

Svarbiausios šiandieninės Lietuvos hidrologinių tyrimų kryptys

Brunonas Gailiušis,

Milda Kovalenkoviėnė,

Jūratė Kriaučiuėnienė

*Lietuvos energetikos institutas,
Hidrologijos laboratorija,
Breslaujos g. 3, LT-44403 Kaunas,
el. paštas ziugzda@mail.lei.lt*

Straipsnyje apžvelgiamos svarbiausios Lietuvos vandens telkinių tyrimų kryptys. Šiuolaikinės inžinerinės hidrologijos tyrimai skirti stambių energetikos ir transporto objektų poveikiui aplinkai nustatyti bei gamtosaugos priemonėms pagrįsti. Straipsnyje aptariami tyrimo metodai, tiriami šie uždaviniai: upių nuotėkio kaita klimato atšilimo fone, rizikos vertinimas eksploatuojant hidrotechninius statinius ir jūrų uosto sąveika su aplinka.

Raktažodžiai: inžinerinė hidrologija, vandens telkinių tyrimai, poveikio aplinkai vertinimas

1. ĮVADAS

Inžinerinės hidrologijos sprendžiamų uždavinių gerokai pagausėjo. Vis labiau domimasi vandens telkinių bei inžinerinių statinių ir ūkinės veiklos baseine sąveikos tyrimu. Tam reikia taikyti naujus tyrimo metodus, tarp kurių labai svarbus yra modeliavimas, leidžiantis kaupti naujas žinias apie vandens telkinius bei procesus, susijusius su vandens išteklių naudojimu ir apsauga.

Akntesnių hidrologinių tyrimų rezultatai rėmėsi hidrometriniais tyrimais. Lietuvos upių ir ežerų ištirtumas yra pakankamas. Sukaupiti vandens telkinių kadastriniai duomenys, ištirti upių nuotėkio formavimosi dėsninymai, nuotėkio charakteristikų pasiskirstymas teritorijoje ir jų priklausomybė nuo fizinių geografinių veiksnių. Tai leido sukurti metodus neištirtų upių nuotėkio charakteristikoms skaičiuoti. Visų tyrimų pagrindas – kartografiniai, hidrometriniai ir lauko ekspediciniai darbai. Ši gausi upių ir ežerų duomenų bazė sudarė pakankamas prielaidas pereiti prie uždavinių, kurių sprendimas susijęs ne tik su racionaliū vandens išteklių naudojimu, bet ir su gamtosaugos tikslų įgyvendinimu.

Jūros aplinkos apsaugos ir naudojimo aspektai ypač aktualūs plečiant turizmą bei poilsį ir naudojant naujas jūrų transporto technologijas. Numatant šią veiklą neišvengiamai tenka analizuoti prieštaravimus tarp aplinkos apsaugos tikslų ir naudotojų interesų. Tradicinis šių uždavinių sprendimas remiasi sukaupia jūros aplinkos stebėjimo, statinių jūroje eksploatavimo bei jų statybos patirtimi. Tačiau jūros procesų tyrimų aprašomasis pobūdis ir statiškas įvykusių aplinkos pokyčių vertinimas neleidžia visapusiškai išnagriniėti aplinkos ir statinio sąveikos, prognozuoti galimų aplinkos pokyčių, ypač ekstremaliomis aplinkos sąlygomis.

Vertinant energetikos ir transporto sistemų poveikį vandens telkiniams ypač svarbu modeliuoti objektų ūkinę veiklą ekstremaliomis gamtinėmis sąlygomis. Tam tikslui

naudojama dvimačių skaitmeninių modelių sistema MIKE 21, sukurta Danijos hidraulikos institute [1–4]. Ši sistema sujungia hidrodinaminių bangų bei nešmenų procesų ir vandens kokybės (taršos sklaidos) modelius. Modeliai tarpusavyje yra susiję: modeliuojant hidrodinaminius procesus, vandens telkinyje pirmiausia reikia apskaičiuoti bangų parametrus, o tiriant nešmenų pernašos procesus arba taršos skaidą būtina žinoti tėkmių struktūras. Vandens telkinių modeliavimui naudojome keturis MIKE 21 sistemos modelius: NSW (Near-shore Spectral Wind-Wave Module), HD (Hydrodynamic Module), ST (Sand Transport) ir AD (Advection Dispersion Module).

NSW modelis apibrėžia vėjo sukeltų bangų sklaidą priekrantės zonoje. Šiam modeliui reikalingi pradiniai duomenys:

- 1) vandens telkinio gyliai (batimetrija);
- 2) vėjo kryptis ir greitis;
- 3) kraštinės sąlygos giliausioje akvatorijos vietoje (vidutinis bangos aukštis ir periodas, vidutinė bangos sklaidimo kryptis, didžiausias nukrypimas nuo bangos krypties, bangos energijos pasiskirstymo kryptis).

NSW modelio rezultatai kiekvienoje modeliuojamo tinklelio gardelėje yra šie: bangos aukštis ir periodas, bangos sklaidimo kryptis ir jos standartinis nukrypimas. Sumodeliuoti bangų parametrai, kaip pradiniai HD modelio duomenys, yra naudojami modeliuojant hidrodinaminius procesus.

Hidrodinaminis vandens telkinio modeliavimas atliekamas įvertinant vėjo ir bangų sukeltas tėkmes. Tėkmės greičiams modeliuoti naudojamas MIKE 21 hidrodinaminis modelis HD. Tai dvimatis netolygiai kintančios tėkmės modelis, kuriuo remiantis apskaičiuojami vandens lygio svyravimai, debito pokyčiai ir tėkmės greičių pasiskirstymas modeliuojamoje vandens telkinio akvatorijoje. HD modelis sudarytas remiantis antro laipsnio tikslumo baigtinių skirtumų elementų metodo ADI sprendimo schema.

Svarbiausi uždaviniai šiame inžinerinės hidrologijos raidos etape yra šie:

- 1) Lietuvos upių nuotėkio kaitos tendencijų nustatymas dėl klimato atšilimo;
- 2) rizikos vertinimas eksploatuojant hidrotechninius statinius ypač ekstremaliomis sąlygomis;
- 3) Baltijos jūros ir Klaipėdos sąsiaurio tyrimai bei jūrų uosto plėtros poveikio aplinkai nustatymas.

