ir poplūdžių bei nuosėkio vertinimo per daugiamečių laikotarpį metodika (statistiniai metodai). Upių nuotėkio kaita ir Kuršių marių balanso elementai (krituliai, išgaravimas, upių prietaka, vandens apykaita tarp marių ir jūros) prognozuoti taikant klimato kaitos modelius ir hidrologinį modeliavimą. Taip pat sudaryta tyrimams reikalinga hidrologinių ir meteorologinių duomenų bazė. Hidrologijos laboratorijoje išanalizuoti upių nuotėkio bei jo ekstremalių reiškinių (potvynių ir sausmečio) pokyčiai klimato kaitos fone, įvertinta potvynių ir sausmečio pavojaus rizika įvairiose aplinkose ir veiklose (gamtos apsauga, vandens išteklių naudojimas, energetika). Išanalizuoti tikėtini Kuršių marių vandens balanso pokyčiai XXI a. Pagrindiniai atliktų darbų rezultatai paskelbti aukšto mokslinio lygio leidiniuose, dažnai kartu su užsienio ir kitų Lietuvos mokslo įstaigų kolegomis [5–12].

Straipsnio tikslas – apžvelgti pastaraisiais metais vykdytus svarbiausius LEI Hidrologijos laboratorijos darbus, susijusius su besikeičiančio klimato įtaka Lietuvos vandens ištekliais – upių nuotėkio režimui bei Kuršių marių balansui.

## METODIKA

Statistiniais metodais nustatyti jau įvykę upių nuotėkio pokyčiai, ypač atkreipiant dėmesį į hidrologinius ekstremumus (potvynių ir nuosėkio

debitus). Kuršių marių vandens balansas apskaičiuotas vandens balanso metodu. Prognozuotas Nemuno baseino, apimančio 75 % Lietuvos teritorijos, upių nuotėkis naudojant hidrologinį modelį ir 2 globalius klimato modelius bei 3 emisijų scenarijus. Įvertinti Kuršių marių vandens balanso pokyčiai XXI a. pagal 3 jūros lygio ir jau minėtus klimato kaitos scenarijus.

### Statistiniai upių nuotėkio kaitos analizės metodai

**Trendų analizė.** Trendas yra kryptingas tiriamojo rodiklio pokytis. Upių nuotėkio bei jo ekstremalių reikšmių trendai analizuoti naudojant labai plačiai taikomą statistinės analizės neparametrinį Mann-Kendall testą. Šis testas taikomas tiek tiesiniams, tiek netiesiniams trendams aprašyti. Jį rekomenduoja Pasaulio meteorologijos organizacija [13] meteorologinių ar hidrologinių charakteristikų kaitos trendams įvertinti. Šiuo metodu nustatomi teigiami arba neigiami tiriamosios charakteristikos trendai (30 % patikimumo lygmuo) ir reikšmingi teigiami arba neigiami trendai (5 % patikimumo lygmuo), kurie pateikiami diagramose, o nustatytų trendų skaičius sumuojamas ir išreiškiamas procentais nuo tiriamųjų stočių skaičiaus. 5 ir 30 % patikimumo lygmens trendai pavaizduoti kartografinėse schemose, jos suteikia galimybę vertinti nustatytų trendų pasiskirstymo teritorijoje dėsningumus. Toks rezultatų pateikimas ypač svarbus lyginant įvairiose šalyse atliktus tyrimus. Taikant trendų analizę, įvertinta Lietuvos upių ekstremalių hidrologinių reiškinų daugiametė kaita.

**Tikimybiniai ekstremalių hidrologinių reiškinų dažnumo vertinimo metodai.** Nuotėkio ekstremalių reiškinų rizikai vertinti taikyta dažnumo analizė, kurios tikslas – susieti tiriamųjų įvykių dydį su jų pasikartojimo dažnumu naudojant tikimybinis skirstinius. Pasirinktos tikimybės potvyniams upėse prognozuoti naudoti metiniai maksimalių debitų stebėjimo duomenys, skaičiuojant tokius statistinius rodiklius kaip vidurkiai, standartiniai nuokrypiai, asimetrija ir pasikartojimo intervalai. Prognozuojant nuotėkio minimalius debitus naudoti metiniai minimalių debitų stebėjimo duomenys. Vėliau šie statistiniai duomenys buvo naudojami dažnumo skirstiniams sudaryti. Projektuojant hidrotechninius statinius, atsižvelgiant į statinio klasę, yra

naudojamos atitinkamų tikimybių hidrologinių charakteristikų projektinės reikšmės. Šias reikšmes reikėtų kuo tiksliau įvertinti, nes apskaičiuojant mažesnius maksimalius debitus padidėtų hidrotechninių statinių griūtės rizika, o pervertinus debitus – išaugtų statybos kaina. Upių ekstremalių nuotėkio reikšmių tikimybinei analizei buvo pasirinkti trijų parametru Gama (Pirsono III tipo) (G3), logaritminis Pirsono III tipo (LP3), Gumbelio (EV1), Veibulo (W2) ir apibendrintųjų ekstremalių reikšmių (GEV) tikimybiniai skirstiniai. Parametrus vertinti naudoti momentų, L-momentų bei didžiausio tikėtumo metodai. Tinkamiausi skirstiniai atrinkti Kolmogorovo-Smirnovo ir Andersono-Darlingo testų dėka. Tyrimui naudota EasyFit (sukurta MathWave Technologies) programa.

### Nemuno hidrologinio modelio sudarymas ir upių nuotėkio modeliavimas

Lietuvos upių nuotėkis prognozuotas pagal ECHAM5 (Makso Planko meteorologijos institutas) ir HadCM3 (Jungtinės Karalystės Hadley klimato tyrimų ir prognozių centras) globalių klimato kaitos modelių išvesties duomenis ir tris šiltnamio reiškinį sukeliančių dujų emisijų scenarijus. Modeliuojant dažniausiai naudojami trys emisijų scenarijai: pesimistiškiausias (A2), vidutinis ir labiausiai tikėtinas (A1B) bei švelniausias (B1). Upių nuotėkiui prognozuoti taikytas Švedijos meteorologijos ir hidrologijos institute sukurtas HBV modelis. Šiuo modeliu skaičiuojamas bendras upių baseino vandens balansas. Pagrindinė HBV lygtis yra [14]:

$$P - E - Q = \frac{d}{dt} [SP + SM + UZ + LZ + V]; \quad (1)$$

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

Upių nuotėkis skaičiuojamas 3 etapais: 1) žemės paviršių pasiekiančių kritulių kiekio nustatymas; 2) šlaitų nuotėkio apskaičiavimas; 3) vagų nuotėkio bei nuotėkio transformacijos įvertinimas.

Kuriamojo hidrologinio modelio tikslas – sumodeliuoti Nemuno baseino nuotėkį 2011–2100 m. laikotarpiui, todėl visų pirma reikia

apibrėžti modeliuojamojo baseino ir pabaseinių teritoriją apibūdinančią geografinę informaciją: baseinų bei pabaseiniuose esančių miškų ir ežerų plotus, taip pat vidutinius baseinų aukščius virš jūros lygio.

Kuriant Nemuno baseino hidrologinį modelį buvo surinkta informacija apie paros vidutinius debitus (hidrologiniai duomenys) iš Nemuno baseine esančių vandens matavimo stočių (VMS), paros kritulių sumą bei vidutinę paros oro temperatūrą (meteorologiniai duomenys) iš meteorologinių stočių (MS). Kuriant Nemuno modelį buvo panaudoti debitai iš 10 VMS bei oro temperatūra ir krituliai iš 14 MS.

Hidrologiniam modeliui kalibruoti naudojama 16 parametrų, kurie priklauso nuo vietinių sąlygų ir yra skirtingi atskiroms geografinėms sritims. Nuo teisingo kalibravimo parametrų parinkimo priklauso rezultatų patikimumas. Modeliui sudaryti panaudota 1961–1990 m. laikotarpio, kuris pagal PMO yra laikomas klimato norma, hidrometeorologinė informacija [15]. Modeliui kalibruoti pasirinktas 1961–1975 m. laikotarpis, o validuoti – 1976–1990 m. laikotarpis. Kalibruojant Nemuno hidrologinį modelį vertinama, kaip išmatuotas debitas sutampa su apskaičiuotu debitu keičiant kalibruojamų parametrų reikšmes. Atlikus kalibravimą, vizualiai palyginti sumodeliuoto ir apskaičiuoto nuotėkio hidrografai (1 pav.). Tarp sumodeliuoto ir apskaičiuoto nuotėkio kalibracijos metu koreliacijos koeficientas yra  $R = 0,88$ . Naudojant tuos pačius (jau sukalibruotus) parametrus, modeliuojama 1976–1990 m. Nemuno prietaka. Atli-

kus modelio validaciją, sumodeliuotas Nemuno nuotėkis žiotyse palyginamas su apskaičiuotu ( $R = 0,84$ ). Atsižvelgiant į gautus modelio kalibravimo bei validacijos rezultatus galima teigti, kad modelis visiškai paruoštas prognozuoti Nemuno prietaką XXI a. pagal įvairius klimato kaitos scenarijus.

