

URBANIZACIJOS NEMUNO SALPOJE POVEIKIS POTVYNIŲ RIZIKAI (ATKARPOS NUO NEMUNO IR NERIES SANTAKOS IKI VIRBALIŪNŲ PAVYZDŽIU)

Rita MAZILIAUSKIENĖ, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, *el. paštas:*
rita.maziliauskiene@stud.vdu.lt

Santrauka

Potvyniai yra vienas dažniausiai pasitaikančių gamtos reiškinių, sukeliančių reikšmingą neigiamą poveikį žmonių sveikatai ir gyvybei, aplinkai, kultūros paveldui, ekonominei veiklai ir infrastruktūrai. Siekiant įvertinti Nemuno potvynių ir jų užliejamų teritorijų kaitą, išanalizuoti pagrindines maksimalius potvynius lemiančias priežastis, prognozuoti potvynių ir užliejamų teritorijų pasikeitimą dėl klimato kaitos ir urbanizacijos poveikio, įvertinti urbanizacijos įtaką pasirinktai Nemuno atkarpai, taikant hidrodinaminį modeliavimą, atliekamas tiriamasis darbas: „Urbanizacijos Nemuno salpoje poveikis potvynių rizikai (atkarpos nuo Nemuno ir Neries santakos iki Virbaliūnų pavyzdžiu)“.

Kuriant pradinį tiriamajame darbe nagrinėjamo Nemuno upės ruožo modelį, panaudoti AB „Vidaus vandens kelių direkcija“ pateikti nagrinėjamos atkarpos batimetriniai duomenys – dugno aukščių skaitmeninis reljefo modelis ir šios atkarpos pakrančių aukščių situacijos modelis. Taip pat atliktų natūrinių matavimų duomenys esant nusistovėjusiai tėkmei. Informacijos šaltinių analizėje nagrinėjama potvynių situacija tiek Lietuvoje, tiek kitose pasaulio šalyse, jų valdymo priemonės, galimybės, klimato ir urbanizacijos poveikis Nemuno potvyniams, urbanizacijos plėtra tiriamajame darbe nagrinėjamame Nemuno upės ruože. Išsamiai analizuojama naudojama programinė įranga, jos galimybės, pateikiami tyrimo metu gauti rezultatai, išvados bei rekomendacija.

Atliekant hidrodinaminį modeliavimą nustatyta, kad vandens lygio pokytis, kuriam įtaką darytų pakrančių plėtra – urbanizacija tiriamajame darbe nagrinėjamoje Nemuno atkarpoje – nedarytų reikšmingo poveikio, kuris net prie didžiausio debito 3230 m³/s potvynio, esant intensyviai pakrančių plėtrai, atkarpos pabaigoje – aukštupyje – susidaro tik 0,46 m.

Reikšminiai žodžiai: vandens lygio pokytis, reikšmingas poveikis, Nemuno upė.

Įvadas

Potvyniai yra vienas dažniausiai pasitaikančių gamtos reiškinių, sukeliančių reikšmingą neigiamą poveikį žmonių sveikatai ir gyvybei, aplinkai, kultūros paveldui, ekonominei veiklai ir infrastruktūrai. Siekiant įvertinti Nemuno potvynių ir jų užliejamų teritorijų kaitą, išanalizuoti pagrindines maksimalius potvynius lemiančias priežastis, prognozuoti potvynių ir užliejamų teritorijų pasikeitimą dėl klimato kaitos ir urbanizacijos poveikio, įvertinti urbanizacijos įtaką pasirinktai Nemuno atkarpai, taikant hidrodinaminį modeliavimą, atliekamas tiriamasis darbas: „Urbanizacijos Nemuno salpoje poveikis potvynių rizikai (atkarpos nuo Nemuno ir Neries santakos iki Virbaliūnų pavyzdžiu)“.

Pagrindinė tyrimo problema išreiškiama klausimu: kaip keičiasi potvynių dinamika keičiantis tiek klimato sąlygoms, tiek urbanizacijos plėtrai potvynių užliejamose teritorijose?

Šio tyrimo objektas – Nemuno upės ruožas nuo Neries žiočių iki Virbaliūnų gyvenvietės – šiame ruože esantis tarptautinis vidaus vandens kelias E-41 bei šalia jo išsidėsčiusios sparčiai besivystančios, urbanizuojamos gyvenvietės – Lampėdžiai, Šilelis, Kačerginė, Zapyškis, Kulautuva.

Intensyvūs urbanizacijos bei klimato kaitos pokyčiai, jų sąveika daro itin didelį poveikį potvynių dinamikai tyrimo metu analizuojamame ruože, taip pat ir plačiąja prasme analogiškose situacijose visame pasaulyje. Todėl siekiant suvaldyti tam tikrus procesus ir išlaikyti harmoniją tarp gamtos ir žmogaus veiklos, labai aktualu pasverti, kur yra riba, ir kiek gali žmogus veikti, nesukeldamas dar didesnių neigiamų padarinių tiek sau, tiek aplinkai.

Potvynių raida ir jiems įtaką darantys veiksniai tiek visame pasaulyje, tiek Lietuvoje nagrinėjami jau daugelį metų, todėl tyrimo metu bandoma įvertinti potvynių dinamiką, atsižvelgiant į klimato kaitos ir urbanizacijos poveikio scenarijus.