2. UPIŲ NUOTĖKIO KAITA KLIMATO ATŠILIMO FONE

Klimato kaita – vienas svarbiausių aplinkos klausimų, kuris šiuo metu jaudina visą pasaulį. Klimato rodiklių (temperatūros ir kritulių) įtaka upių nuotėkio formavimuisi yra lemiamą [5]. Daugelio šalių mokslininkai analizuoja klimato rodiklių kaitos įtaką upių nuotėkiui. Pastaraisiais dešimtmečiais Šiaurės Europos ir Baltijos šalyse atlikta daug darbų, susijusių su klimato kaitos įtaka vandens ištekliams [6–9]. Tačiau šiuose darbuose upių nuotėkio kaita buvo tirta pagal skirtingas metodikas. Taikyti įvairūs statistiniai kriterijai bei analizuotos nevienodo periodo laiko eilutės, todėl sunku apibendrinti atskirų šalių tyrimus. Todėl norint tiksliau įvertinti upių nuotėkio pokyčius visoje Europos Šiaurės šalių teritorijoje pagal vieningą metodiką ir buvo inicijuotas Šiaurės šalių projektas „Klimatas ir energija“.

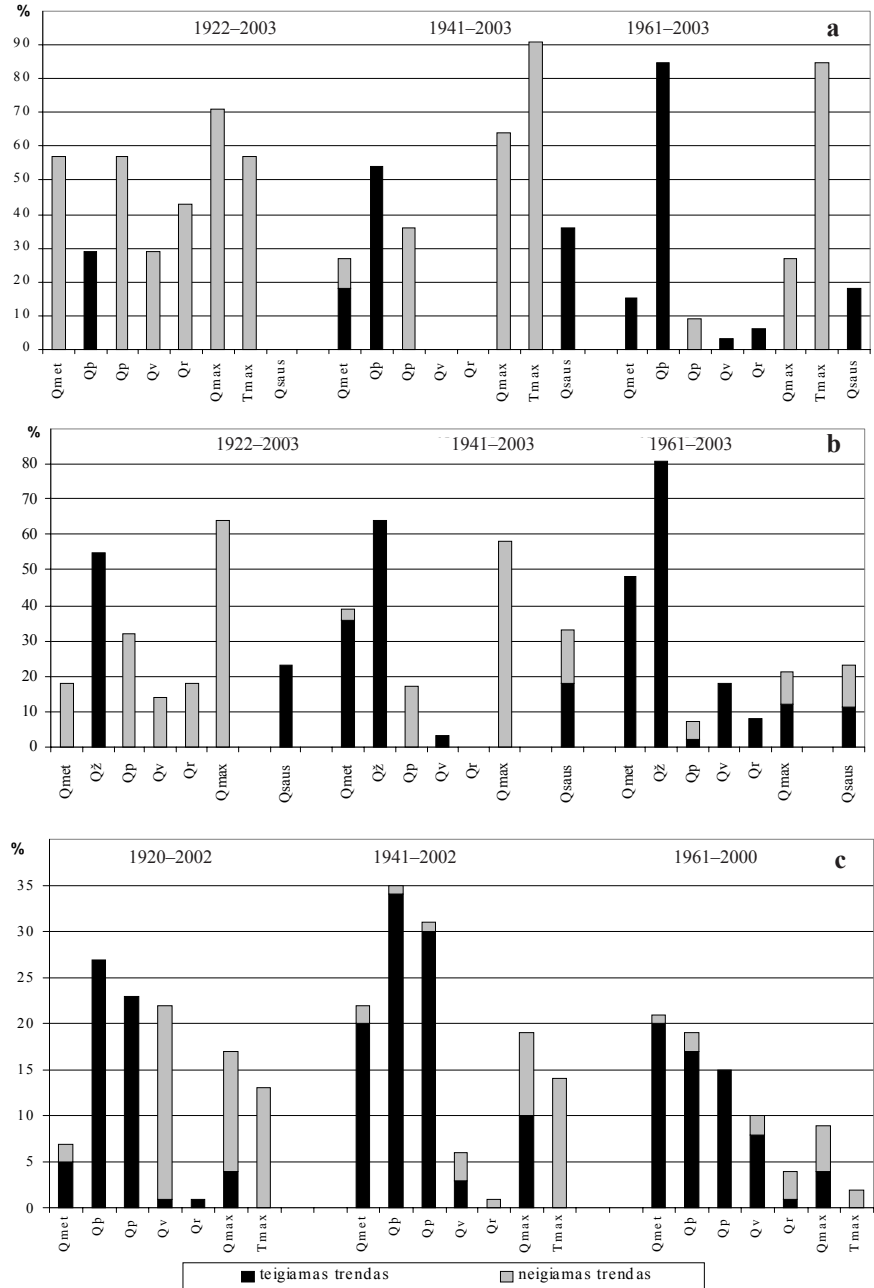
Šio darbo tikslas yra nustatyti, ar stebima klimato kaita veikia Lietuvos upių nuotėkį pastaraisiais dešimtmečiais. Lietuvos upių nuotėkio eilučių analizė atlikta statistiniais metodais. Tirtos šios nuotėkio charakteristikos: metiniai ir sezonų (žiemos, pavasario, vasaros ir rudens) debitai, potvynio maksimalus debitas bei potvynio maksimumo data ir 30 parų minimalus debitas kaip sausmečio charakteristika.

Analizuoti trys laikotarpiai (1922–2003, 1941–2003 ir 1961–2003). Nustatyti Lietuvos upių nuotėkio laiko eilučių trendai, kurie palyginti su analogiškais Šiaurės ir Baltijos šalių rezultatais.

Upių nuotėkio laiko eilučių analizei buvo sukurta paros debitų duomenų bazė EXCEL aplinkoje. Panaudoti 33 hidrologijos stočių,

apimančių visą Lietuvos teritoriją, daugiamečiai duomenys. Duomenų homogeniškumas buvo patikrintas dvi-gubos integralinės kreivės metodu. 7 hidrologijos stočių duomenys buvo analizuoti 1922–2003 m., 11 stočių – 1941–2003 m. ir 33 stočių – 1961–2003 m. laikotarpiais. Metinių debitų eilutės naudotos metiniams trendams, o mėnesinės debitų eilutės – sezoniniams trendams nustatyti. Ekstremalių parametru tendru analizė atlikta remiantis hidrologijos stočių paros debitais.