### Kuršių marių vandens balanso skaičiavimo metodikos sudarymas

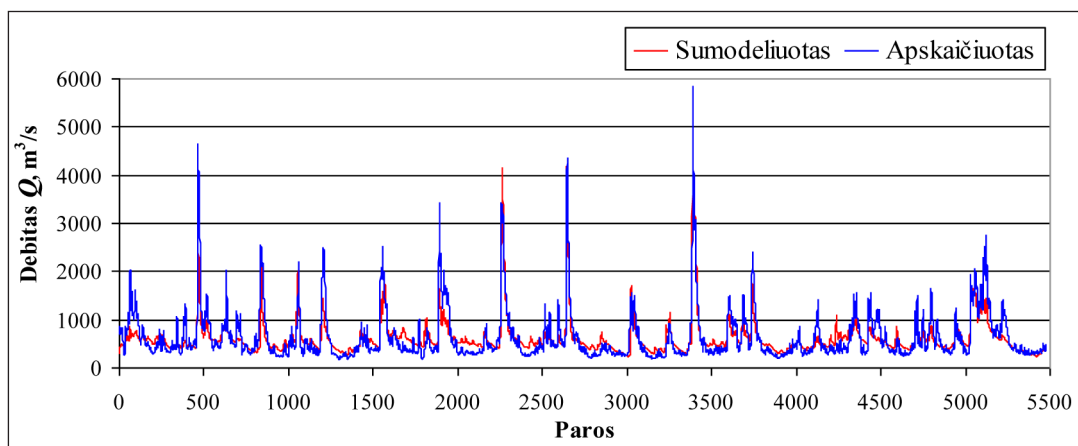
Kuršių marių vandens balansas apskaičiuotas pagal lygtį:

$$(Q_U + P - Z) + (Q_I - Q_M) = \pm \Delta V; \quad (2)$$

čia:  $Q_U$  – upių prietaka į Kuršių marias ( $\text{km}^3$ ),  $P$  – krituliai ant Kuršių marių paviršiaus ( $\text{km}^3$ ),  $Z$  – išgaravimas iš Kuršių marių ( $\text{km}^3$ ),  $Q_I$  – prietaka iš Baltijos jūros į Kuršių marias ( $\text{km}^3$ ),  $Q_M$  – nuotėkis iš Kuršių marių į Baltijos jūrą ( $\text{km}^3$ ),  $\Delta V$  – Kuršių marių tūrio pokytis ( $\text{km}^3$ ).

**Upių prietaka** skaičiuota paros žingsniu. Jai suskaičiuoti sukurta metodika naudojant tiesioginius VMS duomenis ir analogijos metodus, skirtus nustatyti nuotėkiui iš tų baseino dalių, kuriose nuotėkis nematuojamas. Debitas iš stočių, kuriose matuojami debitai, perskaičiuojamas upės žiotims ir iš žiočių perskaičiuojamas marioms (įvertinus atitekėjimo laiką). Upių baseinų plotai bei reikiami hidromoduliai paimti iš monografijos [3].

**Krituliai ir išgaravimas.** 1961–2007 m. Lietuvos teritorijoje krituliai matuoti Klaipėdos, Nidos ir Ventės MS. Suminis kritulių kiekis skaičiuotas mėnesio laikotarpiui taikant Tyseno poligonų



1 pav. Sumodeliuoto ir apskaičiuoto debito ties Nemuno žiotimis palyginimas modelio kalibravimo laikotarpiu (1961–1975 m.)



metodą [16], kuriuo įvertinta kiekvienai stočiai priskirta teritorija. Tiesioginių išgaravimo duomenų nuo marių vandens paviršiaus nėra, todėl jis skaičiuojamas pagal empirines formules, pagrįstas hidrometeorologiniais elementais.

**Tūrio pokytis.** Norint apskaičiuoti kiekvienos paros marių vandens tūrio pokytį, reikia turėti kiekvienos paros vidutinį marių vandens lygį bei upių prietaką. Marių vandens lygių svyravimams įvertinti pasirinkta Juodkrantės hidrologinė stotis. Turėdami vidutinį marių vandens lygį, apskaičiuojame lygio pokytį tarp gretimų parų visu tiriamuoju laikotarpiu. Pagal marių vandens paviršiaus ploto priklausomumą nuo vandens lygio [17], naudojant Juodkrantės vandens lygį kaip vidutinį marių lygį, apskaičiuotas kiekvienos paros vidutinis marių paviršiaus plotas. Apskaičiavus kiekvienos paros vandens lygio pokytį ( $\Delta H$ ) ir turint kiekvienos paros marių vandens paviršiaus plotą, galime apskaičiuoti marių tūrio pokytį, išreikštą debitu ( $m^3/s$ ). Turėdami kiekvienos paros marių tūrio pokyčius ir suminę upių prietaką, galime apskaičiuoti apykaitos debitus tarp jūros ir marių, todėl iš tūrio pokyčio atimame suminę upių prietaką. Jei debitas neigiamas, tai vanduo teka iš Kuršių marių į Baltijos jūrą, o jei teigiamas – priešinga kryptimi.

Vidutinio daugiamečio vandens balanso skaičiavimo tikslumas priklauso nuo kiekvieno nario suskaičiavimo tikslumo. Jeigu gautas balanso nesąryšis yra lygus arba mažesnis už suminę paklaidą  $\delta$ , galima teigti, kad apskaičiuotas vandens balansas yra pakankamai tikslus.

### Kuršių marių vandens balanso prognozės sudarymo 2011–2040, 2041–2070 ir 2071–2100 m. metodika

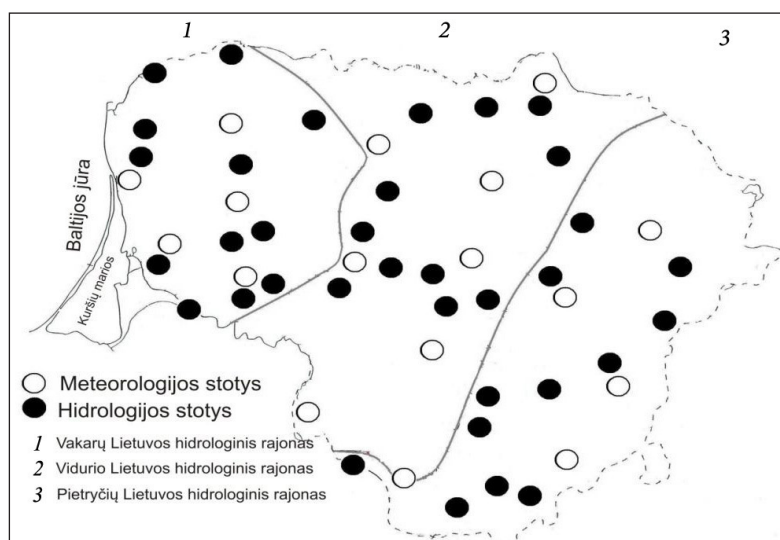
Prognozuojamas Kuršių marių vandens balansas skaičiuotas vadovaujantis analogiška metodika bei taikant tą pačią vandens balanso lygtį kaip ir 1961–2007 m. laikotarpiu. Skaičiuojant upių prietaką naudoti Nemuno hidrologinio modelio išvesties duomenys. Kritulių kiekis bei išgaravimas 2011–2100 m. skaičiuotas pagal tas pačias MS, kaip ir 1961–2007 m. laikotarpiu, tačiau naudojant ECHAM5 ir HadCM3 globalių klimato modelių išvesties duomenis pagal A2, A1B ir B1 šiltnamio dujų emisijų scenarijus. Išgaravimui apskaičiuoti taikytas Thornthwait metodas, naudojant oro temperatūros ir saulės šviesos duomenis. Tūrio pokytis (vandens apykaita Klaipėdos sąsiauriu) vertintas naudojant Kuršių marių vandens lygio duomenis ties Juodkrante, įvedant pataisas pagal tris marių lygio kilimo scenarijus. Pagal pirmąjį scenarijų marių lygis kyla 0,87 mm/m., pagal antrąjį – 4,02 mm/m. ir pagal trečiąjį – 4,65 mm/m.

### UPIŲ NUOTĖKIO IR JO EKSTREMALIŲ REIKŠMIŲ DAUGIAMETĖS KAITOS VERTINIMAS

#### Lietuvos upių metų ir sezonų nuotėkio kaitos trendai

Mann-Kendall testas padėjo analizuoti metų, sezonų ir nuosėkio periodų minimalius debitus [18]. Tyrimai buvo atlikti naudojant 1922–2003 m. nuotėkio duomenis iš 32 VMS (2 pav.).