Pagrindinis darbo tikslas – įvertinti urbanizacijos Nemuno salpoje mastą ir jos įtaką potvynių rizikai, taikant hidrodinamikos modelį.

Išsikeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Aptarti potvynių grėsmės ir rizikos kaitą kintant klimatui ir intensyvėjant rizikos urbanizacijai upių salpose.
2. Atlikti urbanizacijos įtakos tyrimą pasirinktai Nemuno atkarpai, taikant hidrodinaminį modeliavimą.

Tyrimų objektas ir metodai

Šio tyrimo objektas yra Nemuno upės, apie 21,9 km ruožas nuo Neries žiočių iki Virbaliūnų gyvenvietės – šiame ruože esantis tarptautinis vidaus vandens kelias E-41 bei šalia jo išsidėsčiusios sparčiai besivystančios, urbanizuojamos gyvenvietės – Lampėdžiai, Šilelis, Kačerginė, Zapyškis bei Kulautuva.

Nemunas – didžiausia ir svarbiausia Lietuvos upė. O Nemuno upės vidaus vandens kelio E41 ruožo ilgis siekia net 291,2 km. Nemunas pagal ilgumą (937 km) yra 14-a, o pagal baseino plotą (97 924 km²) – 15-a Europos upė. Nors

didesnė upės vagos dalis priklauso Baltarusijai, tačiau baseino ploto atžvilgiu didesnė jo dalis priklauso Lietuvos teritorijai: Lietuvoje 47,5 %, Baltarusijoje 46,4 % ir likusi maža dalis priklauso Lenkijai ir Latvijai (Jablonskis, 1994).

Kauno rajono savivaldybės gyventojų skaičius 2022 m. sausio 1 d. buvo 95 491, o 1996–2022 m. laikotarpiu padidėjo 17 932 gyventojais, arba 23,12 %. Ši žiedinė savivaldybė, supanti Kauno miestą, yra viena sparčiausiai augančių Lietuvoje. Tyrime analizuojamame ruože, sąlyginai netoli Kauno miesto centro, abipus Nemuno, pakrantėse, išsidėstę šios, sparčiai urbanizuojamos bei patrauklios savo išskirtinu kraštovaizdžiu gyvenvietės: Kulautuva, Zapyškis, Kačerginė, Raudondvaris, Šilelio kaimas, Lampėdžiai, Marvelė ir kt. 2017 m. vasario 22 d. LRV nutarimu Nr. 121, Kačerginei kartu su Kulautuva ir Zapyškiu suteiktas kurortinės teritorijos statusas.

Nuo Kauno rajono savivaldybės teritorijos bendrojo plano 1-ojo pakeitimo rengimo pradžios iki 2013 m. birželio mėn. gauti 437 visuomenės pageidavimai (jie sudaro 0,49 % visų Kauno rajono gyventojų), kurie apima 510 sklypų (jie sudaro 0,66 % Kauno rajone esančių sklypų).

Daugumoje pageidavimų išreikštas personalinis interesas – pastatyti namą. T. y. didžiąją dalį pageidavimų (~72 proc.), sudaro prašymai keisti žemės sklypų paskirtį į kitos paskirties žemę (gyvenamųjų pastatų statybai). Dalis gautų pageidavimų yra susiję su gamtinio karkaso „naikinimu“, siekiant ateityje sklypuose numatyti gyvenamųjų pastatų statybas. Atlikta teritorinė analizė parodė, kad daugiausia gautų pageidavimų yra išsidėstę 5 km spinduliu nuo Kauno miesto teritorijos, tostant nuo miesto pageidavimų skaičius ženkliai mažėja. Maždaug 32 % visų gautų pasiūlymų patenka į nustatytas urbanizuojamas teritorijas (Kauno ..., 2013).

Šiuo metu jau yra rengiamas Kauno rajono savivaldybės teritorijos bendrojo plano 2-asis pakeitimas. Vienas iš šio pakeitimo uždavinių yra įvertinti potvynių grėsmės ir rizikos žemėlapi, patvirtintą Lietuvos Respublikos aplinkos ministro 2014 08 06 įsakymu Nr. D1-655 „Dėl Potvynių grėsmės ir potvynių rizikos žemėlapių Nemuno, Ventos, Lielupės ir Dauguvos upių baseinų rajonuose patvirtinimo“ bei atsižvelgiant į jį patikslinti urbanizuojamas teritorijas.

Pagal šiuo metu galiojantį teisinį reglamentavimą, Kauno rajono savivaldybės teritorijos bendrojo plano 2-asis keitimas turi apibrėžti plėtros sąlygas urbanizuojamose teritorijose, patenkančiose į užliejamas teritorijas, įvertinant patvirtintus potvynių ir rizikos žemėlapius. Formuojant koncepciją bus vadovaujama esamos būklės metu sudaryta galimų urbanizuoti teritorijų pagal Kauno rajono savivaldybės teritorijos bendrojo plano 1-ojo pakeitimo ir koregavimo sprendinius potvynių grėsmės teritorijose schema.

Darna vystymosi principas reikalauja urbanizacijos procesus valdyti ir reguliuoti nedarant žalos aplinkai. Nevaldoma urbanizacija gali turėti neigiamos įtakos ir negrįžtamų pasekmių aplinkai, visų pirma gamtinei ir kultūrinei (Kauno ..., 2020).