Statistinės analizės neparametrinis Man-Kendall testas, rekomenduotas Pasaulio meteorologijos organizacijos [10], taikomas nustatant upių nuotėkio parametru



1 pav. Upių nuotėkio parametru reikšmingi trendai: a – Lietuvoje, b – Baltijos šalyse, c – Šiaurės Europos šalyse (Q_{met} – metinis debitas; Q_ž – žiemos, Q_p – pavasario, Q_v – vasaros ir Q_r – rudens sezonų debitai; Q_{max} – maksimalus debitas; T_{max} – maksimalaus debito data)

trendus. Pasirinktas 5% reikšmingumo trendo lygmuo. Tai reiškia, jog esant 5% tikimybei gali būti atmetama hipotezė, kad trendas yra reikšmingas. Šis testas yra taikomas tiek tiesinių, tiek netiesinių trendų aprašymui. Nustatyti trendai, turintys 95% reikšmingumo lygmenį, vadinami reikšmingais trendais. Taip pat atlikta trendų analizė esant 70% reikšmingumo lygmeniui.

Upių nuotėkio kaitos tyrimų rezultatai pateikti dviem būdais: nuotėkio parametrų reikšmingų trendų suminė analizė ir erdvinis nuotėkio parametrų trendų pasiskirstymas Šiaurės ir Baltijos šalių teritorijose įvairiais laikotarpiais.

1 paveiksle pavaizduotas Lietuvos (1a pav.), Baltijos šalių (Latvijos, Lietuvos, Estijos – 1b pav.) ir Šiaurės šalių (Norvegijos, Švedijos, Suomijos, Danijos – 1c pav.) upių nuotėkio parametrų reikšmingų teigiamų ir neigiamų trendų skaičius, išreikštas procentais. Analizuoti vienodi laiko eilučių periodai Baltijos šalyse (1922–2003, 1941–2003, 1961–2003). Šiek tiek kiti periodai (1920–2002, 1941–2002, 1961–2000) buvo pasirinkti Šiaurės šalių upių nuotėkio parametrų analizei [9]. Pastebėta, kad gerokai didesnis reikšmingų trendų skaičius nustatytas Lietuvoje ir Baltijos šalyse (iki 80–90% visų tirtų laiko eilučių skaičiaus), palyginti su Šiaurės šalimis (iki 35%). Upių metinių debitų analizė parodė, kad 1922–2003 m. Baltijos šalyse nustatyti reikšmingi neigiami trendai (1 pav.), o 1961–2003 m. visose šalyse jau esama teigiamų trendų, parodančių metinio nuotėkio didėjimo tendenciją. Visose šalyse nustatyti teigiami žiemos sezono upių debito laiko eilučių trendai. Tai rodo ilgalaikę žiemos sezono nuotėkio didėjimo tendenciją. Lietuvoje ir Baltijos šalyse pavasario sezono upių debito laiko eilučių reikšmingi trendai yra neigiami, o Šiaurės šalyse teigiami. Tai lemia skirtingos nuotėkio formavimosi sąlygos: Šiaurės šalyse kai kurios upės pavasarį yra gausiai maitinamos kalnų sniego ir ledynų tirpsmo vandenimis. 1922–2003 m. visose šalyse nustatyti vasaros sezono upių debito laiko eilučių neigiami reikšmingi trendai, o 1961–2003 m. jau matyti nedidelis teigiamų trendų skaičius. Visose šalyse mažiausiai reikšmingų trendų rasta tiriant rudens sezono upių debitus. Tai reiškia, kad rudens laikotarpiu nenustatyta reikšmingų upių nuotėkio pokyčių.

Analizuojant pavasario potvynių parametrus nustatyta, kad Lietuvoje daug neigiamų reikšmingų pavasario potvynio maksimalaus debito eilučių trendų (iki 70%). Tai reiškia, kad nuo 1922 m. potvynių maksimalūs debitai turi mažėjimo tendenciją. Baltijos šalyse 1961–2003 m. nustatyti tiek teigiami, tiek neigiami maksimalių debitų trendai. Šiaurės šalyse reikšmingų trendų rasta mažiau. Potvynių maksimalaus debito datos eilučių analizė parodė, kad tiek Lietuvoje, tiek Šiaurės šalyse potvyniai prasideda vis anksčiau. Lietuvoje neigiamų reikšmingų trendų nustatyta iki 90%, Šiaurės šalyse – tik iki 14%. 1961–2003 m. Lietuvoje tokių trendų buvo 85%, o Šiaurės šalyse – tik 4%. Sausmečio minimalaus 30 parų debito laiko eilutės Lietuvoje nuo 1941 m. turi teigiamus reikšmingus trendus (iki 33%), o Baltijos šalyse yra ir teigiami, ir neigiami trendai.

Šiaurės ir Baltijos šalių upių visų laikotarpių nuotėkio parametrų reikšmingi trendai (5% reikšmingumo lygmuo) ir trendai (30% reikšmingumo lygmuo) pavaizduoti žemėlapiuose. Tokia trendų analizė leidžia įvertinti nuotėkio parametrų pasiskirstymo teritorinius skirtumus. 2 paveiksle pavaizduoti pavasario potvynio maksimalių debitų trendai 1941–2003 m. Akivaizdžiai matyti, kad šio parametro reikšmingi neigiami trendai yra Baltijos šalių teritorijoje ir pietinėje Suomijos dalyje. Šiaurės šalių teritorijoje dominuoja reikšmingi teigiami trendai, o kai kuriose hidrologinių stotyse trendų nėra.



2 pav. Pavasario potvynių maksimalių debitų trendų pasiskirstymas Šiaurės ir Baltijos šalių teritorijoje 1941–2003 m.