2 pav. Lietuvos hidrologinės sritys, vandens matavimo ir meteorologijos stotys



Tiriamasis laikotarpis suskirstytas į tris dalis: 1922–2003, 1941–2003 ir 1961–2003 m. Tirtųjų nuotėkio charakteristikų pagal Mann-Kendall testą nustatytų reikšmingų (5 % reikšmingumo lygmuo) trendų suminė statistika pateikta 3 pav.

Iš 3 pav. matyti, kad analizuojant ilgiausią 1922–2003 m. laikotarpį reikšmingi neigiami trendai, t. y. nuotėkio mažėjimas nustatytas metų, pavasario, vasaros ir rudens sezonais, o žiemos nuotėkis didėja. Dauguma VMS rodo pavasario maksimalių debitų ( $Q_{max}$ ) mažėjimą ir ankstėjimą ( $Q_{data}$ ). Analizuojant 1941–2003 m. laikotarpį vyrauja tos pačios tendencijos. Nuotėkio pokyčių trendai trumpiausiu 1961–2003 m. laikotarpiu rodo, kad išlieka ryški žiemos nuotėkio didėjimo tendencija, pavasario nuotėkio ir maksimalių debitų mažėjimo bei ankstėjimo tendencija. Per visą laikotarpį mažiausi pokyčiai yra būdingi rudens ir vasaros sezonams.

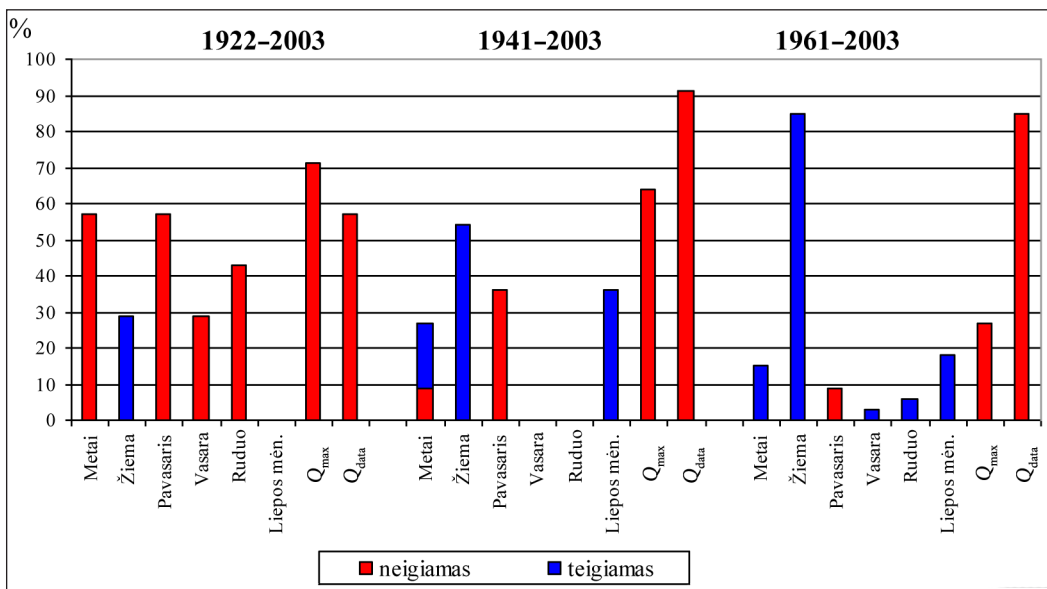
Tiek potvynių, tiek nuosėkių eiga priklauso nuo vietovės klimato sąlygų, todėl jų analizė buvo atlikta atskiroms hidrologinėms sritims – Vakarų, Vidurio ir Pietryčių, besiskiriančioms upių maitinimo pobūdžiu ir hidrologiniu režimu (2 pav.) [3].

Maksimalių debitų ir jų datų kaitos tendencijų analizė 29 pasirinktose upėse atlikta pagal Mann-Kendall testą trimis laikotarpiais (1922–2012, 1941–2012, 1961–2012) [19]. Nustatyta vienareikšmiška maksimalių debitų datų kaitos ten-

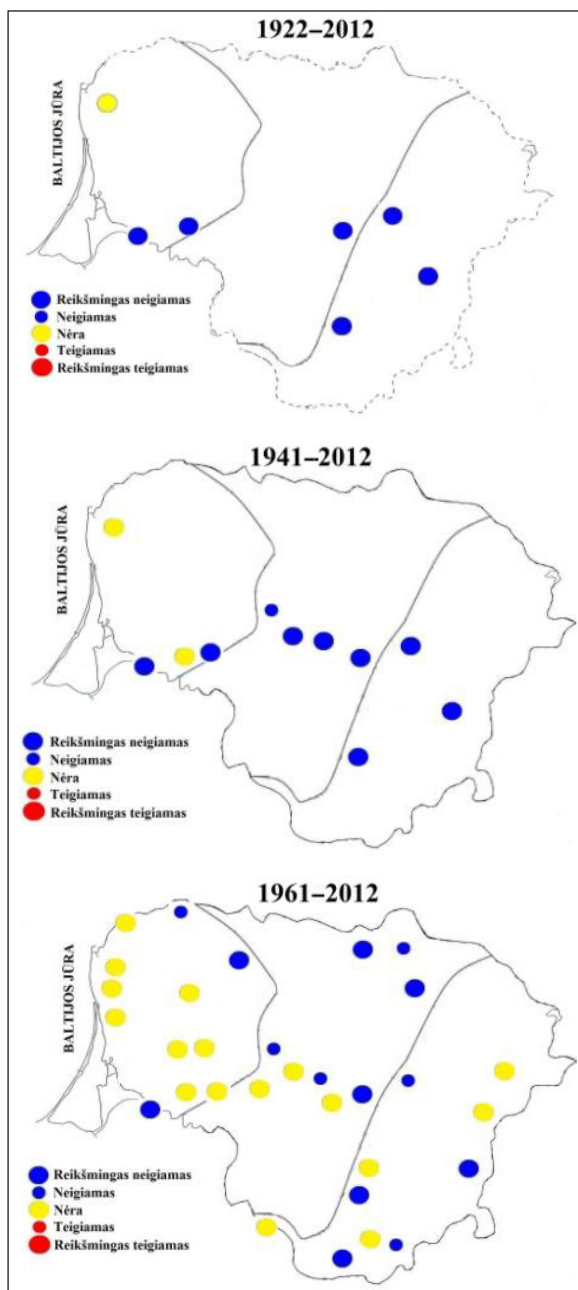
dencija visose trijose hidrologinėse srityse: pagal trijų skirtingų trukmių duomenų sekas potvynių maksimalūs debitai stebimi vis anksčiau, visoje Lietuvos teritorijoje nustatyti neigiami ir reikšmingai neigiami trendai. Maksimalių debitų dydžių kaitos tendencijos šiek tiek skirtingos (4 pav.). Vakarų Lietuvos upėse per du pirmuosius analizuojamuosius laikotarpius (1925–2012 ir 1941–2012 m.) trendų nebuvo arba buvo reikšmingai neigiami. Analizuojant 1961–2012 m. laikotarpio duomenis nustatyta, kad Vakarų Lietuvoje pagal daugumos VMS duomenis maksimalių potvynių kaitos trendai yra nereikšmingi. Vidurio ir Pietryčių Lietuvos hidrologinėse srityse maksimalių debitų kaitos trendai per visus laikotarpius daugiausiai yra neigiami arba reikšmingai neigiami, tai reiškia, kad maksimalūs potvynio debitai mažėja.

Lietuvos upėse pasibaigus pavasario potvynio bangai, kai intensyvus debitų mažėjimas pereina į palyginti pastovius mažus debitus, prasideda gana ilgas nuosėkio periodas, kuris baigiasi prasidėjus rudeninėms liūtims. Tyrimams naudota viena svarbiausių nuosėkio laikotarpio charakteristikų – 30 saususių paeiliui einančių kalendorinių dienų vidutinis debitas ( $Q_{30}$ ).

Pagal ilgiausias duomenų sekas palyginus sausosio 30 d. laikotarpio pradžios datas iki 1960 m. ir nuo 1961 m. (nuo šio dešimtmečio klimatologai fiksuoja ryškias klimato kaitos tendencijas) nustatyta, kad įvyko esminis poslinkis iš birželio į



3 pav. Lietuvos upių metų ir sezonų nuotėkio reikšmingų trendų suminė (%) statistika



4 pav. Maksimalių debitų kaitos tendencijos Lietuvos teritorijoje

liepą ir rugpjūtį. Tai ypač būdinga Vakarų Lietuvos upėms.