Programinė įranga „HEC-RAS“. HEC-RAS (angl. HEC-RAS River Analysis System. U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Centre) – nemokama Jungtinių Amerikos Valstijų Armijos korpuso sukurta programinė įranga, kuri puikiai tinka ne tik upių tinklo ir potvynių modeliavimui, vienmatei nusistovėjusiai, vienmatei ir dvimatei nenusistovėjusiai tėkmei, nešmenų transportavimui, vandens temperatūrai ir kt., parametrų modeliavimui, bet ir melioracijos griovių sistemos arba net atskirai paimtų ruožų modeliavimui ir kt. Tačiau tam būtina turėti skaitmeninį paviršiaus modelį, iš kurio į modeliavimo sistemą perkeliama visi reikalingi su geometrine forma susiję ir modeliavimui reikalingi parametrai (Dumbrasas ir kt., 2017).

Pagal modelių erdvinę klasifikaciją HEC – RAS priskiriamas prie vienmačių ir dvimačių hidraulinių modelių. Šiame tiriamajame darbe naudojama naujausia HEC – RAS 2D versija (6.4.1).

HEC-RAS 2D modeliavimo vienas esminių, iš daugelio kitų privalumų ir galimybių tai, kad HEC-RAS gali atlikti 1D modeliavimą, 2D modeliavimą (be 1D elementų) ir kombinuotą 1D ir 2D modeliavimą. Galimybė atlikti kombinuotą 1D / 2D modeliavimą tame pačiame nenusistovėjusios tėkmės modelyje leidžia vartotojams dirbti su didesnėmis upių sistemomis, naudojant 1D modeliavimą, jeigu reikia (pavyzdžiui, pagrindinę upių sistemą), ir 2D modeliavimą tose srityse, kurioms reikalingas aukštesnis hidrodinaminio tikslumo lygis.

Modelis sudarytas iš dviejų pagrindinių komponentų, skirtų nusistovėjusiai ir nenusistovėjusiai tėkmei modeliuoti ir nešmenų judėjimo skaičiavimams atlikti.

Modelio skaičiavimo pradžia turi būti nusakytos tokios pakraštinės sąlygos:

- debitas ruožo pradžioje;
- ruožo pabaigoje vienas iš atvejų: žinomas vandens lygis, debitų kreivė arba žinomas vandens nuolydis.

Šio tiriamojo darbo atveju buvo nusakytos šios pakraštinės sąlygos, tai išmatuotas debitas, ties Nevėžio intaku į Nemuną bei Lampėdžiais ir išmatuotas vandens lygis.

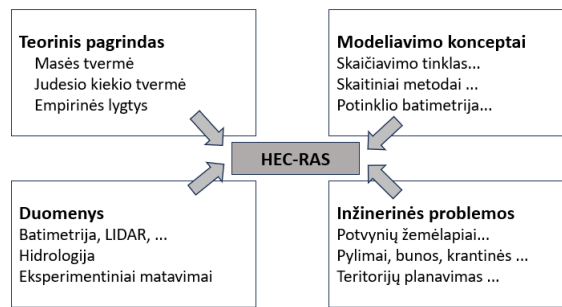
Įvedant debitų kreivę būtina įvertinti histerezės reiškinį, kitaip paklaidos gali būti žymios (Dumbrasas ir kt., 2008).

Kuriant pradinį, tiriamajame darbe nagrinėjamo Nemuno upės ruožo modelį, panaudoti AB „Vidaus vandens kelių direkcija“ pateikti nagrinėjamos atkarpos batimetriniai duomenys – dugno aukščių skaitmeninis reljefo modelis ir šios atkarpos pakrančių aukščių situacijos modelis. Taip pat atliktų natūrinių matavimų duomenys esant nusistovėjusiai tėkmei. Nusistovėjusi tėkmė – kai upės charakteristikos laikui bėgant nesikeičia.

2023 m. rugsėjo 1 d. apie 14:00 val. buvo išmatuotas Nemuno upės tėkmės debitas ties Lampėdžių vandens matavimo stotimi. Gauta vidutinė debito reikšmė – 219,25 m³/s. Pagal Babtų vandens matavimo stoties vandens lygių duomenis, natūrinių matavimų metu į Nemuną iš Nevėžio upės pritekėjo apie 6 m³/s vandens. Natūriniai matavimai atlikti nagrinėjamo ruožo pradžioje ties Lampėdžių vandens matavimo stotimi, vandens lygiui esant 18,94 m (X: 54.906925930970225, Y: 23.820408417340303).

HEC-RAS modelio teoretinis pagrindimas ir taikymo galimybės. HEC-RAS programinė įranga yra sukurta gana seniai ir iki dabar nuolat tobulinama. Naudota 6.4 versija, kuri apima tiek 1D, tiek planinius hidrodinamikos modelius. Nors jis skirtas ne moksliniams tyrimams, bet inžinieriams praktikams, yra grįstas fizikos dėsniais ir bazinėmis

matematikos lygtimis, todėl gauti rezultatai visada turi aiškią fizikinę prasmę (žr. 1 pav.) (Dumbrasukas, 2022). Šiame tiriamajame darbe naudojamas tik planinis (2D dvimatis) modelio variantas.