Šiaurės ir Baltijos šalių upių nuotėkio parametrų trendų analizė leido nustatyti tik kai kurias bendras nuotėkio kaitos tendencijas, nes 7 šalių teritorija yra didelė ir pasižymi įvairiomis nuotėkio formavimosi sąlygomis. Klimatas, reljefas, miškingumas, pelkėtumas, smėlingumas lemia bendrą nuotėkio dydį, jo režimo fazių pasikartojimo laiką bei trukmę. Šioje analizėje neįvertintas upių nuotėkio cikliškumas, nes kiekvienoje šalyje upių vandeningumo ciklai yra skirtingi. Tolesniuose darbuose numatyta tirti nustatytų trendų priežastingumą, t. y. susieti nuotėkio parametrų tendencijas su tų pačių laikotarpių klimato rodikliais.

Upių nuotėkio parametrų trendų analizė yra svarbi prognozuojant, kaip pasikeis upių nuotėkis XXI amžiuje. Tai labai svarbu žinoti valdant vandens išteklius baseininio principu, taip pat optimizuojant hidroelektrinių

darbo režimą, nepažeidžiant gamtosaugos reikalavimų. Sukaupia upių nuotėkio parametrų daugiamečių duomenų bazė ir atlikta statistinė analizė yra svarbi ir būtina informacija modeliuojant upių nuotėkio pokyčius pagal sudarytus klimato kaitos scenarijus XXI amžiuje.

3. RIZIKOS IR PAVOJAUS VERTINIMAS NAUDOJANT VANDENS TELKINIUS

Kruonio HAE aukštutiniame baseine sukaupia vandens potencinė energija yra 90–104 m aukštyje virš Kauno HE tvenkinio. Aukštutinio baseino žemių pylimų griūtis atveju pakiltų Kauno HE tvenkinio vandens lygis, o tai padidintų Kauno HE griūtis riziką. Taigi būtinai reikia įvertinti, kad avarija Kruonio HAE gali sukelti grandininio pobūdžio katastrofą.

Darbuose [11] aprašyta keletas užtvankų griūtis atvejų, taip pat pagal šių griūčių scenarijus sumodeliuoti pro pralaužtas užtvankas tekančio vandens hidrografai (taikomas modelis BREACH). 1976 m. birželio 5 d. sugriuvo Teton Dam užtvanka prie Idaho. Šios žemės užtvankos charakteristikos buvo šios: aukštis – 100 m, ilgis – 1000 m, vandens gylis – 88 m. Užtvankos griūtis prasidėjo 10 val. ir tekantis debitas pro atsiradusią kiaurymę lėtai didėjo iki 12 val., tada staigiai sugriuvo užtvanka ir per 12 min. debitas pasiekė 220 000 m³/s. Po to tekantis debitas staigiai sumažėjo, bet dar 3 val. vanduo laipsniškai tekėjo iš vandens telkinio.

RESCDAM projekte [12] išanalizuotas hipotetinis Kyrkösjärvi tvenkinio užtvankos prie Seinäjoki miesto (Vakarų Suomija) griūtis scenarijus. Kyrkösjärvi užtvanka pastatyta 1981 m. Pylimo ilgis yra 12,5 km, aukštis – nuo 3 iki 10 m. Užtvanka pastatyta daugiausia iš moreninio priemolio. Šiaurinėje užtvankos dalyje yra hidroelektrinė, o rytinėje – durpių šiluminė elektrinė, kuri tvenkinį naudoja kaip aušintuvą. Taip pat Kyrkösjärvi tvenkinys apsaugo miesto gyventojus nuo potvynio. Tvenkinio tūris – 15,8 × 10⁶ m³ esant aukščiausiam tvenkinio lygiui. Vidutinė prietaka į tvenkinį yra 45 m³/s. Sumodeliuotos trys galimos užtvankos griūtis vietos. Pralaužus užtvanką pavojingiausioje vietoje, tekančio vandens maksimalus debitas būtų 2200 m³/s, vanduo pro sugriuvusią užtvanką tekėtų 5 val.

Vertinant Kruonio HAE pavojų priimta, kad užtvankos griūtį galėtų sukelti prasiveržęs vanduo pro aukštutinio baseino betono sienų siūles. Prognozuojamas vandens išsiveržimas vyktų 3 etapais:

1. Sugriuvus vienai 25 m ilgio betono sienos sekcijai, išteka 1,5 mln. m³ vandens, aukštutinio baseino lygis nukrinta 0,5 m.

2. Toliau griūvant gretimoms betono sienos sekcijoms, iš aukštutinio baseino išteka 45,8 mln. m³ vandens. Daroma prielaida, kad per kiekvieną kiaurymę, atitinkančią betono sienos plotą, gali ištekti 1,5 mln. m³ vandens.

3. Likęs vanduo (1,0 mln. m³) lėtai išteka iš aukštutinio baseino.

Pagal betono sienos sekcijų griuvimo eiliškumą sudaryti 2 užtvankos griūtis scenarijai:

a) pirmas scenarijus, kai, sugriuvus pirmajai betono sekcijai, po to sugriūva 2 gretimos sekcijos, po to dar dvi ir t. t. Vandens slėgis tvenkinyje lemtų 11 sekcijų griūtį;

b) antras scenarijus, kai, griuvus pirmajai betono sekcijai, po to sugriūva iš karto po 2 gretimas sekcijas (iš viso 5), o po to – po 1 gretimą sekciją. Šiuo atveju taip pat maksimaliai būtų sugriauta 11 sekcijų. Daugiau sekcijų sugriauti neužtektų patvankos ir vandens masės.

Katastrofos atveju ištekantis iš Kruonio HAE aukštutinio baseino debitas apskaičiuojamas pagal formulę [13]:

$$Q = \frac{8}{27} B_b \sqrt{g} H^{1,5};$$

čia B_b – griūvančios užtvankos plotis m; g – gravitacinė konstanta m/s; H – patvankos aukštis m.

Pagal maksimalaus debito reikšmes įvertinus, kad per vieną sugriautą sienos sekciją gali ištekti 1,5 mln. m³ vandens, apskaičiuotas užtvankos griūtis laikas. Sudaryti pro sugriautą užtvanką tekančio vandens hidrografai. Užtvankos griūtis laikas būtų 4 val., o maksimalus ištekantis debitas iš Kruonio HAE aukštutinio baseino – 5925 m³/s. Jei užtvanka griūtų pagal antrą scenarijų, šie parametrai būtų atitinkamai 3,3 val. ir 7180 m³/s.