Keturių pasirinktų laikotarpių Lietuvos upių sausiausio 30 parų laikotarpio nuotėkio analizė pagal Mann-Kendall testą atlikta panaudojant 29 hidrologinių stočių duomenis. 1922–2012 m. laikotarpiu minimalus nuotėkis analizuotas tik iš šešių hidrologijos stočių duomenų. Šiuo laikotarpiu Vidurio ir Pietryčių Lietuvoje trendų nenustatyta. Vakarų Lietuvoje, Minijos baseine, pastebėtas tei-

giamas trendas. Iš trumpesnio stebėjimų laikotarpio duomenų nustatyti reikšmingi teigiami trendai Nemuno baseine, tai reiškia, kad minimalus nuotėkis didėja.

#### Upių nuotėkio ekstremalių reikšmių kaitos tikimybinė analizė

Klimato pokyčių įtaka upių potvynių debitams susijusi su ekstremalių verčių analize. Turima stebėtų upės debitų eilutė suteikia informacijos apie konkretaus dydžio debito pasikartojimo empirinę tikimybę. Tais atvejais, kai reikia žinoti ekstremalių debitų pasikartojimo tikimybę, apie kuriuos stebėjimo duomenų nėra, atliekama ekstremalių verčių dažnumo analizė pasitelkiant teorinius tikimybinus skirstinius. Taip ekstrapoliuojamos debitų reikšmės, esančios už stebėjimo duomenų ribų.

Pasirinktų 29 Lietuvos upių pavasario potvynio maksimalių ir nuosėkio minimalių debitų reikšmių tikimybinei analizei naudoti metodikoje aprašyti tikimybiniai skirstiniai. Trijų sričių upių potvynio maksimalių debitų eilutės buvo suskaidytos į atskirus laikotarpius: 1961–1990 (klimato norma), 1961–2012 ir 1991–2012 m. (1 lentelė).

Potvynio duomenų eilučių tikimybinė analizė parodė, kad apibendrintųjų ekstremalių reikšmių skirstinys tinkamiausias empirinių pavasario potvynio duomenų dažnumo analizei visose hidrologinėse srityse (taip pat ir didžiosiose upėse) 1991–2012 m. laikotarpiu. Todėl prieiname prie išvados, kad reikšmingų klimato pokyčių laikotarpiu šis tikimybinis skirstinys yra labiausiai tinkamas Lietuvos upių potvynių dažnumui analizuoti ir pavasario maksimaliems debitams prognozuoti. Tikimybinių skirstinių nustatymas reikalingas potvynių dažnumo pokyčiams prognozuoti.

29 upių minimalių debitų duomenys buvo tiriama tais pačiais laikotarpiais kaip ir potvynių maksimalūs debitai. Analizė parodė, kad upių nuosėkio debitų duomenys skirtingose hidrologinėse srityse tirtaisiais laikotarpiais atitiko labai panašius tikimybinus skirstinius. Pagal atitikimą stebėjimo duomenims (nuo geriausiai iki blogiausiai tinkančio) tirti tikimybiniai skirstiniai pasiskirstė tokia tvarka: apibendrintųjų ekstremalių reikšmių, logaritminis Pirsono III tipo, trijų parametru Gama, Veibulio, Gumbelio minimalios ekstremalios vertės.

1 lentelė. Priskirtų tinkamumo rangų pasirinkto ilgio duomenų eilutėms apibendrinimo rezultatai\* skirtingoms hidrologinėms sritims (h. s.) ir didžiosioms upėms (skirstinių pavadinimų trumpiniai pateikti metodikos skyrelyje)

Laikotarpiai	Vakarų Lietuvos h. s.					Vidurio Lietuvos h. s.				
	G3	LP3	GEV	W2	EV1	G3	LP3	GEV	W2	EV1
1961–1990	26	19	<b>17</b>	34	39	26	14	<b>11</b>	22	32
1961–2012	24	17	<b>16</b>	40	38	23	<b>11</b>	15	27	29
1991–2012	22	13	<b>11</b>	33	26	8	4	<b>2</b>	9	7
Laikotarpiai	Pietryčių Lietuvos h. s.					Nemunas ir Neris				
	G3	LP3	GEV	W2	EV1	G3	LP3	GEV	W2	EV1
1961–1990	26	20	<b>11</b>	27	36	17	9	<b>6</b>	25	18
1961–2012	21	<b>15</b>	<b>15</b>	37	32	<b>9</b>	<b>9</b>	14	24	19
1991–2012	24	<b>11</b>	<b>11</b>	27	17	25	9	<b>6</b>	20	15

\* Kuo rangų suma mažesnė – tuo skirstinys tiksliau atkartoja stebėjimo duomenų eilutes.

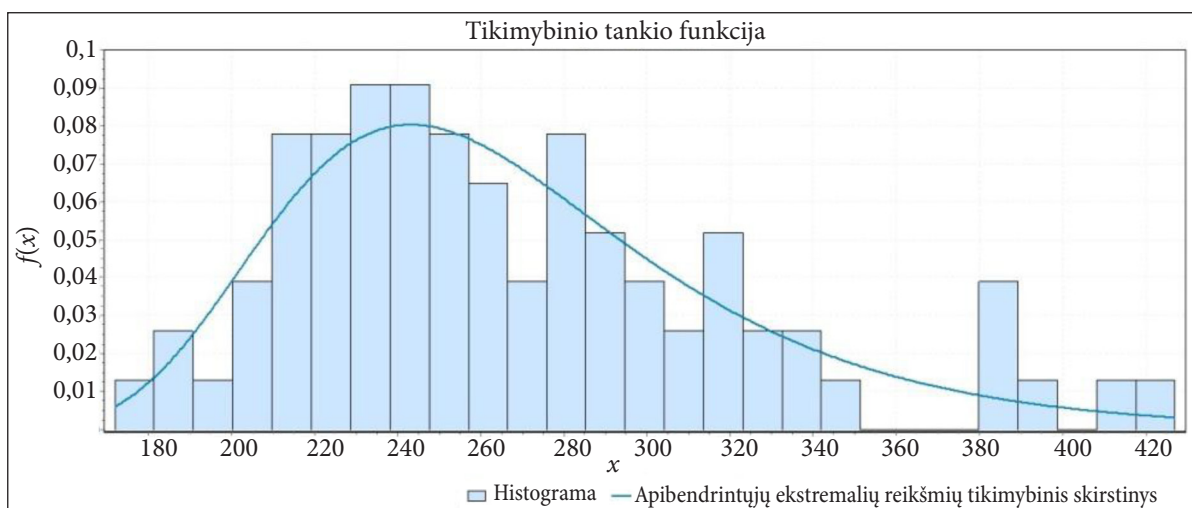
Pagal apibendrintųjų ekstremalių reikšmių tikimybinį skirstinį sudaryta Nemuno ties Smalininkais minimalių debitų pasiskirstymo tikimybinio tankio funkcija, kurios dėka galima prognozuoti įvairių tikimybių minimalius debitus (5 pav.).

### NEMUNO BASEINO UPIŲ NUOTĖKIO MODELIAVIMAS PAGAL SKIRTINGUS KLIMATO KAITOS SCENARIJUS

Naudojant HBV modelį bei 1961–1990 m. laikotarpio nuotėkio, kritulių ir temperatūros duomenis, sukurtas Nemuno hidrologinis modelis [20].

