

HIDROMORFOLOGINIŲ SĄLYGŲ ĮVERTINIMAS KROVININĖS LAIVYBOS KELIUI NUO KAUNO IKI RUKLOS

Benas ŠNIAUKAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas:
benas.sniaukas@vdu.lt

Santrauka

Lietuvoje plečiamas eksploatuojamų vidaus vandens kelių tinklas prisideda prie Europos žaliojo kurso vystant efektyvią, saugią ir aplinką tausojančią transporto rūšį. Vandens kelio ruožas nuo Kauno iki Ruklos yra potencialus krovinių gabenimui, todėl šiame straipsnyje yra analizuojamos šio ruožo hidromorfolginės sąlygos. Turint Jonavos vandens matavimų stoties (VMS) hidrologinių duomenų eilę ir upės reljefo modelį SRM, skaičiuojami ir modeliuojami projektiniai vandens lygiai visame upės ruože.

Jonavos VMS stoties projekcinio vandens lygio ir debito hidrologiniai skaičiavimai atlikti dviem metodais: empiriniu „Excel“ skaičiuoklėje ir matematiniu naudojant programinę įrangą „HyfranPlus“. Abiem atvejais gauti rezultatai lyginami tarpusavyje. Toliau pagal apskaičiuotas hidrologines pakraštines sąlygas su programine įranga HEC-RAS sumodeliuotas projektinis vandens lygis visame upės ruože.

Hidrologiniai skaičiavimai leido nustatyti pradines pakraštines sąlygas, kurios buvo naudojamos hidrodinaminio modelio sudarymui. Gauti rezultatai parodo nustatytas žemiausias galimas vandens lygio altitudžių reikšmes pagal 95 % tikimybę, kiekviename Neries upės kilometre tarp Kauno ir Ruklos. Šie duomenys yra reikalingi kaip pagrindas krovininės laivybos galimybių vertinimui.

Reikšminiai žodžiai: debitas, projektinis vandens lygis, hidrodinaminis modelis, hidrologija, HEC-RAS, laivyba, Neries upė, vandens matavimo stotis (VMS).

Išvadas

Ekonomiškumas, saugumas ir ekologiškumas yra pagrindinės vidaus vandenų transporto savybės. Europos Sąjunga kaip savo transporto politikos tikslus akcentuoja transporto spūsčių mažinimą, eismo saugumo didinimą, aplinkai nekenksmingų transporto rūšių ir alternatyvių degalų naudojimą. Todėl išplėtotas vidaus vandenų transportas yra vienas iš galimų sprendimų šioms tikslams pasiekti (Činčurak, Erceg, 2019).

Vidaus vandens kelių direkcijos generalinio direktoriaus įsakymu (2025 m.), eksploatuojami Neries upės ruožai: atkarpa nuo Neries upės žiočių iki Kauno pilies (0,9 km) ir 10,5 km ruožas Vilniaus miesto ribose. Navigacijos trukmė Neries upėje 182 dienos, nuo 2025 m. balandžio 22 d. iki 2025 m. spalio 20 d. (Įsakymas..., 2025).

Nemuno žemupyje minimalių vandens lygių modeliavimą atliko G. Sabas ir S. Vaikasas. Mokslinio darbo tikslas buvo nustatyti, ar Nemuno žemupyje gyliai minimaliai atitinka vandens kelio parametrus ir kokią įtaką turi dirbtinio poplūdžio bangos sklidimo panaudojimas laivybos sąlygoms gerinti. Tyrime naudoti paros vandens lygiai ir debitai iš skaitmeninės hidrologinės duomenų bazės ir programinė įranga HEC-RAS. Nustatyta, kad gyliai atitinka minimalius vandens kelio parametrus, tačiau dirbtinės bangos panaudojimas sausmečiu yra neefektyvus (Sabas, Vaikasas, 2002).