Trečiajame užtvankos griūtis scenarijuje tariama, kad pirmajame etape sugriuvusi viena sienos sekcija sukeltų momentinę 30 sienų griūtį. Šiuo atveju maksimalus debitas būtų 40 000 m³/s, o visas vanduo iš aukštutinio baseino ištektų per 1,2 val.

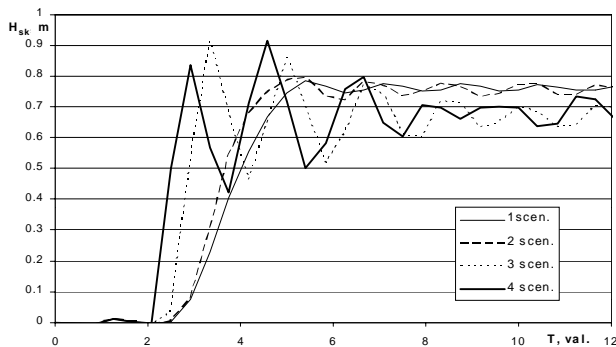
Siekiant patikslinti hidrodinaminio modelio jautrumą, išnagrinėtas ketvirtas griūtis scenarijus, kai maksimalus debitas 80 000 m³/s, o vandens ištekėjimo laikas yra 20 min.

Analizuojant pylimų griūtis galimus padarinius vandens telkiniams, svarbu apskaičiuoti, koks didžiausias įmanomas potvynio bangos aukštis ir per kiek laiko potvynio banga gali pasiekti svarbius objektus (pvz., miestus, gyvenvietes, hidrotechninius statinius ir kt.). Tam tikslui naudojami įvairūs vienmačiai ir dvimačiai skaitmeniniai matematiniai modeliai. Modeliuodami potvynio bangos sklaidą, susiduriame su kai kuriais sunkumais. Pirmiausia labai sudėtinga atlikti modelių kalibravimą ekstremaliomis sąlygomis (nėra matavimų duomenų), be to, rezultatų tikslumą lemia kraštinės modeliavimo sąlygos (sudaryti užtvankų griūtis scenarijai). Įvairių šalių mokslininkų darbuose yra aprašyti užtvankų griūtis padarinių modeliavimo rezultatai [12–15]. Vienmačiai hidrodinaminiai modeliai dažniausiai taikomi ilgoms upių atkarpoms, nes vandens lygio pokyčiai apskaičiuojami pasirinktuose vandens telkinio pjūviuose. Šiuo metu dažnai naudojami MIKE 11, DAMBRK, HEC-RAS vienmačiai hidrodinaminiai modeliai. Šių modelių rezultatai naudojami dvimačių modelių kraštinėms sąlygoms apibrėžti. Norint detaliau išnagrinėti vandens lygių bei tėkmių pokyčius, atsirandančius dėl užtvankų griūtis mažesnėje vandens telkinio akvatorijoje, taiko-

mi dvimačiai skaitmeniniai modeliai (MIKE 21, FLOOD2D, TELEMAC-2D ir kiti).

MIKE 21 HD modulio galimybės leidžia įvertinti galimas užtvankos griūtės pasekmes: potvynio bangos aukštį ir jos sklaidą laiko ašyje.

Hidrodinaminio modelio MIKE 21 kalibravimas buvo atliktas veikiant 1 ir 2 turbinoms pagal matuotas tėkmės greičių reikšmes. 1993 m. liepos 14–15 d. matuotos tėkmės, kai Nemunu tekėjo 242 m³/s debitas, o leidžiamas debitas pro Kauno HE turbinas – 247 m³/s. Sumodeliuoti tėkmės greičiai esant konkrečioms pradinėms sąlygoms buvo palyginti su išmatuotų tėkmės greičių reikšmėmis atitinkamose tvenkinio vertikalse. Koreliacijos koeficientai tarp šių eilučių yra 0,70 ir 0,76. Modelio kalibravimas buvo atliekamas keičiant šurkštumo ir turbulencijos koeficientus. Nustatyta, kad Manningo koeficiento reikšmė $n = 0,032$, o turbulencijos koeficientas $E = 2$ m/s.

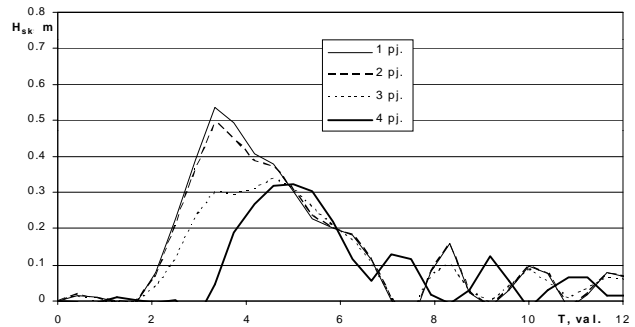


3 pav. Potvynio bangos aukščio kaita prie Kauno HE užtvankos keturiems Kruonio HAE užtvankos griūtės scenarijams (prietaka į Kauno tvenkinį 120 m³/s)

MIKE 21 HD moduliui buvo sumodeliuoti Kauno hidroelektrinės tvenkinio hidrodinaminiai procesai esant apibrėžtomis kraštinėms sąlygoms. Rezultatai pateikti kaip lygio skirtumai 4 taškuose, kurie yra pasirinktuose Kauno tvenkinio pjūviuose. Šie lygio skirtumai rodo potvynio bangos sklaidą pylimo griūtės atveju. 1 pjūvis, kuriame apskaičiuojama lygių skirtumo kaita, yra Kruonio HAE reversiniame kanale, 2 pjūvis nutolęs 200 m pasroviui nuo reversinio kanalo, 3 pjūvis – už 3,5 km nuo reversinio kanalo, 4 pjūvis – prie Kauno HE užtvankos.

Analizė parodė, kad keturių griūtės scenarijų potvynio bangos aukščio kaitos pobūdis prie Kauno HE užtvankos yra panašus visuose keturiuose griūtės scenarijuose (3 pav.). Skiriasi tik laikas, per kurį potvynio banga pasiekia Kauno HE užtvanką; kuo didesnis maksimalus vandens debitas prasiveržia pro Kruonio HAE užtvanką katastrofos metu, tuo greičiau banga pasiekia hidroelektrinę. Vandens lygių skirtumo svyravimų amplitudė Kauno tvenkinyje taip pat priklauso nuo maksimalaus vandens debito. Tačiau visais tirtais atvejais vandens lygis prie Kauno HE užtvankos pakiltų ne daugiau kaip 0,9 m.