1 pav. HEC-RAS modelio koncepcinė schema

Šaltinis: Dumbrasukas, 2022.

Fig. 1. Conceptual diagram of the HEC-RAS model

Source: Dumbrasukas, 2022.

Dvimačio modelio atveju tėkmę aprašančios pagrindinės lygtys. HEC-RAS vartotojo vadove (HEC-RAS Hydraulic Reference Manual Version 6.2) pateikiama labai išsami teorinė dalis su visais niuansais tiek 1D, tiek 2D modeliavimo atvejais. Straipsnyje pateikiama tik trumpa ištrauka iš šio dokumento, skirta tik dvimačio modelio pagrindinėms lygtims (angl. governing equations) ir esminėms jų taikymo prielaidoms (Dumbrasukas, 2022).

Sąlygos ir prielaidos.

Pritaikius judėsio kiekio tvermės dėsnį (fizikoje žinomą kaip antrą Niutono dėsnį), elementariam skysčio tūriui išvestos Navjė-Stokso lygtys, kurios apibūdina skysčių judėjimą trimatėje erdvėje. Kuriant HEC-RAS modelį, upių vagų ar kanalų tėkmės modeliavimo kontekste taikomi tam tikri supaprastinimai. Viena supaprastintų lygčių sistema yra seklios tėkmės lygtys. Čia daroma prielaida, kad srautas nesuspaudžiamas, tankis ir hidrostatinis slėgis nekintantys, o lygtys suvidurkintos Reinoldso skaičiaus atžvilgiu taip, kad turbulentinė tėkmė aproksimuojama taikant sukurinę klampą. Taip pat daroma prielaida, kad vertikali skalė (z) yra daug kartų mažesnė lyginant su horizontalia (x, y) skale. Dėl to vertikalus greitis yra mažas, o slėgis yra hidrostatinis, ko pasekoje gaunama diferencinė seklaus srauto (HEC-RAS atveju SW) lygčių sistema (Dumbrasukas, 2022).

Kai kuriuose sekliuose srautuose barotropinio slėgio gradiento (gravitacijos) ir tangentiniai pasipriešinimai yra dominuojantys momentų lygčių nariai, o nepastovumo, advekcijos ir klampos nariai gali būti nepaisomi. Tada momentų lygtis tampa difuzijos bangos aproksimacijos dvimatė forma. Sujungus šią lygtį su masės vientisumo lygtimi, gaunamas lygties modelis žinomas kaip sekliojo srauto lygčių difuzinės bangos aproksimacija (HEC-RAS atveju DSW) (Dumbrasukas, 2022).

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

Masės vientisumo lygtis diskretizuojama naudojant baigtinio tūrio metodą. Smulkios tinklelio detalės apibūdinamos kaip parametrai, atspindintys kelis tūrių ir šoninių paviršiaus plotų integralus. Dėl to skysčio masės pernešimas įvertina smulkaus mastelio topografiją kiekvienos atskiros gardelės viduje. Kadangi ši idėja susijusi tik su masės vientisumo lygtimi, ji gali būti naudojama nepriklausomai nuo momentų lygties versijos (Dumbrasukas, 2022).

Masės vientisumo lygtis.

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

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

Kur: t – laikas; u ir v – greičio komponentai Dekarto koordinatėse; h – gylis; q – srauto pritekėjimas/ištekėjimas. Vektorinėje formoje lygtis užrašoma taip:

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

Kur: $V = (u, v)^T$ – greičio vektorius; ∇ - gradiento operatorius, kurio išraiška tokia: $\nabla = (\partial/\partial x, \partial/\partial y)^T$ (Dumbrasukas, 2022).

Momentų lygtis.

Kai horizontalios ilgio skalės yra daug didesnės nei vertikaloji, tūrio tvermė reiškia, kad vertikalus greitis yra mažas. Navjė-Stokso vertikalaus momento lygtis gali būti naudojama norint pagrįsti, kad slėgis yra beveik hidrostatinis. Darant prielaidą, kad nėra slėgio gradiento (kintamo tankio), vėjo poveikio ir nehidrostatinio slėgio, galima taikyti

vertikaliai suvidurkintos momentų lygties versiją. Vertikalaus greičio ir vertikalų išvestinių lygties narių galima nepaisyti (tiek masės vientisumo, tiek momentų lygtyse). Tuomet gaunamos tokios seklaus srauto dvimatės formos lygtys:

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

Kur: t – laikas; u ir v – greičio komponentai Dekarto koordinatėse; g – gravitacijos pagreitis; z_s – vandens lygio altitudė; $v_{t,xx}$ ir $v_{t,yy}$ – horizontalios dedamosios sukurinio klampio koeficientai; $\tau_{b,x}$ ir $\tau_{b,y}$ – tangentinių įtempimų vagos dugne horizontaliosios dedamosios; $\tau_{s,x}$ ir $\tau_{s,y}$ – vėjo tangentinių pasipriešinimų horizontaliosios dedamosios; h – vandens gylis; f_c – Koriolio jėgos parametras (Dumbrasukas, 2022).