Vidaus vandens kelių sektoriaus potencialas Lietuvoje yra itin nepakankamai išnaudojamas. Be to, tankus Lietuvos hidrografinis tinklas suteikia plačias galimybes plėtoti šalies vidaus vandenų transportą (Plotnikova ir kt., 2022). Tačiau pasikeitus valstybės požiūriui į laivybą vidaus vandenynse, prasidėjo stambi vandens kelių ir jos infrastruktūros plėtra. Tarptautinės reikšmės kelyje E41 nuo Kauno iki Nemuno žiočių 2023 m. rugsėjo 15 d. buvo baigtos statyti 553 bunos, o 2024 m. pavasarį Kaune į vandenį nuleista 1,8 tūkst. tonų keliamosios galios barža. Sėkmingų projektų įgyvendinimo pavyzdžiai leidžia pagalvoti ir apie daug platesnes galimybes atveriant naujus kelius, tinkamus krovininei laivybai.

Naujų vandens kelių atvėrimo galimybės yra tyrinėtos ir ankščiau, tačiau dar nebuvo atliktas konkretus hidromorfolloginių sąlygų įvertinimo tyrimas, norint išplėsti Neries upės krovininės laivybos galimybes.

Tyrimo tikslas – įvertinti hidromorfolgines sąlygas Neries upės vandens kelio ruože nuo Kauno iki Ruklos.

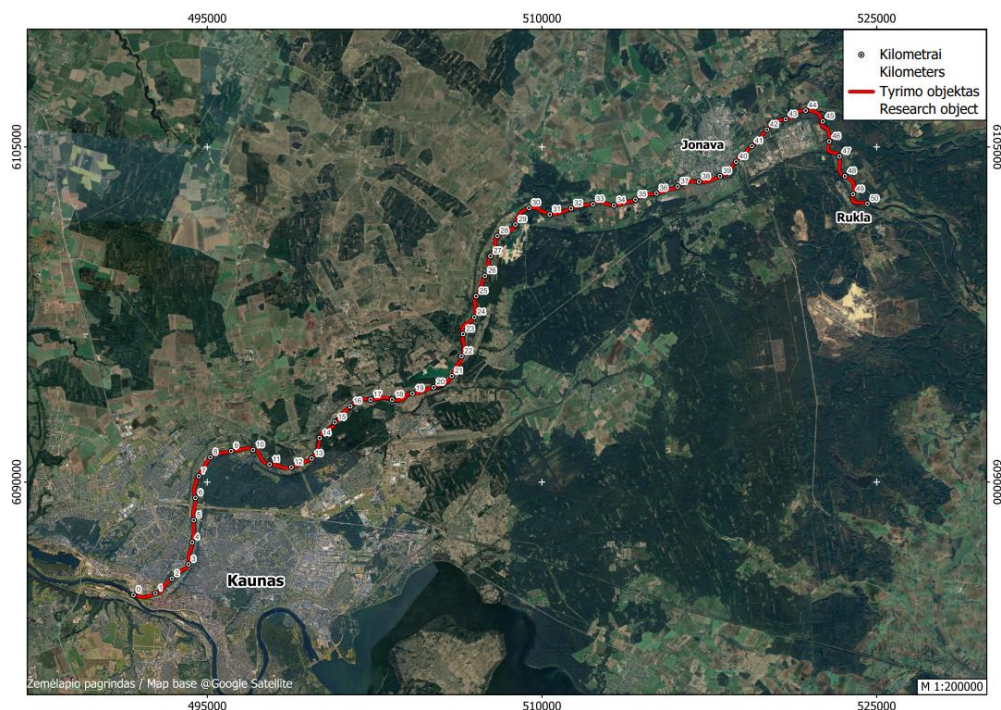
Iškeltam tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Atlikus hidrologinius skaičiavimus, nustatyti projektinius vandens kelio parametrus;
2. Parengti Neries upės vagos ruožo nuo Kauno iki Ruklos 2D hidrodinaminį matematinį modelį;
3. Sudaryti tiriamojo objekto projektinių vandens lygių išilginį profilį.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektas yra Neries upės ruožas nuo Kauno iki Ruklos, esantis centrinėje Lietuvos dalyje. Šio ruožo ilgis yra apie 50 km, o iš jų eksploatuojami 0,9 km. Ruožas prasideda Kauno santakoje, kur Neris įteka į Nemuną – tai strateginė vieta laivybai, jungianti pagrindinius šalies vidaus vandens telkinius. Šiame ruože Neris prateka pro svarbų ekonominį ir logistinį Jonavos miestą, kur yra įsikūrusių daug pramonės įmonių. Viena iš jų mieste įsikūrusi viena svarbiausių Lietuvos chemijos pramonės bendrovių – AB „Achema“, priklausanti „Achemos grupei“, kurios veikla daro tiesioginę įtaką regiono krovinių judėjimui. Ruožas baigiasi ties Ruklos miesteliu, kur yra įsikūrę 4 Lietuvos kariniai padaliniai. Taip pat į pietvakarius nuo Ruklos esančioje teritorijoje veikia Lietuvos kariuomenės Gaižiūnų poligonas.