4 paveiksle pavaizduota sumodeliuota situacija, kai Kauno HE uždoriai atidaryti praėjus 30 min. nuo Kruo-



4 pav. Potvynio bangos aukščio kaita Kauno hidroelektrinės tvenkinyje pagal pirmą Kruonio HAE griūtės scenarijų (prietaka į Kauno tvenkinį yra 120 m³/s)

nio HAE griūtės pradžios (pagal pirmąjį scenarijų debitas iš Kauno tvenkinio yra 3000 m³/s). Tuo atveju maksimalus bangos aukštis prie Kauno HE užtvankos būtų tik 0,32 m.

Katastrofinių pavasario potvynių metu Kauno HE tvenkinio vandens lygis prie Kauno HE gali būti pakilęs iki maksimalaus – 45,6 m lygio. Pagal Kruonio HAE avarijos modeliavimo rezultatus bangos aukštis prie Kauno HE būtų apie 80 cm. Galima daryti išvadą, kad įvykus avarijai Kruonio HAE, maksimalių potvynių metu Kauno HE statiniai apkraunami papildoma hidrostatine apkrova ir gali iškilti persipylimo per Kauno HE grėsmė. Tačiau tokios avarijos tikimybė (dėl Kruonio HAE griūtės) yra labai maža.

Visiškai neleistina, kad Kauno HE betono užtvanka ekstremaliomis sąlygomis būtų papildomai apkrauta. Didelio pavasario potvynio metu Kauno HE pralaidos yra atidarytos, o tvenkinyje vandens lygis yra aukščiausias. Todėl siekiant sumažinti riziką ir išvengti HE užtvankos griūtės dėl tvenkinio vandens lygio pakilimo potvynio metu, Kruonio HAE aukštutiniame baseine reikėtų laikyti tik būtiną vandens atsargą (apie 10 mln. m³), kuri reikalinga staiga sustojus Ignalinos AE. Tokio įvykių scenarijaus pasikartojimas yra 1 kartą per 100 arba 1000 metų.

4. BALTIJOS JŪROS IR KLAIPĖDOS SAŠIAURIO TYRIMAI

Klaipėdos uostas yra plečiamas pietų (gilinant Klaipėdos sąsiaurį ir statant naujas bei rekonstruojant senas krantines) bei šiaurės kryptimi (rekonstruojant įplaukos kanalą). Numatyta atstatyti Šventosios uostą, tiriama naujo giliavandens jūrų uosto galimybė. Plečiant Klaipėdos uostą kyla poveikio aplinkai vertinimo klausimai Klaipėdos sąsiauryje ir Baltijos jūros priekrantėje. Tokia ūkinė veikla sukelia vandens telkinio tėkmės struktūros pokyčius, kurie daro įtaką pernašos bei akumuliacijos procesams ir keičia ekosistemų egzistavimo sąlygas. Klaipėdos uosto akvatorijos monitoringo tyrimai (tėkmių matavimai, nešmenų kiekio ir jų cheminės sudėties nustatymas) leidžia įvertinti dabartinę Klaipėdos sąsiaurio ir Baltijos jūros priekrantės būklę. Tačiau

tik modeliuojant vandens telkinių procesus galima nustatyti pokyčius, kurių priežastis yra antropogeninė veikla. Ypač svarbus tėkmių, nešmenų ir bangų procesų modeliavimas esant ekstremalioms gamtinėms sąlygoms (štomų arba didelių potvynių metu), nes neturime išmatuotų tėkmės parametrų. Išvardytus uždavinius galima spręsti tik naudojant modernią programinę įrangą.

Modeliavimo rezultatai ypač naudingi, kai reikia parodyti, ar parinkti uosto krantinių variantai bei įplaukos kanalo gilinimas neturės įtakos jautrioms Kuršių marių ir Baltijos jūros ekosistemoms bei krantų erozijai.

Svarbiausi Klaipėdos uosto plėtros sąsiauryje uždaviniai:

- uosto įplaukos kanalo ir akvatorijos gilinimas;
- naujų krantinių statyba;
- iškasto grunto gramzdinimo vietų parinkimas;
- inžinerinių gamtosaugos priemonių pagrindimas.

Uosto gilinimas sukelia Klaipėdos sąsiaurio pralaidumo didėjimą, o krantinių statyba – mažėjimą. Todėl svarbu nustatyti šios ūkinės veiklos suminį poveikį Klaipėdos sąsiauriui, kad krantinių planinė padėtis nesukeltų naujų dugno bei krantų erozijos židinių.

Hidrologijos laboratorijoje sumodeliuoti Klaipėdos sąsiaurio nešmenų (smėlio ir dumblo) pernašos bei akumuliacijos procesai įvairiomis hidrometeorologinėmis sąlygomis. Modeliavimo rezultatai leidžia sudaryti sąsiaurio balansą ir prognozuoti nešmenų sankaupų vietas sąsiauryje. Kartojant skaičiavimą kiekvienam galimam hidrometeorologinės situacijos scenarijui arba ūkinės veiklos variantui, nustatomi aplinkos parametrų pokyčiai ir parenkami optimalūs sprendiniai.

Nešmenų pernašos procesai Klaipėdos sąsiauryje buvo modeliuojami naudojant MIKE 21 ST (smėlio pernašos) modelį. Šiuo modeliu galima apskaičiuoti vienetinį velkamų nešmenų debitą ($m^3/metai$) bet kuriame vandens telkinio pjūvyje ir galimus dugno pokyčius (erozijos ir akumuliacijos zonas), kuriuos sukelia tėkmių poveikis. ST modelio pradiniai duomenys yra vandens telkinio batimetrija, tėkmės greičių laukai (sumodeliuoti HD modeliu), dugno šiurkštumo koeficientas, santykinis nešmenų tankis, dugno medžiagos aktyvumas, nešmenų dalelių skersmuo ir jų pasiskirstymas.