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

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

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

HEC-RAS modelyje taikant šias lygčių sistemas yra galimybė rinktis vieną ar kitą formą, eliminuojant sąlyginai nereikšmingus lygties narius, priklausomai, kokių tikslų siekiama. Tarkime, jeigu domina tik vandens lygiai (modeliuojame potvynius ir norime sukurti užtvainimo žemėlapius), tuomet galima naudoti difuzinės bangos lygtį. Jeigu koncentruojamasi į detales (tarkime, modeliuojamos bunos ir labai svarbu yra nustatyti lokalius greičius bunos zonoje), labiau koncentruojamasi į momentų lygties narius. Parastai naudojant difuzinės bangos lygtį modelis yra stabilus, todėl ir modeliuojant sudėtingesnius atvejus visų pirma atliekami skaičiavimai, naudojant šią opciją, o tada gautą rezultatą naudojant kaip pradines sąlygas, pereinama prie sudėtingesnio varianto (Dumbrasukas, 2023).

Vagos dugno trinties jėgos.

Kadangi bene svarbiausias modelio derinimo principas yra tinkamo vagos šiurkštumo parametro parinkimas, trumpai aptariamos šios lygties dedamosios detalės (Dumbrasukas, 2023).

Vagos dugno tangentiniai pasipriešinimai išreiškiami taip:

$$\tau_b = \rho C_D |V| V$$

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

$$C_D = \frac{n^2 g}{R^{1/3}}$$

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

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

Pasipriešinimo greitis išreikštas taip:

$$u_* = \sqrt{\tau_b / \sigma}$$

Turbulencija.

Turbulencija yra sudėtingas chaotiško (turbolentinis) skysčio judėjimo ir sukurių reiškinys, apimantis platų ilgio skalių ruožą (Dumbrasukas, 2023). Daugelis ilgio skalių yra per mažos, kad jas būtų galima išspręsti naudojant atskirą skaitmeninį modelį, todėl turbolentinis srauto maišymas modeliuojamas kaip gradiento difuzijos procesas. Taikant šį metodą, difuzijos greitis nustatomas kaip sukurinis klampumas. Sukurinis klampumas tenzorius apskaičiuojamas taip:

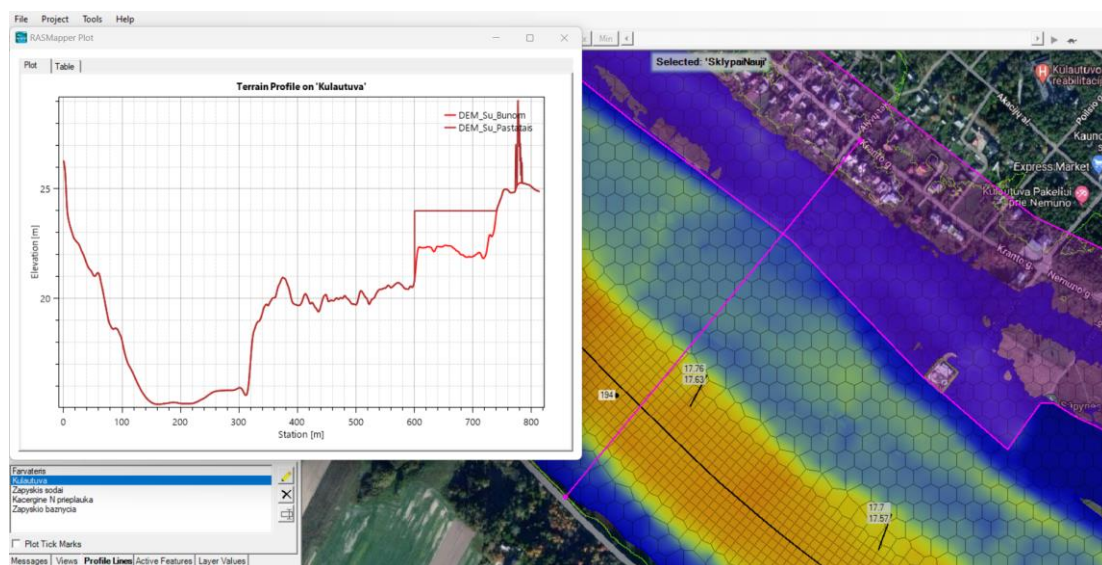
$$v_t = Du_*h + (C_s\Delta)^2|\bar{S}|$$

Kur: D – maišymosi koeficiento tenzorius; u_* – pasipriešinimo greitis; h – vandens gylys; C_s – Smagorinskio koeficientas (kinta nuo 0,05 iki 0,2); Δ – filtro plotis (randamas pagal lokalinę tinklo rezoliuciją); $|\bar{S}|$ – įtempio ribos (Dumbrasukas, 2023).