Regionas, kuriame yra įsikūrę svarbūs Lietuvos pramonės ir kariuomenės padaliniai, kurie galėtų išnaudoti šį potencialų Neries upės ruožą krovinių gabenimui ir karinio mobilumo užtikrinimui bei kitiems krovinio transporto sprendimams, vykdomiems šiame regione.



1 pav. Neries upės modeliujamo ruožo planas. Tiriama upės atkarpa ir ašies piketų numeracija pagal nustatytą VVKD (nuo Neries upės žiočių). Šaltinis: sudaryta autoriaus, (2025)

Fig. 1. Plan of the modeled section of the Neris River. The studied river section and the numbering of the axis pickets according to the established VVKD (from the mouth of the Neris River). Source: compiled by the author, (2025)

Hidrologiniai skaičiavimai. Skaičiavimams panaudoti duomenys iš Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos, Neries upės–Jonavos VMS ir Šventosios upės–Ukmergės VMS. Jonavos stotis yra tarp Kauno ir Ruklos, o projektuojamo vandens kelio pabaiga yra 10 km nutolusi nuo VMS stoties. Ukmergės stotis pasirinkta todėl, nes Šventosios upė 45,5 km įteka į projektuojamą ruožą. Duomenų eilė sudaryta pagal 1990–2024 m. vandens lygius ir debitus, atrenkant mažiausias metines reikšmes, ignoruojant sausio ir vasario mėnesius, kai laivyba praktiškai nevyksta, duomenų skaičius $n = 35$ metai.

Turint šių stočių ilgą laikotarpį sekančius duomenis, galima atlikti patikimą statistinę analizę, būtiną projektinio vandens lygio ir minimalaus debito nustatymui. Jeigu bus garantuojamas tinkamas gylis sausmečio metu, kitais laikotarpiais sąlygos bus tik geresnės. Todėl projektinis vandens lygis ir debitas apskaičiuojamas imant mažiausiai 30 paskutiniųjų metų navigacijos periodo mažiausių reikšmių seką, o iš jos nustatomas 95 proc. tikimybės mažiausias vandens lygis ir debitas, atitinkantis vidaus vandenų kelių eksploatavimo taisyklėse apibrėžtą projektinio vandens lygio sąvoką – „Vandens lygis, nustatytas pagal minimalų 95 proc. tikimybės paros vidutinį vandens lygį, išmatuotą vandens matavimo stotyse“ (Dėl..., 2009). Tai reiškia, kad mažesni už šį vandens lygį per navigacijos sezoną gali būti tik 5 proc. vandens lygio atvejų iš 100. Skaičiavimai atlikti naudojant Grafoanalitinį metodą „Excel“ lentelėje, projektiniams vandens lygiams (VL) nustatyti. Taip pat VL duomenų serijų patikimumui įvertinti ir statistinei analizei atlikti buvo naudojama specializuota hidrologinė programinė įranga „HyfranPlus“. Hidrologiniai skaičiavimai atliekami pagal statybos techninį reglamentą (STR) ir laikantis pasaulinės meteorologinės organizacijos (WMO) rekomendacijų, kuriomis remiantis būtina atlikti duomenų sekos patikimumo testus ir skaičiavimus, naudoti rekomenduojamus metodus, skirtus VL tikimybėms nustatyti.