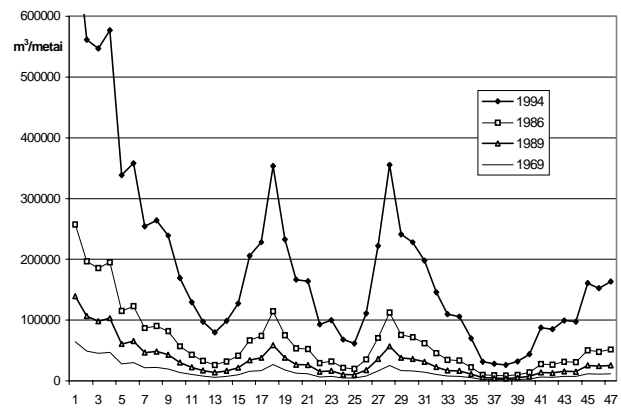
Pagal būdingus mėnesinius tėkmės debitus įvairaus vandeningumo metais suskaičiuoti 47 sąsiaurio pjūvių velkamų nešmenų debitas. Didžiausias nešmenų debitas nustatytas labai vandeningais 1994 m. Tai lėmė didelis pavasario potvynis, nes kovą vidutinis debitas buvo 2165, o balandį – 2802 m^3/s . Vidutiniais (1986 m.) ir labai sausais metais (1969) nešmenų debitas gerokai mažesnis (lent.).

Tėkmės krypties į Baltijos jūrą atveju sumodeliuoti nešmenų vienetiniai debitas, tėkmės debitams keičiantis nuo 500 iki 2800 m^3/s . Didžiausi vienetiniai nešmenų debitas nustatyti tiriamos Klaipėdos sąsiaurio atkarpos pirmojo kilometro ruože. Vienetinio nešmenų debito padidėjimas pastebimas ruožuose nuo 16 iki 22, nuo 26 iki 32 ir nuo 41 iki 47 pjūvių (5 pav.).

Pagal nešmenų debitų kreives visuose Klaipėdos sąsiaurio pjūviuose galima nustatyti akumuliacijos zonas.

Lentelė. Nusėdusių nešmenų kiekis Klaipėdos sąsiauryje įvairaus vandeningumo metais

Metai	Nešmenų debitas $m^3/metai$		Nusėdusių nešmenų kiekis sąsiauryje $m^3/metai$
	1 pjūvyje	47 pjūvyje	
1994) (labai vandeningi)	737 360	163 600	573 760
1986) (vandeningi)	257 555	51 340	206 215
1989) (vidutiniai)	139 320	25 720	113 600
1973) (vid. sausi)	136 430	27 060	109 370
1969) (labai sausi)	64 100	11 680	52 420



5 pav. Nešmenų debito pasiskirstymas įvairaus vandeningumo metais esant tėkmei į jūrą

Tekant tėkmės debitui iš marių į jūrą nešmenys kaupsis nuo 7 iki 13, nuo 19 iki 24 ir nuo 29 iki 37 pjūvių.

Esant tėkmei iš Baltijos jūros į Kuršių marias didžiausias smėlio pernašos debitas yra jūros vartų akvatorijoje nuo 42 iki 47 pjūvio. Taip pat nešmenų srautai padidės nuo 1 iki 8, nuo 16 iki 19 ir nuo 26 iki 30 pjūvio. Tiek esant tėkmei į Baltijos jūrą, tiek į marias nešmenų vienetinio debito padidėjimo akvatorijos beveik sutampa, tik skiriasi vienetinio debito maksimalios reikšmės. Kai tėkmė nukreipta į jūrą, tai didžiausias nešmenų srautas yra 1 pjūvyje, o kai tėkmė nukreipta į sąsiaurį – 47 pjūvyje.

Iš Klaipėdos uosto akvatorijos iškastas smėlis buvo gramzdinamas Baltijos jūroje. Tačiau šis smėlis gali būti panaudotas apšilimo smėlio atsargoms papildyti. Svarbu nustatyti smėlio išpylimo vietą taip, kad jūros nešmenų pernašos sąlygomis smėlis kauptųsi pageidaujame kranto ruože. Baltijos jūros priekrantės nešmenų pernašos procesus lemia bangavimas ir tėkmės, kurie priklauso nuo vėjo režimo. Modeliavimo metodais buvo sprendžiamas uždavinys, kaip jūrų uosto įplaukos kanale iškastą smėlį išpilti Melnragės ruože, kad audrų metu susidarytų atsparus nuoplovas apšilimui.

5. IŠVADOS

1. Inžinerinė hidrologija per pastarąjį dešimtmetį įgijo naujų bruožų. Pasitelkę naujausius tyrimo metodus ir naudodami sukaupias žinias apie Lietuvos vandens telkinius bei nuotėkio formavimosi dėsninumus, galime spręsti sudėtingus aplinkos inžinerijos uždavinius. Inžinerinių statinių sąveikos su aplinka tyrimai bei procesų modeliavimas leidžia įvertinti aplinkos pokyčius dėl ūkinės veiklos ir pasiūlyti optimalius statinių sprendinius.

2. Klimato kaitos įtaka upių nuotėkiui iširta Šiaurės Europos fone. Nustatyta, kad Lietuvos upių nuotėkio charakteristikos turi šias kaitos tendencijas: upių metinis nuotėkis turi reikšmingą neigiamą tendenciją; pavasario potvynio maksimalūs debitai turi reikšmingą neigiamą tendenciją; upių žiemos nuotėkis turi ilgalaikę didėjimo tendenciją.

3. Ekstremalių situacijų vertinimas eksploatuojant vandens išteklius svarbus dviem atvejais: 1) hidrotechninių statinių pavojui ir rizikai nustatyti, kai esama reatos tikimybės pavasario potvynio debitų, 2) gamtosaugos rizikai nustatyti, kai sumažėjęs upių sausmečio nuotėkis sukuria stresinę situaciją vandens ekosistemose; sumažėja produktyvumas, žūsta saugomos gyvūnų rūšys, sumažėja savivalos galimybės.