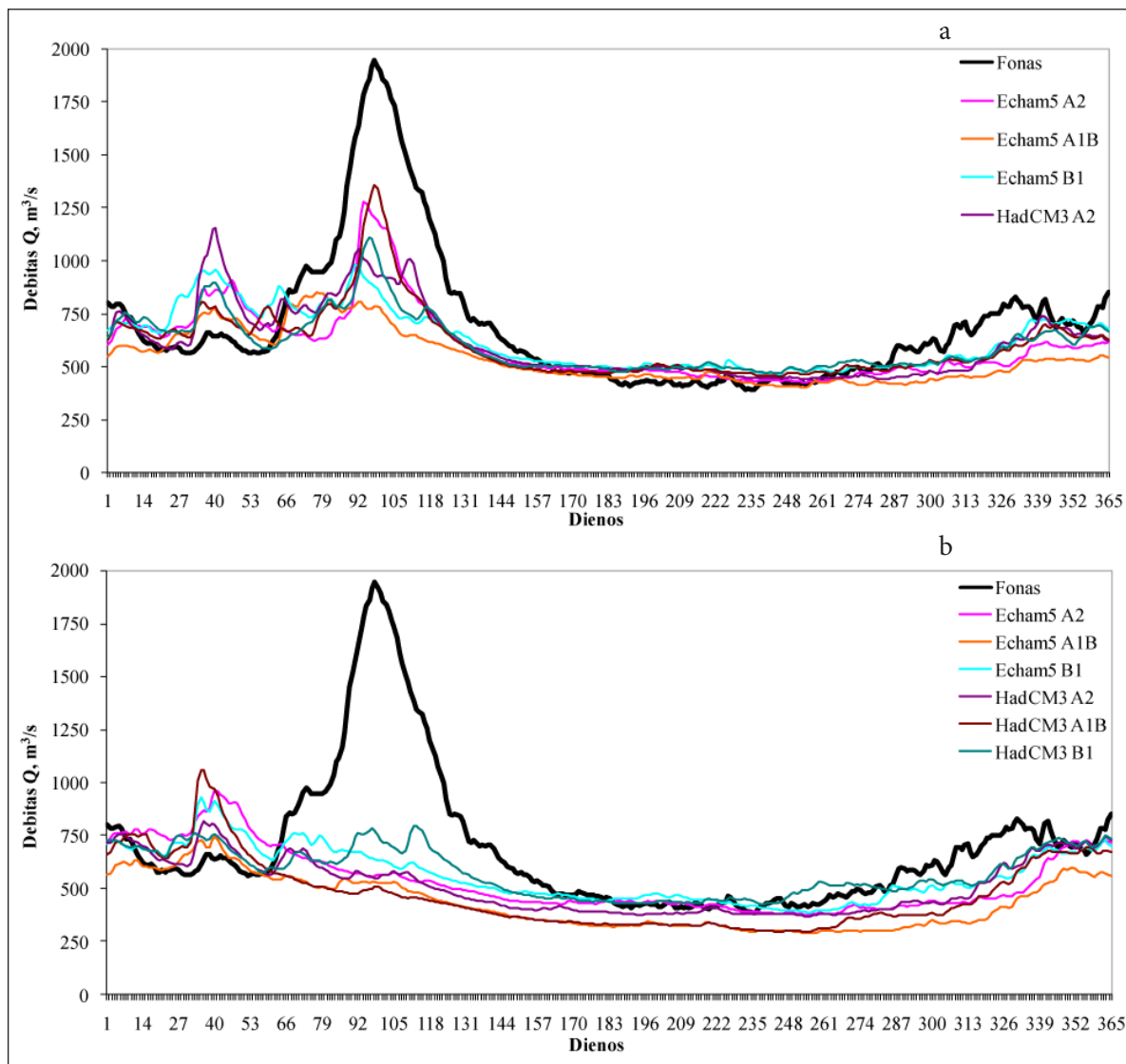
Nemuno nuotėkis ties žiotimis sumodeliuotas iš Echam5 bei HadCM3 modelių išvesties duomenų ir pagal A2, A1B ir B1 emisijų scenarijus (šeši klimato kaitos scenarijai) 2011–2100 m. laikotarpiu. Gauti rezultatai palyginti su foninio laikotarpio nuotėkiu (6 pav.).

Pirmuoju 2011–2040 m. laikotarpiu sumažės pavasario potvynių debitai, o dalis nuotėkio iš pavasario persikels į žiemos sezoną. Šiuo laikotarpiu prognozuojami du potvyniai: vienas žiemos pabaigoje, kitas pavasario viduryje. Žiemos laikotarpiu debitas vidutiniškai kis nuo 773 m<sup>3</sup>/s pagal Echam5 A1B scenarijų iki 1 155 m<sup>3</sup>/s pagal HadCM3 A2 scenarijų ir vidutiniškai pagal



5 pav. Nemuno ties Smalininkais nuotėkio minimalių debitų pasiskirstymo tikimybinio tankio funkcija (histograma – stebėjimo duomenys, kreivė – apibendrintųjų ekstremalių reikšmių tikimybinis skirstinys)





6 pav. Prognozuojamas Nemuno nuotėkis ties žiotimis pagal Echam5 ir HadCM3 modelius bei A2, A1B ir B1 scenarijus 2011–2040 m. (a) ir 2071–2100 m. laikotarpiu (b)

6 scenarijus sieks  $912 \text{ m}^3/\text{s}$ . Pavasario potvynis bus didesnis: nuo  $808 \text{ m}^3/\text{s}$  pagal Echam5 A1B iki  $1355 \text{ m}^3/\text{s}$  pagal HadCM3 A1B ir vidutiniškai sieks  $1097 \text{ m}^3/\text{s}$ . Nustatyta, kad pavasario potvyniai gali būti didesni (iki  $185 \text{ m}^3/\text{s}$ ) už žiemos potvynius, tačiau gerokai mažesni nei foniniu laikotarpiu ( $1946 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Vasaros sezono vidutinis prognozuojamas nuotėkis bus didesnis nuo  $6 \text{ m}^3/\text{s}$  pagal Echam5 A1B scenarijų iki  $57 \text{ m}^3/\text{s}$  pagal Echam5 A2 scenarijų, palyginti su foniniu laikotarpiu. Rudens sezonu prognozuojamas vidutinis metinis nuotėkis bus mažesnis (nuo  $48 \text{ m}^3/\text{s}$  pagal HadCM3 B1 scenarijų iki  $136 \text{ m}^3/\text{s}$  pagal Echam5 A1B scenarijų), palyginti su foniniu laikotarpiu. Vidutinis meti-

nis 2011–2040 m. laikotarpio debitas svyruoja nuo  $541 \text{ m}^3/\text{s}$  pagal Echam5 A1B scenarijų iki  $628 \text{ m}^3/\text{s}$  pagal Echam5 B1 scenarijų ir vidutiniškai pagal 6 scenarijus yra  $599 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tai net  $96 \text{ m}^3/\text{s}$  (arba 13,8 %) mažiau nei foniniu laikotarpiu ( $695 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

2071–2100 m. laikotarpiu pavasario potvyniai persikels į žiemos sezoną, o potvynių pikai sumažės perpus. Vidutinės didžiausios tokių potvynių reikšmės svyruos nuo  $659 \text{ m}^3/\text{s}$  pagal Echam5 A2 scenarijų iki  $1060 \text{ m}^3/\text{s}$  pagal HadCM3 A1B scenarijų. Vasaros sezonais vidutiniai metiniai debitai kils nuo  $328 \text{ m}^3/\text{s}$  pagal Echam5 A1B iki  $451 \text{ m}^3/\text{s}$  pagal Echam5 A2 scenarijų. Vidutiniškai vasaros sezono debitas

2071–2100 m. laikotarpiu bus 52 m<sup>3</sup>/s mažesnis negu foninio laikotarpio debitas. Rudens sezono nuotėkis gerokai sumažės ir jo sklaida bus didesnė. Mažiausias rudens sezono debitas prognozuojamas pagal Echam5 A1B scenarijų – 331 m<sup>3</sup>/s ir didžiausias pagal HadCM3 B1 scenarijų – 526 m<sup>3</sup>/s. Vidutiniškai pagal 6 scenarijus prognozuojamas 430 m<sup>3</sup>/s debitas, kuris yra 142 m<sup>3</sup>/s mažesnis negu foninio laikotarpio debitas. Metinis šio laikotarpio debitas svyruos nuo 434 m<sup>3</sup>/s pagal Echam5 A1B scenarijų iki 575 m<sup>3</sup>/s pagal HadCM3 B1 scenarijų. Pagal visus 6 scenarijus vidutinis metinis 2071–2100 m. laikotarpio debitas bus 517 m<sup>3</sup>/s, t. y. 178 m<sup>3</sup>/s (arba 25,6 %) mažesnis už foninio laikotarpio debitą.

### KURŠIŲ MARIŲ VANDENS BALANSO IR JO ELEMENTŲ KAITOS ANALIZĖ

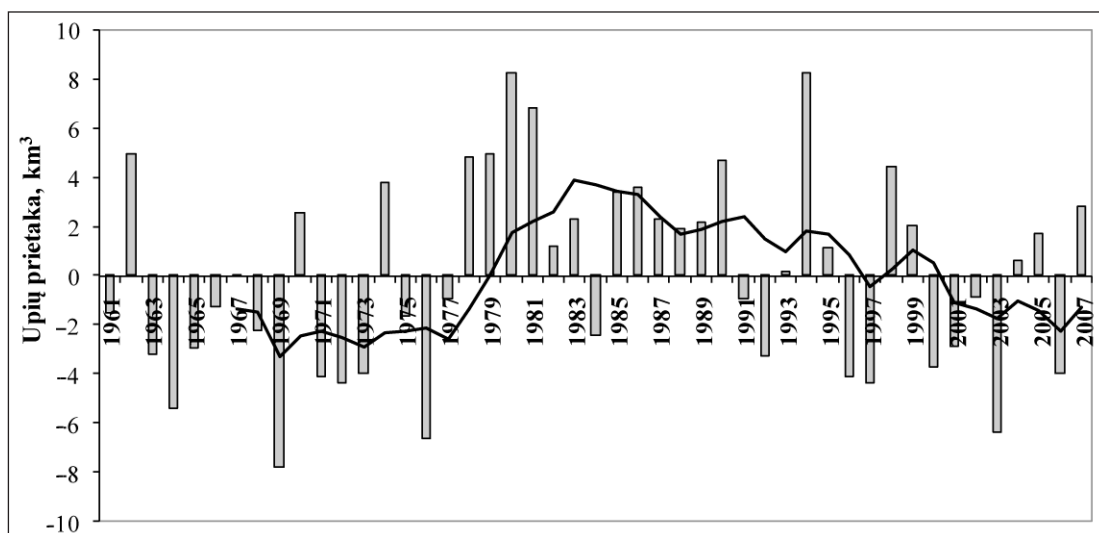
Upių prietaka sudaro didžiąją Kuršių marių vandens balanso pajamų dalį, todėl labai svarbu ją tiksliai įvertinti. Tiriamojo 1961–2007 m. laikotarpio upių prietaka apskaičiuota paros intervalu, naudojant tiesioginių matavimų duomenis ir taikant analogijos metodus (7 pav.) [20].