Žemiausias navigacijos periodo vandens lygis, kuris prilyginamas projektiniam vandens lygiui, gali būti nustatomas empiriškai arba aproksimuojant duomenis pagal tinkamiausią skirstinio funkciją. Vandens lygio tikimybė P gali būti išreikšta procentais (priimta Lietuvoje), arba metų skaičiumi T , per kurį toks vandens lygis pasikartoja. Tarp tikimybės procentais ir pasikartojimo periodo metais yra toks ryšys (Dumbrasukas, 2021):

$$P\% = (1 - T) * 100, \quad (1)$$

čia: $P\%$ – tikimybė procentais;

T – pasikartojimo periodas metais.

Faktinės tikimybės kreivės sudarymas. Sunumeruojama ir kiekvienam sekos nariui apskaičiuojama pasikartojimo tikimybė pagal Veibulo formulę, kai yra nežinomas hidrologinės charakteristikos tikimybės skirsnio pobūdis (Poška, Punys, 1996):

$$P = \frac{m}{n+1}, \quad (2)$$

čia: m – sekos eilės numeris;
 n – į duomenų seką įtrauktų metų skaičius.

Duomenų rinkimas ir apdorojimas skaitmeninio reljefo modelio SRM sudarymui. Vidaus vandens kelių direkcijos (VVKD) hidrografijos skyrius 2021–2023 m. atliko Neries upės batimetrinius matavimus, siekiant nustatyti upės dugno reljefą ir vandens gylį tiriamajame ruože nuo Kauno iki Ruklos. Duomenys sudaro pagrindą hidrologinėi ir navigacinei analizei, norint įvertinti laivybos sąlygas.

LiDAR duomenys Neries upės pakrantėms buvo užsakyti ir gauti iš Lietuvos erdvinės informacijos portalo geoportal.lt. Nacionalinė žemės tarnyba prie Žemės ūkio ministerijos pateikė duomenis, parengtus vykdant 2019–2020 m. skaitmeninio lazerinio skenavimo taškų duomenų projektą Lietuvos Respublikos teritorijai.

Remiantis batimetrinių matavimų apdorotais duomenimis ir pagal užsąkytą LiDAR pakrančių taškų debesį, buvo sudarytas Neries upės ruožo nuo Kauno iki Ruklos skaitmeninis reljefo modelis SRM (angl. surface relief model), kuriame vaizduojamas krantų ir upės dugno aukščių gridas:

- Modelis sudarytas koordinačių sistemos aplinkoje- LKS-94;
- Modelio Aukščių sistema- LAS-07.

HEC-RAS dvimatis nusistovėjusios srovės modelis. Upės tėkmės hidraulinių sąlygų modeliavimui žinant upės vandeningumo sąlygas, buvo panaudota pasitelkiant JAV karo inžinierių korpuso dvimačiu hidrauliniu nusistovėjusios srovės modeliu HEC-RAS. Tai leidžia modeliuoti vandens tėkmę natūraliais upių kanalais ir kitais vandens keliais, skirtingais vandens paviršiaus profiliams skaičiuoti ir tėkmėms per atvirų kanalų sistemas analizuoti. Magistro darbe naudojama 2025 m. versija 6.6. (Dumbrauskas ir kt., 2008).

Modelyje yra skaičiuojamas projektinis vandens lygis visame upės ruože nuo Kauno iki Ruklos. Pakraštinės sąlygos (angl. boundary conditions) buvo nustatytos įtekėjimo ir ištekėjimo vietose. HEC-RAS modelyje pirmoji aukštutinė ribinė sąlyga ties Rukla (50 km nuo Neries upės žiočių) nustatyta pagal Neries upės–Jonavos VMS ir Šventosios upės–Ukmergės VMS projektinių debitų skirtumą. Atsižvelgiama ir į tai, kad 44,5 km įteka Šventosios upė, kuri padidina Neries upės vandeningumą ir srautus. Ties šia vieta nustatyta antroji ribinė sąlyga pagal Šventosios upės–Ukmergės VMS apskaičiuotą projektinį vandens debitą. Remiantis gautais rezultatais, iš Ruklos ir Šventosios upės žiočių išleidžiamas debitas turi atitikti apskaičiuotą projektinį vandens lygį Jonavoje, atitinkamai reguliuojant Manningo vertes.