4. Pavojų žmonėms ir aplinkai kelia Kruonio HAE dėl aukštutiniam baseine sukauptos vandens potencialios energijos. Kruonio HAE aukštutinio baseino pylimų griūties maksimalūs padariniai galimi tik katastrofinių Nemuno pavasario potvynių metu, kai Kauno HE tvenkinyje yra aukščiausias vandens lygis (APL), o Kauno HE užtvankai tektų papildomos hidrostatinio slėgio apkrovos, kurioms ji neskaičiuota. Tekant minimaliam ir vidutiniam vandens debitui Kauno tvenkinyje, po Kruonio HAE avarijos reiktų kuo greičiau informuoti apie įvykį Kauno HE, kad būtų atidaryti elektrinės uždoriai ir papildomas vandens kiekis būtų kuo greičiau išleistas iš Kauno HE tvenkinio.

5. Baltijos jūros ir Kuršių marių hidrodinaminio režimo tyrimai bei bangavimo, masių apykaitos, nešmenų pernašos ir akumuliacijos procesų modeliavimas leido nustatyti ribines Klaipėdos jūrų uosto plėtros sąlygas, pagrįsti uosto gilinimo bei krantinių statybos sprendimus, pasiūlyti gamtosaugos priemones, mažinančias ūkinės veiklos poveikį vandens telkiniams.

Gauta 2006 07 27

Parengta 2006 10 15

Literatūra

1. MIKE 21. Environmental Hydraulics. Danish Hydraulic Institute, 2002.
2. MIKE 21. A Modelling System for Estuaries, Coastal Waters and Seas. User Guide and Reference Manual. Danish Hydraulic Institute, 2002.
3. MIKE 21. Wave Modelling. User Guide. Danish Hydraulic Institute, 2002.

4. MIKE 21. Sediment Transport Modelling. User Guide. Danish Hydraulic Institute, 2002.
5. Dayan U., Lamb D. Global and synoptic-scale weather patterns controlling wet atmospheric deposition over Central Europe // *Atmospheric Environment* 39. Amsterdam, 2005. P. 521–533.
6. Frisk T., Klavins M., Radionov V., Kokorite I., Briede A. Long-term changes of hydrologic regime and aquatic chemistry in inland waters of Latvia // *J. the Finish Environment*. 2002. Vol. 586. P. 11–19.
7. Hisdal H., Holmqvist E. E., Hyvärinen V., Jónsson P., Kuusisto E., Larsen S.E., Lindström G., Ovesen N. B., Roald A. L. Long time series – a review of Nordic studies, Climate, Water and Energy project, Report No. 2. Reykjavik, Iceland, 2003.
8. Reihan A. Long-term water discharge analysis in Estonia // *XXII Nordic Hydrological Conference*. Rõros, 2002. Vol. 2. P. 597–602.
9. Hisdal H., Holmqvist E., Kuusisto E., Lindström G., Roald A. L. Has streamflow changed in the Nordic countries // *XXIII Nordic Hydrological Conference*. Tartu. 2004. Vol. 2. P. 633–643.
10. WMO. Analysing long time series of hydrological data with respect to climate variability. TD-No. 224. Geneva, Switzerland, 1988.
11. Fread D.L. A breach erosion model for earthen dams // *Proceedings of the Speciality Conference on „Delineation of Landslide, Flash Flood, and Debris Flow Hazards in Utah“*. Utah State University, Logan, 1984. 30 p.
12. RESCDAM: Development of Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analysis / Final Report. Grant Agreement No. Subv 99/52623. Community Action Programme in the Field of Civil Protection, 2001.
13. Norwegian Water Resources and Energy Administration (NVE), Dam Safety Regulations, 1998.

**Brunonas Gailiūšis, Milda Kovalenkoviėnė,
Jūratė Kriaučiūnienė**

MAIN DIRECTIONS OF ENGINEERING HYDROLOGY IN LITHUANIA

Summary

The object of research of Lithuanian engineering hydrology today is regime alterations of rivers caused by climate warming, determination of the environmental impact of the activities of large industrial and transport facilities and substantiation of environmental safety measures. The main tasks at this stage are:

- evaluation of changes in river runoff caused by climate variation;
- evaluation of exploitation risks of hydrotechnical structures;
- investigation of the hydrodynamic regime of the Klaipėda Strait and the Baltic Sea with the determination of the impact of the industrial development of the sea-port on the environment.

For solving these problems, new data processing and process modeling methods are applied. It was established that the runoff characteristics of the Lithuanian rivers reveal the following

trends: then annual runoff and the maximal spring flood flow rates decrease while their winter runoff increases. The scenario analysis of disastrous failures of the Kruonis Pumped Water Power Plant showed that a danger to the city of Kaunas can be caused only by an accident coinciding with a flood of the catastrophic scale. The results of hydrodynamic modeling of the Klaipėda Strait enabled to determine the limit conditions of the seaport development and industrial expansion and to recommend the means of environmental protection.

Key words: engineering hydrology, water body studies, environmental impact assessment

**Брунонас Гайлюшис, Милда Коваленковене,
Юрате Крячюнене**

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ИНЖЕНЕРНОЙ ГИДРОЛОГИИ ЛИТВЫ

Резюме

Объект современных исследований инженерной гидрологии Литвы – изменения режима рек на фоне потепления климата, оценка влияния крупных объектов энергетики и транспорта на окружающую среду и обоснование природоохранных мероприятий.

Основные задачи на этом этапе:

- колебание стока рек в связи с изменением климата;
- оценка риска при эксплуатации гидротехнических сооружений;
- исследование режима Балтийского моря и Клайпедского пролива с целью определить влияние развития морского порта на окружающую среду.

Для решения этих задач используются современные методы обработки данных наблюдений и моделирование процессов. Установлено, что характеристики стока рек Литвы имеют следующие тенденции: ряды годового стока и максимальных расходов половодья имеют отрицательный тренд, а зимний сток – постоянную тенденцию увеличения. Анализ сценариев разрушения верхнего бассейна гидроаккумулирующей станции показал, что опасность Каунасской ГЭС городу Каунас существует лишь при прохождении катастрофических весенних половодий. Результаты моделирования гидродинамического режима Клайпедского пролива являются основой для определения пределов развития морского порта и разработки природоохранных мероприятий.

Ключевые слова: инженерная гидрология, оценка влияния на окружающую среду, моделирование и исследование водоемов