Koriolio ir vėjo jėgos šiuo atveju ignoruojamos, todėl jos neapartiamos.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Šio tyrimo objekto – Nemuno upės, apie 21,9 km ruožo nuo Neries žiočių iki Virbaliūnų gyvenvietės, hidrodinaminio modelio poligono sudarymui naudojamas kaip pagrindas, pradinis, tiriamajame darbe nagrinėjamo Nemuno upės ruožo modelis, kuriam parengti buvo panaudoti AB „Vidaus vandens kelių direkcija“ pateikti nagrinėjamos atkarpos batimetriniai duomenys – dugno aukščių skaitmeninis reljefo modelis ir šios atkarpos pakrančių aukščių situacijos modelis, taip pat atliktų natūrinių matavimų duomenys. Hidrodinaminio modelio poligonas – modelio aprėpties poligonas 2D, apima tik potvynio zoną. Modelio skaičiavimo pradžia nusakyta tokios pakraštinės sąlygos: išmatuotas debitas ruožo pradžioje, ties Nevėžio intaku į Nemuną ir ties Lampėdžiais; ruožo pabaigoje: išmatuotas vandens lygis. Pagal modelio dangų tipus priskiriamos maningo šūrktumo koeficiento reikšmės, skerspjūvių charakteristikos. Tai pagrindiniai duomenys apie upės vagą. Sukūrus pradinį modelį, t. y. esamos situacijos modelį – A (tik su esamomis senomis / naujai įrengtomis bunomis), vėliau kuriamas modelis – B, įvedant projektuojamų statinių, sklypų geometrines ir hidraulines charakteristikas (pylimų, prielaukų, sankasų ir kt.), sukuriant atskirus tam tikrų minėtų objektų poligonus. Taip planuojami objektai, jų poligonai išdėstomi per visą tiriamojo darbo nagrinėjamą atkarpą, pagal teritorijų plėtros prognozes ateičiai. Tokiu būdu sudaromas modelis – B, ateičiai, kuris naudojamas palyginimui, kaip keičiasi potvynio dinamika įvedus tam tikras upės vagos skerspločio korekcijas – potvynio atveju, skirtingais scenarijais, t. y. upės vagoje ir jos slėnyje plėtros atveju atsiradus papildomiems statiniams, pylimams, sankasoms, prielaukoms ir pan. Žemiau pateikiamas pavyzdys, ties Kulautuva, kaip atrodo vagos skerspjūvis įvedus tam tikras korekcijas (žr. 1 pav.).



1 pav. Vagos skerspjūvis ties Kulautuva
Fig. 1. Cross-section of the furrow at Kulautuva.

Atlikus abiejų modelių, A ir B, derinimą, atliekant skirtingas simuliacijas prie skirtingų skaičiavimo variantų, esant trimis skirtingiems debitų / potvynių variantams – 1540/2450/3230 m³/s, gaunami rezultatai, skirtumas, tarp sumodeliuotų ir išmatuotų vandens lygių, prie skirtingų scenarijų, kurie pateikiami toliau.

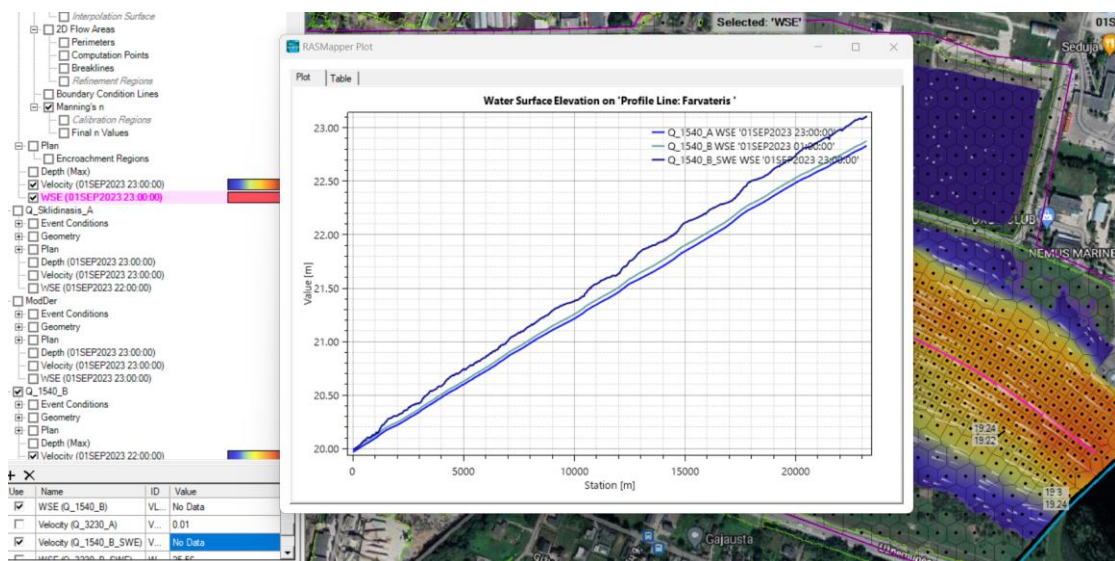
Pirmu atveju pateikiamas atlikto skaičiavimo rezultatas, gautas vandens lygių skirtumas – tarp modelio A (tik su esamomis senomis / naujai įrengtomis bunomis) ir modelio – B, įvedant projektuojamų statinių, sklypų geometrines ir hidraulines charakteristikas (pylimų, prielaukų, sankasų ir kt.), prie debito 1540 m³/s.