Skaičiavimų pradžia nurodytos ribinės sąlygos:

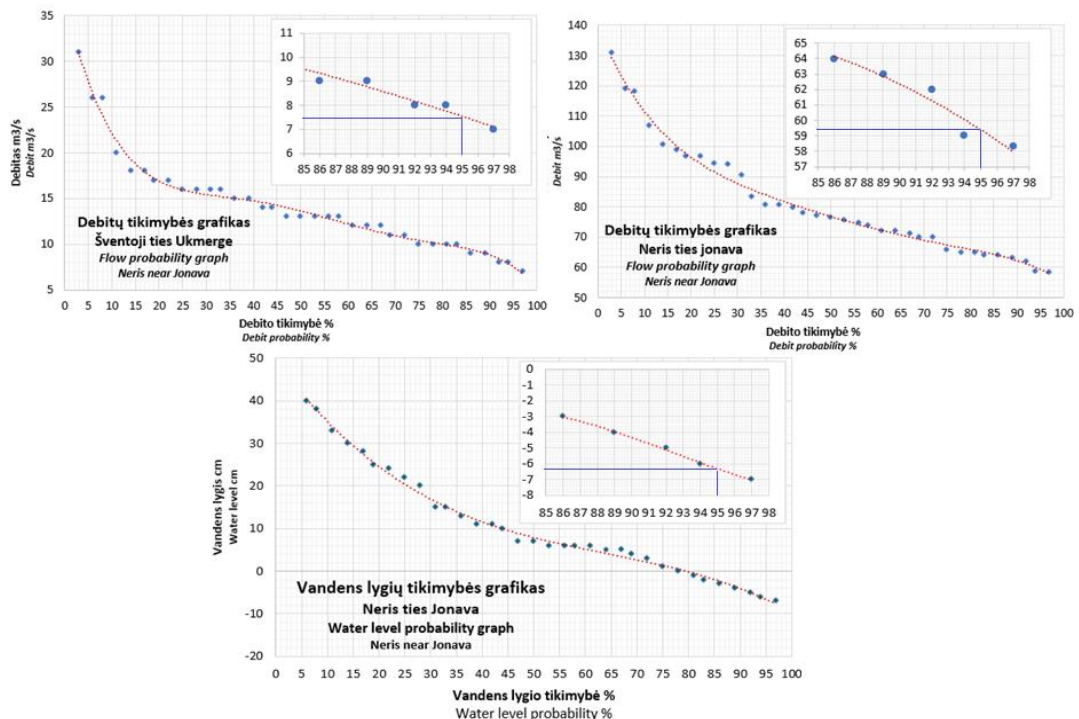
- Ruožo pradžioje 50 km ties Rukla „BC-Aukštutinis Rukla“ debitas – 51 (m³/s);
- Ties Šventosios upės žiotimis 45,5 km „BC-Aukštutinis Sventoji“ debitas – 8 (m³/s);
- Ruožo pabaigoje „BC-Zemutinis Kaunas“ vandens lygis ir nuolydis su 0,000516 ‰ (žr. 2 pav.).

2 pav. Pakraštinių sąlygų parametrai. Šaltinis: sudaryta autoriaus, (2025)
 Fig. 2. Boundary Conditions parameters Source: compiled by the author, (2025)

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Pagal Neries–Jonavos VMS ir Šventosios–Ukmergės VMS stočių 35 metų paros duomenis, grafoanalitiniu metodu „Excel“ skaičiuoklėje yra atrenkamos kiekvienų metų mažiausios vandens lygių ir debitų reikšmės. Turima duomenų eilė yra sunumeruojama, išrikiuojama mažėjančia tvarka ir kiekvienam sekos nariui pagal Veibulo formulę

apskaičiuojama pasikartojimo tikimybė $P\%$. Gauti duomenys yra vaizduojami hidrologijoje plačiai naudojamu metodu – trukmių kreivėmis (angl. FDC – flow duration curve). Sudaromas Jonavos VMS stoties vandens lygių ir debitų tikimybių grafikas, o pagal Ukmergės VMS atliktus skaičiavimus – debitų tikimybių grafikas. Pasinaudojant polinomo funkcija arba duomenis logaritmuojant ir iš kreivės gaunant tiesę, galima tiksliau nustatyti gautus rezultatus.