1961–2007 m. laikotarpio vidutinė metinė upių prietaka yra 21,774 km<sup>3</sup> ir svyravo nuo 13,967 km<sup>3</sup> (1969 m.) iki 30,041 km<sup>3</sup> (1980 m.) (7 pav.). Pritaikius Mann-Kendall testą gauta, kad iki 1982 m. upių prietakos į marias trendas yra teigiamai reikšmingas (patikimumas 95 %), o

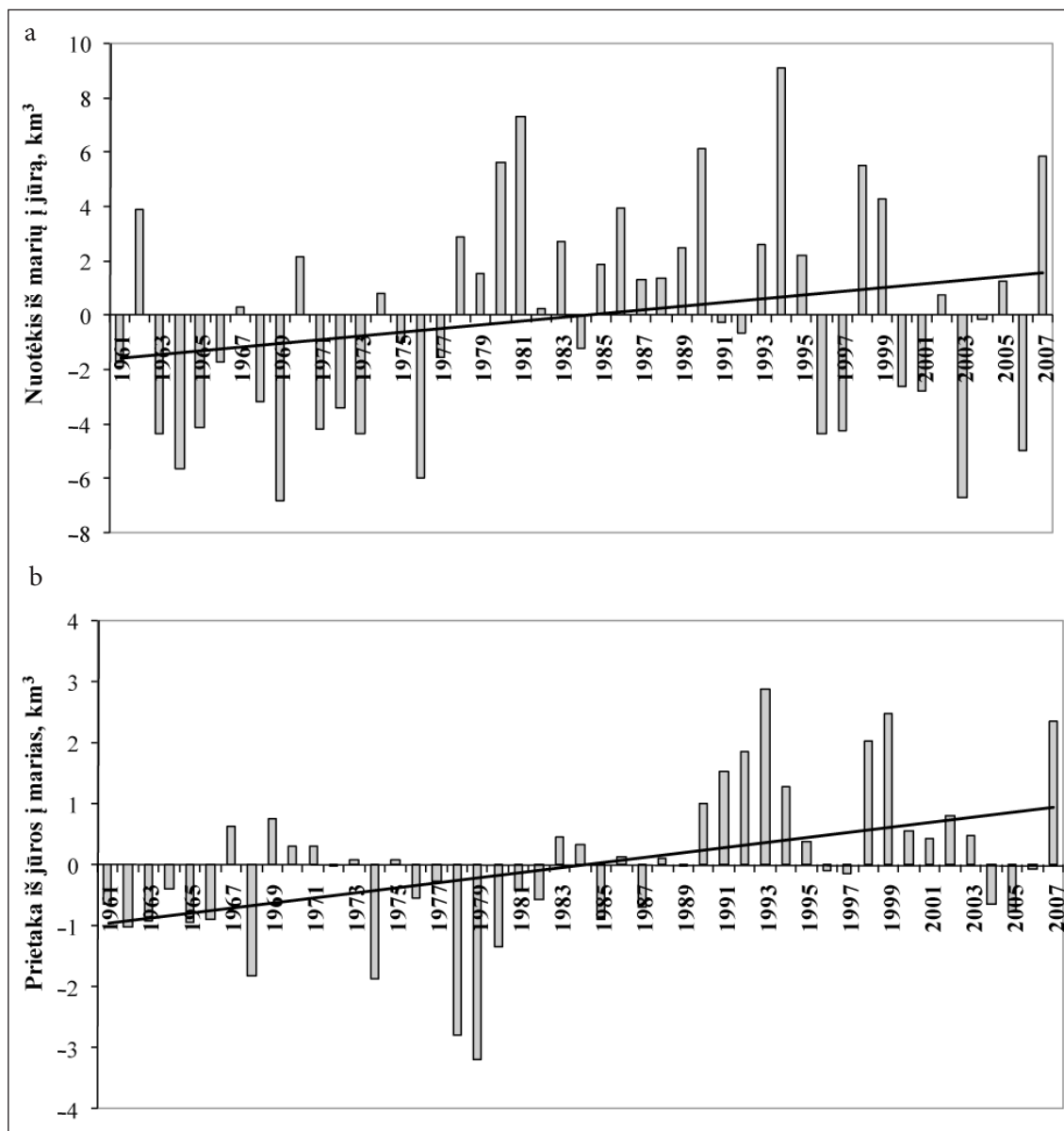
nuo 1983 m. prietaka mažėja, tačiau mažėjimas statistiškai nereikšmingas. Nežymiai mažėjant nuotėkiui, pastebimai keičiasi jo metinis pasiskirstymas. Nuotėkio pasiskirstymas metais analizuotas suskirsčius tiriamąjį laikotarpį į 4 dalis po 12 metų (1961–1972, 1973–1984, 1985–1996 ir 1997–2007 m.). Tiriamaisiais keturiais laikotarpiais vasaros nuotėkis sudarė nuo 15,5 iki 16,7 % metų nuotėkio. Metinio nuotėkio dalis gerokai keitėsi rudenį – svyravo nuo 18,9 iki 22,1 %. Didžiausi pokyčiai įvyko nuotėkiui pasiskirstant žiemą ir pavasarį. Palyginus 1961–1972 ir 1997–2007 m. laikotarpių žiemos bei pavasario sezonais į marias patekusio suminio upių nuotėkio dalis, nustatytas esminis nuotėkio persiskirstymas: 1961–1972 m. laikotarpiu skirtumas tarp pavasario ir žiemos siekė 24 % (žiemą 20,8 %, pavasarį 44,8 %), o 1997–2007 m. laikotarpiu – tik 4,2 % (žiemą 29,9 %, o pavasarį 34,1 %). Toks daugiametio suminio upių nuotėkio į Kuršių marias pasiskirstymo pokytis leidžia daryti išvadą, kad pavasario potvyniai ankstėja, maksimalūs debitai fiksuojami vis anksčiau ir jų reikšmės mažėja.

Apskaičiuojant kritulius ir išgaravimą Kuršių marių plotas vertintas kaip kintamas parametras, priklausantis nuo vidutinio marių vandens lygio. 1961–2007 m. laikotarpiu vidutinis metinis kritulių kiekis buvo 1,199 km<sup>3</sup>/m., o vidutinis metinis išgaravimas nuo marių paviršiaus – 1,008 km<sup>3</sup>/m.

Vidutinis daugiametis nuotėkis iš Kuršių marių į Baltijos jūrą ( $Q_M$ ) (8a pav.) tirtuoju



7 pav. Metinės upių prietakos į Kuršių marias pokyčiai 1961–2007 m. (lyginant su 1961–2007 m. vidurkiu)



8 pav. Daugiametės apykaitos Klaipėdos sąsiauriu pokyčiai, palyginti su 1961–2007 m. vidurkiu: a) nuotėkio iš Kuršių marių į Baltijos jūrą ( $Q_M$ ) pokyčiai, b) prietakos iš Baltijos jūros į Kuršių marias ( $Q_J$ ) pokyčiai

laikotarpiu siekė  $27,630 \text{ km}^3$ , o vidutinė daugiametė prietaka iš Baltijos jūros į Kuršių marias ( $Q_J$ ) –  $6,167 \text{ km}^3$  (8b pav.).