Atlikus skaičiavimus, simuliaciją, skirtumas tarp modelio A ir B, vandens lygio ties aukštupiu, susidaro apie 0,28 m. Tiriamajame darbe nagrinėjamoje atkarpoje, esant tokiam debitui, pradinio modelio atveju – A – kai atkarpoje yra tik esamos senos ir jau naujai pastatytos bunos, vandens lygis atkarpos pradžioje, ties tiriamojo ruožo pabaiga yra apie 19,97 m, o ties tiriamojo ruožo pradžia yra 22,83 m, o modelio atveju – B – kai įvedami projektuojami statiniai, sklypai (pylimai, prielaukos, sankasos ir kt.), vandens lygis atkarpos pradžioje, ties tiriamojo ruožo pabaiga yra apie 20,00 m, o ties aukštupiu yra 23,11 m. Matyti, kad nagrinėjamos atkarpos pradžioje, ties tiriamojo ruožo pabaiga, urbanizacijos poveikis vandens lygių pokyčiams mažiausias, kaip ir tikėtasi, skirtumas tarp A ir B modelio susidaro tik apie 0,03 m, tačiau

atkarpos pabaigoje – tiriamojo ruožo pradžioje, poveikis vandens lygiui didėja, t. y. susidaro net 0,28 m skirtumas tarp A ir B modelio.

Antru atveju, atlikus skaičiavimus, simuliaciją prie debito 2450 m³/s, skirtumas tarp modelio A ir B, vandens lygio ties aukštupiu, susidaro apie 0,38 m. Tai yra, tiriamajame darbe nagrinėjamoje atkarpoje, esant tokiam debitui, pradinio modelio atveju – A – kai atkarpoje yra tik esamos senos ir jau naujai pastatytos būnos, vandens lygis atkarpos pradžioje, ties žemupiu yra apie 21,43 m, o ties aukštupiu yra 24,23 m, o modelio atveju – B – kai įvedami projektuojami statiniai, sklypai (pylimai, prieklauskos, sankasos ir kt.), vandens lygis atkarpos pradžioje, ties žemupiu, yra apie 21,50 m, o ties aukštupiu yra 24,61 m. Matyti, kad nagrinėjamos atkarpos pradžioje, ties žemupiu, urbanizacijos poveikis vandens lygių pokyčiams mažiausias, kaip ir tikėtasi, skirtumas tarp A ir B modelio susidaro tik apie 0,07 m, tačiau atkarpos pabaigoje – aukštupyje, poveikis vandens lygiui didėja, t. y. susidaro net 0,38 m skirtumas tarp A ir B modelio.

Trečiu atveju, atlikus skaičiavimus, simuliaciją prie debito 3230 m³/s, skirtumas tarp modelio A ir B vandens lygio ties aukštupiu susidaro apie 0,46 m. Tiriamajame darbe nagrinėjamoje atkarpoje esant tokiam debitui, pradinio modelio atveju – A – kai atkarpoje yra tik esamos senos ir jau naujai pastatytos būnos, vandens lygis atkarpos pradžioje ties žemupiu yra apie 22,38 m, o ties aukštupiu yra 25,15 m, o modelio atveju – B – kai įvedami projektuojami statiniai, sklypai (pylimai, prieklauskos, sankasos ir kt.), vandens lygis atkarpos pradžioje ties žemupiu yra apie 22,45 m, o ties aukštupiu yra 25,61 m. Matyti, kad nagrinėjamos atkarpos pradžioje ties žemupiu urbanizacijos poveikis vandens lygių pokyčiams mažiausias, kaip ir tikėtasi, skirtumas tarp A ir B modelio susidaro tik apie 0,07 m, tačiau atkarpos pabaigoje – aukštupyje, poveikis vandens lygiui didėja, t. y. susidaro net 0,46 m skirtumas tarp A ir B modelio (žr. 2 pav.).



2 pav. Rezultatų palyginimas tarp modelio A ir B, kai debitas 3230 m³/s
Fig. 2. Comparison of results between model A and B at a flow rate of 3230 m³/s

Taigi, apibendrinant skaičiavimo rezultatus, matyti, kad atlikus abiejų modelių A ir B derinimą, atliekant skirtingas simuliacijas prie skirtingų skaičiavimo variantų, esant trimis skirtingiems debitų / potvynių variantams – 1540/2450/3230 m³/s, gaunami rezultatai, skirtumas tarp sumodeliuotų ir išmatuotų vandens lygių, prie skirtingų scenarijų, kurie nėra itin reikšmingi tiek atskirai paėmus žemupį ar aukštupį, tiek bendrai visą tiriamojo darbo atkarpą. Tai yra vandens lygio pokytis, kuriam įtaką darytų pakrančių plėtra tiriamajame darbe nagrinėjamoje atkarpoje – nedarytų reikšmingo poveikio, kuris net prie didžiausio debito 3230 m³/s, potvynio, esant intensyviai pakrančių plėtrai, atkarpos pabaigoje – aukštupyje – susidaro tik 0,46 m.

Taip pat iš atliktų modeliavimo rezultatų matyti, kad didėjant debitui, potvynio stiprumui, didėja ir vandens lygių skirtumai tiek nagrinėjamos atkarpos žemupyje, tiek ir aukštupyje, nors, kaip ir buvo paminėta, didesnis poveikis matomas nagrinėjamos atkarpos aukštupyje.