3 pav. Vandens lygių ir debitų empirinės tikimybių kreivės. Šaltinis: sudaryta autoriaus, (2025)

Fig. 3. Empirical probability curves for water levels and discharges: compiled by the author, (2025)

Grafikų horizontaliosiose ašyse rodoma tikimybė p , viršutinių grafikų vertikaliajoje kreivėje rodomas debitas m^3/s , o apatiniam – vandens lygis cm . Galima matyti, kad Šventosios upės 95 % tikimybės debitas ties Ukmerge yra apie $8 m^3/s$, o Neris upėje ties Jonava siekia apie $59 m^3/s$. Neris upės vandens lygis Jonavoje yra apie $-6 cm$. Šie duomenys rodo 5 % tikimybę, kad hidrologinės vertės gali būti mažesnės, o likusieji 95 % – didesnės.

Gerokai tikslesnis ir greitesnis yra matematinis metodas, kai naudojamosi programine įranga surasti tinkamiausiai skirstinio funkcijai pagal pateiktus duomenis. Visos hidrologinių skaičiavimų programos paprastai kartu atlieka visus reikalingus testus, parenka iš grupės skirstinių geriausiai aprašančius empirinius duomenis, taikant atitinkamus lyginimo kriterijus, atlieka būtinus statistinius skaičiavimus ir galiausiai pateikia galutinį rezultatą tiek grafiniu pavidalu, tiek lentelę (Dumbrasas, 2021). Pradiniai duomenys iš „Excel“ lentelės perkeliama į „HyfranPlus“ programą, kur yra automatiškai apskaičiuojama empirinė tikimybė, kuri buvo skaičiuojama grafoanalitiniame metode.

1 lentelė. 95 % tikimybės, sudarytos naudojant dažnių nustatymo programą HyfranPlus, rezultatai

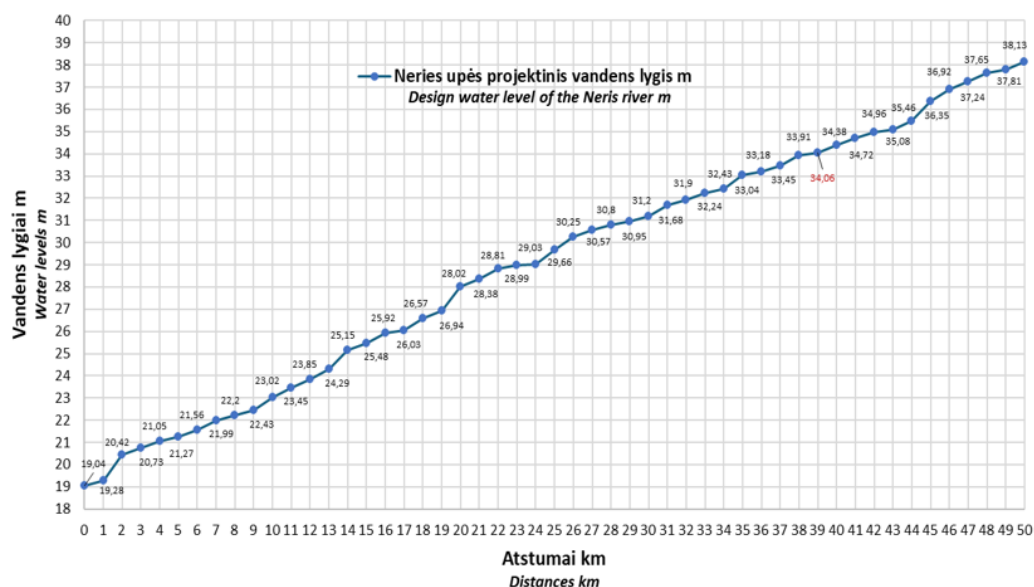
Table 1. 95% probability results obtained using the frequency determination program HyfranPlus