Gilinant Klaipėdos sąsiaurį keičiasi jo pralaidumas. Aktualu žinoti, kaip tiriamuoju laikotarpiu keitėsi  $Q_M$  ir  $Q_J$ , ar jų kaita yra susijusi tik su sąsiaurio gilinimu, ar ir su gamtiniais pokyčiais, t. y. klimato kaita. 1961–2007 m. laikotarpio nuotėkis iš Kuršių marių į Baltijos jūrą ( $Q_M$ ) tirtas atsižvelgiant į 1981–1982 m. Klaipėdos uosto padalijimą į dvi dalis – iki 1982 m. ir nuo 1983 m. Pritaikius Mann-Kendall testą nustatyta, kad

iki 1982 m. nuotėkio iš marių į jūrą trendas yra teigiamai reikšmingas, o nuo 1983 m. stebimas nežymus mažėjimas. Analizuojant daugiametę prietaką iš Baltijos jūros į Kuršių marias ( $Q_J$ ) nustatyta, kad nuo 1983 m. prietaka didėja (8b pav.).  $Q_J$  didėjimą pastaraisiais dešimtmečiais lėmė tiek uosto plėtra (akvatorijos gilinimas), tiek klimato kaita. Įvertinus atskirų vandens balanso elementų suminę apskaičiavimo paklaidą nustatyta, kad 1961–2007 m. laikotarpio vandens balansas apskaičiuotas pakankamu tikslumu. Suminis vandens balansas pateiktas 2 lentelėje.

2 lentelė. 1961–2007 m. laikotarpio Kuršių marių vandens balansas (km<sup>3</sup>)

Balanso komponentai	Mėnesiai												Per metus
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Upių prietaka ( $Q_U$ )	1,969	1,783	2,803	3,607	1,873	1,234	1,140	1,108	1,120	1,423	1,808	1,905	<b>21,774</b>
Prietaka iš jūros į marias ( $Q_J$ )	0,478	0,327	0,293	0,246	0,320	0,476	0,504	0,547	0,667	0,758	0,898	0,654	<b>6,167</b>
Krituliai ( $P$ )	0,087	0,062	0,065	0,059	0,067	0,095	0,118	0,133	0,131	0,137	0,132	0,107	<b>1,194</b>
<b>Pajamos</b>	<b>2,534</b>	<b>2,172</b>	<b>3,161</b>	<b>3,912</b>	<b>2,260</b>	<b>1,805</b>	1,762	1,788	1,918	2,318	2,838	2,666	<b>29,135</b>
Nuotėkis iš marių į jūrą ( $Q_M$ )	2,472	2,283	2,985	3,947	2,321	1,543	1,531	1,652	1,733	2,133	2,529	2,501	<b>27,630</b>
Išgaravimas ( $Z$ )	0,023	0,020	0,030	0,055	0,115	0,155	0,174	0,163	0,119	0,073	0,048	0,032	<b>1,008</b>
<b>Išlaidos</b>	<b>2,495</b>	<b>2,303</b>	<b>3,015</b>	4,002	2,436	1,698	1,705	1,815	1,852	2,206	2,577	2,533	28,638
Tūrio pokytis	-0,002	-0,012	-0,046	0,030	0,083	0,024	-0,024	-0,016	-0,025	0,026	-0,050	0,056	0,045
Nedermė	0,041	-0,119	0,192	-0,060	-0,259	0,083	0,081	-0,011	0,091	0,086	0,311	0,077	0,452

### Kuršių marių vandens balanso elementų prognozė pagal įvairius klimato kaitos scenarijus XXI a.

Kuršių marių vandens balansas XXI a. skaičiuotas trims laikotarpiais (2011–2040, 2041–2070 ir 2071–2100 m.). Atskiri vandens balanso elementai – upių prietaka, krituliai bei išgaravimas – imti kaip 6 klimato kaitos scenarijų vidurkis (du klimato kaitos modeliai – ECHAM5, HadCM3 ir trys emisijų scenarijai – A2, A1B ir B1) iš tam tikro trisdešimtmečio.

Svarbiausią vandens balanso pajamų dalį sudaro **upių prietaka**. Foniniu, t. y. 1961–1990 m. laikotarpiu, ji vidutiniškai siekė 22,084 km<sup>3</sup>/metus. Pagal modeliavimo rezultatus nustatyta, kad prietaka mažės ir pagal šešių scenarijų vidurkį 2011–2040 m. ji sieks 18,886 km<sup>3</sup>/metus, 2041–2070 m. – 17,372 km<sup>3</sup>/metus ir 2071–2100 m. – 16,236 km<sup>3</sup>/metus.

Mažiausią Kuršių marių vandens balanso dalį sudaro **krituliai**, priskiriami prie pajamų, ir **išgaravimas**, priskiriamas prie išlaidų. Šie du vandens balanso komponentai kompensuoja vienas kitą, nes yra priešingų ženklų. Jų metinę kaitą lemia klimatas. Išgaravimas yra glaudžiai susijęs su oro temperatūra ir vėjo greičiu analizuojamoje teritorijoje. Krituliai sudaro pačią mažiausią vandens balanso pajamų dalį. Foniniu 1961–

1990 m. laikotarpiu per metus į Kuršių marias vidutiniškai iškrisdavo 1,157 km<sup>3</sup>/metus kritulių. 2011–2040 m. laikotarpiu į marias vidutiniškai iškris 1,155 km<sup>3</sup>/metus, 2041–2070 m. – 1,172 km<sup>3</sup>/metus ir 2071–2100 m. – 1,201 km<sup>3</sup>/metus kritulių. Foniniu laikotarpiu vidutiniškai per metus išgaruodavo 1,052 km<sup>3</sup>. Tuo tarpu 2011–2040 m. iš marių išgaruos 1,075 km<sup>3</sup>, 2041–2070 m. – 1,152 km<sup>3</sup> ir 2071–2100 m. vidutiniškai 1,228 km<sup>3</sup> per metus.

Apykaita per Klaipėdos sąsiaurį yra sunkiausiai išmatuojamas vandens balanso komponentas, todėl jis apskaičiuotas taikant vandens balanso lygtį, kaip ir 1961–2009 m. laikotarpiu. Vandens apykaita per Klaipėdos sąsiaurį skaičiuota laikantis trijų vandens lygio kilimo scenarijų – (1) 0,87 mm/m; (2) 4,02 mm/m; (3) 4,65 mm/m. Gauta, kad nuotėkis iš Kuršių marių į Baltijos jūrą 2010–2040 m. gali sumažėti iki 24,963 km<sup>3</sup> per metus, 2041–2071 m. – iki 23,942 km<sup>3</sup> per metus, o 2071–2100 m. – iki 23,495 km<sup>3</sup> per metus. Tuo tarpu druskingo vandens prietaka iš Baltijos jūros į Kuršių marias gali padidėti atitinkamai iki 6,356; 6,871 ir 7,490 km<sup>3</sup> per metus.

3 lentelėje pateikti trys galimi Kuršių marių vandens balansai pagal tris skirtingus jūros lygio kilimo scenarijus.

3 lentelė. Kuršių marių vandens balansai (km<sup>3</sup>) 1961–1990, 1960–2009, 2011–2040, 2041–2070 ir 2071–2100 m. laikotarpiais

Jūros lygio kaitos scenarijus	Laikotarpis	$Q_u$	$Q_m$	$Q_j$	$P$	$Z$	$\Delta V$	Paklaida	Didžiausia leistina paklaida
	1961–1990	22,084	27,467	5,658	1,157	1,052	0,018	0,380	1,123
	1960–2009	21,784	27,642	6,171	1,199	1,007	0,037	0,468	0,810
(1)	2011–2040	18,883	<b>24,870</b>	<b>6,239</b>	1,155	1,075	<b>0,015</b>	<b>0,317</b>	<b>0,562</b>
	2041–2070	17,372	<b>23,625</b>	<b>6,527</b>	1,172	1,152	<b>0,016</b>	<b>0,277</b>	<b>0,590</b>
	2071–2100	16,236	<b>22,915</b>	<b>6,855</b>	1,201	1,228	<b>0,019</b>	<b>0,130</b>	<b>0,665</b>
	2011–2040	18,883	<b>24,996</b>	<b>6,399</b>	1,155	1,075	<b>0,015</b>	<b>0,351</b>	<b>0,572</b>
(2)	2041–2070	17,372	<b>24,042</b>	<b>6,972</b>	1,172	1,152	<b>0,012</b>	<b>0,309</b>	<b>0,632</b>
	2071–2100	16,236	<b>23,708</b>	<b>7,708</b>	1,201	1,228	<b>0,018</b>	<b>0,190</b>	<b>0,699</b>
	2011–2040	18,883	<b>25,022</b>	<b>6,429</b>	1,155	1,075	<b>0,014</b>	<b>0,355</b>	<b>0,572</b>
(3)	2041–2070	17,372	<b>24,160</b>	<b>7,113</b>	1,172	1,152	<b>0,016</b>	<b>0,328</b>	<b>0,607</b>
	2071–2100	16,236	<b>23,863</b>	<b>7,907</b>	1,201	1,228	<b>0,015</b>	<b>0,238</b>	<b>0,714</b>

## IŠVADOS

1. Metų ir sezonų upių nuotėkio tendų analizė parodė, kad ryškiausi nuotėkio didėjimo pokyčiai vyksta žiemos sezono metu ir kai mažėja pavasario nuotėkis, o mažiausi pokyčiai būdingi vasaros ir rudens sezonams.