Išvados

1. Potvynių dinamikos pokyčius ateityje labiausiai lems didėjantis kritulių kiekis – lemiantis veiksnys – ekstremalios liūtys, kurios sukelia staigius lietaus poplūdžius ir kurios, pagal mokslines prognozes, ateityje bus dažnesnės ir intensyvesnės, dar ekstremalesnės, todėl lietaus poplūdžių dažnės, didės ir jų mastas, poveikis jautrioms rizikos urbanizacijai teritorijoms upių salpose. Ir, visgi, liūčių potvyniai yra lokalaus pobūdžio ir didelio poveikio neturės.

2. Atliekant hidrodinaminį modeliavimą nustatyta, kad vandens lygio pokytis, kuriam įtaką darytų pakrančių plėtra – urbanizacija tiriamajame darbe nagrinėjamoje Nemuno atkarpoje – nedarytų reikšmingo poveikio, kuris net prie didžiausio debito 3230 m³/s potvynio, esant intensyviai pakrančių plėtrai, atkarpos pabaigoje – aukštupyje – susidaro tik 0,46 m.

3. Atliekant hidrodinaminį modeliavimą nustatyta, kad didėjant debitui, potvynio stiprumui, didėja ir vandens lygių skirtumai tiek nagrinėjamos atkarpos žemupyje, tiek ir aukštupyje, nors, kaip ir buvo paminėta, didesnis poveikis matomas nagrinėjamos atkarpos aukštupyje.

Literatūra

1. Dumbrasukas, A., Mozgeris, G., Jonikavičius, D., Bosas G., Gegužis, R. 2017. Žemės ūkio, maisto ūkio ir žuvininkystės mokslinio tyrimo ir taikomosios veiklos programa „Melioracijos griovių būklės vertinimas taikant nuotolinius tyrimo metodus“. Akademija.
2. Dumbrasukas, A., Povilaitis, A., Punys P. 2008. Hidroprocesų skaitmeninis modeliavimas. Mokomoji knyga. Kaunas.
3. Dumbrasukas, A. 2022. Hidrologiniai skaičiavimai ir hidrodinaminis modeliavimas. Kruojos upė ties Petrašiūnais, projektuojamo objekto vietoje. Rankraštis. Kaunas.
4. Dumbrasukas, A. 2023. Kauno raj. Salių k. ties Panerių g. esančiame sklype numatomos grunto sanpylos poveikio upės ledonešio sąlygoms vertinimas. Rankraštis. Kaunas.
5. Dumbrasukas, A. 2023. Kauno raj. Kačerginės uostelis. Hidrologiniai skaičiavimai ir ledo reiškinų analizė bei modeliavimas. Rankraštis. Kaunas.
6. Jablonskis, J. 1994. Nemuno nuotėkis per 180 metų. Energetika, Nr. 4, p. 19–32.
7. Kauno rajono savivaldybės administracija. Kauno rajono savivaldybės teritorijos bendrojo plano I-asis pakeitimas. Sprendiniai. Byla SS 11-086-BPL. 2013. Prieiga per internetą: https://www.krs.lt/media/6016/kaunoplusrajonoplusbpl_ar_sprendiniaiplus130812.pdf (žiūrėta 2023 05 09).
8. Kauno rajono savivaldybės administracija. Kauno rajono savivaldybės teritorijos bendrojo plano II-asis pakeitimas. Strateginio pasekmių aplinkai vertinimo ataskaita. 2020. Prieiga per internetą: https://www.krs.lt/media/24985/krs-bp-2_spav_20201214.pdf (žiūrėta 2023 05 10).

IMPACT OF URBANISATION IN THE FLOODPLAIN OF THE NEMUNAS RIVER ON THE FLOOD RISK (ON THE EXAMPLE OF THE SECTION FROM THE CONFLUENCE OF NEMUNAS AND NERIS RIVERS TO VIRBALIŪNAI)

Summary

Floods are one of the most commonly occurring natural phenomena, causing significant adverse impacts on human health and life, the environment, cultural heritage, economic activity and infrastructure. The study “Impact of urbanisation in the floodplain of the Nemunas River on the flood risk (on the example of the section from the confluence of Nemunas and Neris rivers to Virbaliūnai)” is carried out in order to assess the change of floods and floodplains of the Nemunas River, to analyse the main causes of maximum floods, to predict the change of the floods and the floodplains due to the impact of the climate change and the effects of the urbanization, and to assess the impact of urbanization on the selected section of the river by means of the hydrodynamic modelling.

In developing the initial model of the section of the Nemunas River under study, its bathymetric data provided by Vidaus vandens kelių direkcija were used – a digital elevation model of the bottom and a model of the coastal elevation of this section. Also, data from natural measurements taken under steady flow conditions were used. The analysis of information sources examines the flood situation both in Lithuania and other countries of the world, flood management measures, possibilities, the impact of climate and urbanisation on the flooding of the Nemunas River, and the development of urbanisation in the stretch of the Nemunas River examined in this study. The software used and its capabilities are analysed in detail, and the results obtained during the study are presented, together with conclusions and recommendation.

The performed hydrodynamic modelling showed that the change in the water level influenced by coastal development, namely urbanisation in the stretch of the River Nemunas under study, would not have a significant impact on the water level, which, even with a maximum flow of 3230 m³/s, in the case of intense coastal development, would only result in a flood of 0.46 m at the end of the stretch, upstream.

Keywords: water level change, significant impact, Nemunas river.