VMS Stotis VMS Station	Parametras Parameter	95 % tikimybė (Q arba H) 95% probability (Q or H)	Patikimumo intervalas Confidence interval	Standartinis nuokrypis Standard deviation
Ukmergės	Debitas (Q, m^3/s) Debit (Q, m^3/s)	7.8	6,3 – 9,2	0,74
Jonavos	Debitas (Q, m^3/s) Debit (Q, m^3/s)	-6,06	-9,89 – -2,23	1,95
Jonavos	Vandens lygis (H, m) Water level (H, m)	59	53 – 64	2,6

Matematinio modelio skaičiavimo rezultatai gauti pagal Gumbel skirstinio funkciją, rodo duomenų patikimumą ir atitinka homogeniškumo, vienašališkumo ir tendencijos testus. Gauti rezultatai atitinka grafoanalitinio metodo rezultatus, o tai reiškia „HyfranPlus“ įdiegti matematiniai modeliai yra tikslūs, atkartodami realias sąlygas patvirtina abiejų metodų patikimumą, kai jie taikomi konkrečiame tyrimo kontekste.

HEC-RAS nusistovėjusios tėkmės hidrodinaminiam modeliui, paruoštas skaitmeninio reljefo modelis SRM, su atlikta topografinė analize priskiriant upei geometriją. Perimetro gardelė projekte $20 \times 20 m$, per kurios centrą nubrėžta centrinė linija atkartojanti upės tėkmę. Ištekėjimo ir įtekėjimo ribinės sąlygos nustatytos projekcinio vandens lygio ir debito atliktų skaičiavimų, remiantis 95 % tikimybę. Siekiant užtikrinti tikslumą, buvo sistemingai koreguojamas

Manningo šiurkštumo koeficientas (n), kol ištekejimo vietose ties Rukla 50 km ir Šventosios upės žiotimis 45,5 km, imituojamas vandens srautas, atitiko apskaičiuotą projekcinį vandens lygį 39 km prie Jonavos VMS. Per šį modelio kalibravimo procesą buvo nustatytas optimalus Manningo koeficientas 0,023. Iš LHMT duomenų žinoma, kad Jonavos VMS nulinės padalos altitudės (LAS07) aukštis yra 34,12 m, todėl nustatomas projekcinio vandens lygio altitudės aukštis yra 34,06 m, nes iš prieš tai atliktų skaičiavimų žinomas projekcinis vandens lygis matuoklėje yra ties -6 cm žyma.



4 pav. Projektinių vandens lygių išilginis profilis. Šaltinis: sudaryta autoriaus, (2025)

Fig. 4. Longitudinal profile of design water levels: compiled by the author, (2025)

Sudaromas projektinių vandens lygių išilginis profilis iš gautų hidrodinaminio modelio rezultatų grido WSE (Water Surface Elevation), kuriuose galima matyti vandens paviršiaus aukščius visuose upės taškuose. Išilginiame profilyje ties Jonavos VMS 39 km, vandens lygis siekia 34,06 m (paveikslėlyje pažymėta raudona reikšmė), tai tenkina pradinę sąlygą, kad paleidžiamas vandens srautas turi atitikti suprojektuotą projekcinį vandens lygį. Rezultatai patvirtina modelio patikimumą ir galimybę imituoti realias srauto sąlygas remiantis hidrologiniais įvesties duomenimis ir kalibruotais parametrais.

Išilginiame profilyje galima pastebėti staigius vandens lygio kilimo pokyčius kai kuriuose upės ruožuose, kitaip vadinamus hidraulinius šuolius. Hidrauliniai šuoliai yra dažnas reiškinys laisvo paviršiaus tėkmėse natūraliose upėse, dirbtiniuose kanaluose ir pramonėse taikomosiose įrenginiuose. Jie atsiranda, kai superkritinė didelio greičio tėkmė paveikia subkritinę mažo greičio tėkmę, o staigus perėjimas sukelia stiprų energijos išsklaidymą (De Leo et al., 2020). Paskaičiavus vidutinį Neries upės tiriamojo ruožo aukščių perkritimą tarp upės kilometrų gauname 0,38 m. Išskirtiniai dideli hidrauliniai šuoliai matyti tarp 1–2 km, 13–14 km, 19–20 km, 44–45 km, kur atitinkami aukščių skirtumai yra 1,14 m, 0,86 m, 1,08 m, 0,89 m. Lyginant šiuos hidraulinius šuolius su vidutiniu aukščių perkritimu, galima pastebėti, kad visi rodmenys yra dvigubai didesni nei vidutinė reikšmė, o tai gali daryti įtaką Neries upės rėvai. Pavyzdžiui, 1–2 km, netoli Kauno pilies, yra didelė rėva, arba išskirtiniu atveju 44–45 km, tokį vandens perkritimą lemia įtekanti Šventosios upė.