2. Vakarų Lietuvoje maksimalių potvynių kaitos tendų nenustatyta arba jie yra nereikšmingi, o Vidurio ir Pietryčių Lietuvos hidrologinėse srityse maksimalių debitų kaitos trendai per visus laikotarpius daugiausia yra neigiami arba reikšmingai neigiami, tai reiškia, kad maksimalūs potvynio debitai mažėja. Reikšmingų tendų upių nuosėkio debitų eilutėse nenustatyta. Apibendrintųjų ekstremalių reikšmių skirstinys yra tinkamiausias empirinių nuotėkio ekstremalių verčių dažnumui analizuoti visų trijų hidrologinių sričių Lietuvos upėms.

3. Prognozuotas Nemuno baseino upių nuotėkis XXI a. Didžiausias Nemuno nuotėkis ties žiotimis prognozuotas pagal B1 scenarijų, o mažiausias – pagal A1B scenarijų. Per XXI a. Nemuno nuotėkis ties žiotimis pagal 6 klimato kaitos scenarijus, palyginti su 1961–1990 m. laikotarpiu, vidutiniškai didės žiemos sezonu (4,1 %), o pavasario, vasaros, rudens sezonais bei metinis nuotėkis mažės (atitinkamai 42,1, 1,7, 19,6 ir 19,8 %). Prognozuojant nuotėkį pastebėta, kad prietakos kaitą įvairiais laikotarpiais lemia ne tik emisijų scenarijai, bet ir pasirinktas globalinis klimato modelis.

4. Apskaičiuotas Kuršių marių vandens balansas 1961–2007 m. laikotarpiu. Suminė upių prietaka į Kuršių marias yra 21,774 km<sup>3</sup> per metus, krituliai – 1,194 km<sup>3</sup> per metus, išgaravimas – 1,008 km<sup>3</sup> per metus. Druskingo vandens prietaka iš Baltijos jūros į Kuršių marias siekia 6,167 km<sup>3</sup> per metus ir gėlo vandens nuotėkis iš Kuršių marių į Baltijos jūrą – 27,630 km<sup>3</sup> per metus. Iki 1982 m. prietaka iš Baltijos jūros į Kuršių marias nežymiai mažėjo, o nuo 1983 m. – didėja. Prietakos iš Baltijos jūros į Kuršių marias didėjimas sietinas su klimato kaita ir Klaipėdos uosto plėtra.

5. Kuršių marių vandens balanso pokyčiai XXI a. prognozuoti atsižvelgus tik į klimato kaitos scenarijus. Nustatyta, kad, palyginti su foniniu laikotarpiu, upių prietaka sumažės 26 %, dėl kylančios oro temperatūros išgaravimas didės 25 %, kritulių kiekis didės nežymiai (4 %), nuotėkis iš Kuršių marių į Baltijos jūrą sumažės 17 %, o prietaka iš Baltijos jūros į Kuršių marias padidės 39 %.

Gauta 2016 06 30  
Priimta 2016 07 14

## Literatūra

- Jablonskis J., Lasinskas M. *Lietuvos TSR upių kadastras (debitai, nuolydžiai, galingumai)*. T. 3. Vilnius, 1962. 640 p.
- Lasinskas M. *Lietuvos upių nuotėkio tyrimai*. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas, 1994. 151 p.



3. Gailiušis B., Jablonskis J., Kovalenkoviėnė M. *Lietuvos upės. Hidrografija ir nuotėkis*. Kaunas: Lietuvos energetikos institutas, 2001. 791 p.
4. Gailiušis B., Kriaučiūnienė J., Rimavičiūtė E. Modelling the effect of the hydroelectric pumped storage plant on hydrodynamic regime of the Kaunas Reservoir in Lithuania. *Nordic Hydrology*. 2003. Vol. 34. Iss. 5. P. 507–518.
5. Reihan A., Koltsova T., Kriaučiūnienė J., Lizuma L., Meilutytė-Barauskienė D. Changes in water discharges of the Baltic States rivers in the 20th century and its relation to climate change. *Nordic Hydrology*. 2007. Vol. 38. No. 4–5. P. 401–412.
6. Kriaučiūnienė J., Meilutytė-Barauskienė D., Rimkus E., Kažys J., Vincevičius A. Climate change impact on hydrological processes in Lithuanian Nemunas river basin. *Baltica*. 2008. Vol. 21. No. 1–2. P. 51–61.
7. Kriaučiūnienė J., Meilutytė-Barauskienė D., Reihan A., Koltsova T., Lizuma L., Šarauskienė D. Variability in temperature, precipitation and river discharge in Baltic States. *Boreal Environment Research*. 2012. Vol. 17. P. 150–162.
8. Reihan A., Kriaučiūnienė J., Meilutytė-Barauskienė D., Kolcova T. Temporal variation of spring flood in rivers of the Baltic States. *Hydrology Research*. 2012. Vol. 43. No. 4. P. 301–314.
9. Jakimavičius D., Kriaučiūnienė J. The climate change impact on the water balance of the Curonian Lagoon. *Water Resources*. 2013. Vol. 40. No. 2. P. 120–132.
10. Kriaučiūnienė J., Jakimavičius D., Šarauskienė D., Kaliatka T. Estimation of uncertainty sources in the projections of Lithuanian river runoff. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. 2013. Vol. 27. No. 4. P. 769–784.
11. Hall J., Arheimer B., Borga M., Brazdil R., Claps P., Kiss A., Kjeldsen T. R., Kriaučiūnienė J., Kundzewicz Z. W., Lang M., Llasat M. C., Macdonald N., McIntyre N., Mediero L., Merz B., Merz R., Molnar P., Montanari A., Neuhold C., Parajka J., Perdigao R. A. P., Plavcova L., Rogger M., Salinas J. L., Sauquet E., Schar C., Szolgay J., Viglione A., Bloschl G. Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2014. Vol. 18. P. 2735–2772.
13. Šarauskienė D., Kriaučiūnienė J., Reihan A., Klavis M. Flood pattern changes in the rivers of the Baltic countries. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2015. Vol. 23. Iss. 2. P. 28–38.
13. Maidment D. R. *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill Inc., New York, 1993. 1424 p.
14. *Integrated Hydrological Modelling System*. 2005. Manual. Version 5.8. SMHI.
15. World Meteorological Organization. *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate*. 2007. WCDMP-No. 61, WMO-TD/No. 1377, Geneva.
16. Balany F. Different ways of calculating catchment rainfall: case in Indonesia. *Civil Engineering Forum*. 2011. Vol. XX/1 – September. P. 1175–1182.
17. Červinskas E. Nauji Kuršių marių ploto matavimai. *Lietuvos TSR aukštųjų mokyklų mokslo darbai. Geografija ir geologija*. 1972. T. IX. P. 45–53.
18. *Klimato kaitos įtaka Lietuvos vandens išteklių būklei ir hidroenergetikos sektoriui: biudžetinė ataskaita, 2007–2009 m.*
19. *Lietuvos upių ekstremalių hidrologinių reiškinių tyrimai: biudžetinė ataskaita, 2013–2015 m.*
20. *Kuršių marių hidrologinio režimo pokyčių dėl gamtinių ir antropogeninių veiksnių tyrimai: biudžetinė ataskaita, 2010–2012 m.*

**Jūratė Kriaučiūnienė, Brunonas Gailiušis,  
Diana Šarauskienė, Darius Jakimavičius,  
Aldona Jurgelėnaitė, Diana Meilutytė-Lukauskienė,  
Vytautas Akstinas, Aldona Tomkevičienė,  
Valdas Irbinskas**

#### **STUDIES OF CLIMATE CHANGE IMPACT ON LITHUANIAN WATER RESOURCES**

##### *Summary*

In 1957, the Laboratory of Hydrology under the leadership of the famous Lithuanian hydrologist professor Lasinskas began an extensive research of Lithuanian water bodies. A large number of different studies have been performed, important monographs have been published. In the last decades, the main research objects of the laboratory have remained the same; however, the research topics change, much longer datasets of hydrological data are available, and the modern research methods are applied. The article presents

the contribution of the Laboratory of Hydrology (of Lithuanian Energy Institute) to the development of hydrology science; the most significant studies of the last decade related to climate change impact on Lithuanian water resources (rivers and the Curonian Lagoon) are described. An analysis of Lithuanian river runoff and the Curonian Lagoon water balance in the past was performed. Statistical methods helped identifying the changes of river runoff and its extreme values that already occurred. The prognosis of the river runoff in the Nemunas Basin area (that covers 75% of the Lithuanian territory) was accomplished applying the hydrological model HBV and using two global climate models (Echam5 and HadCM3) and three emission scenarios (A2, A1B, B1). The changes of the Curonian Lagoon water balance in the 21st century were assessed.

**Keywords:** climate change, rivers, Curonian Lagoon, statistical methods, hydrologic modelling