Neries vagoje nemažai rėvų, akmenuotų upės seklumų ir slenksčių. Rėvos susidarė tose vietose, kur upė, prasigrauzusi per morenines kalvas, nuplovė minkštas uolienas, tačiau nepajėgia išstumti didesnių akmenų. Pastebėti juos galima tik iš vandens sūkurių, susidarančių ties akmenų viršūnėmis (Gailiusis ir kt., 2001).

Vandens lygio pokytis gali būti trumpalaikis (pavyzdžiui, dėl hidroelektrinės darbo ar staigios liūtės) ir ilgalaikis (pastovūs rudeniniai lietūs, sausra, pavasario potvyniai ir pan.). Toks vandens lygio nestabilumas laivybai yra gana nepalankus, tačiau jis neišvengiamas. Todėl, kai projektuojamas vandens kelias, yra orientuojamasi į nepalankiausią laivybai periodą – sausmetį. Projekcinis vandens lygis turi būti apskaičiuotas visam vandens keliui ir žinomas bet kurioje vietoje, tačiau vandens lygio matavimai paprastai atliekami tik vandens matavimo stotyse (tVMS), taigi, ir projekcinis vandens lygis žinomas tik tuose taškuose. Kuo tankiau išilgai vandens kelio bus matavimo stočių, tuo tiksliau bus sudaromas ištisinis vandens lygių profilis (Dumbrasas, 2021).

Išvados

1. Pagal Neris–Jonavos VMS ir Šventosios–Ukmergės VMS stočių 35 metų paros duomenis, apskaičiuoti 95 % tikimybės, minimalūs projektiniai vandens lygiai ir debitai. Skaičiavimai buvo atlikti grafoanalitiniu ir matematiniu metodu. Abiejų metodų rezultatai sutampa, o tai ir patvirtina gautų rezultatų patikimumą. Gauti rezultatai rodo, kad Šventosios upės 95 % tikimybės debitas ties Ukmergėje yra apie 8 m³/s, o Neris upėje ties Jonava siekia apie 59 m³/s. Neris upės vandens lygis Jonavoje yra apie -6 cm.

2. Naudojantis kompiuterine programa HEC-RAS, sudarytas nusistovėjusios tėkmės hidrodinaminis modelis Neris upės ruože nuo Kauno iki Ruklos. Programoje pagrindą sudarė skaitmeninis reljefo modelis SRM, o perimetro gardelė projekte 20 x 20 m. Ribinės sąlygos nustatytos ištekėjimo ir įtekėjimo vietose pagal atliktus hidrologinius skaičiavimus. Siekiant užtikrinti tikslumą, buvo sistemingai koreguojamas Manningo šiurkštumo koeficientas (n), kol imituojamas vandens srautas atitiko apskaičiuotą projektinį vandens lygį 39 km prie Jonavos VMS. Per šį modelio kalibravimo procesą buvo nustatytas optimalus Manningo koeficientas 0,023.

3. Iš gautų hidrodinaminio modelio rezultatų grido sudarytas projektinių vandens lygių išilginis profilis. Vidutinis aukščių skirtumas tarp tiriamojo upės ruožo kilometrų – 0,38 m. Įskirtinai dideli hidrauliniai šuoliai matyti tarp 1–2 km, 13–14 km, 19–20 km, 44–45 km, kur atitinkami aukščių skirtumai yra 1,14 m, 0,86 m, 1,08 m, 0,89 m. Tokiems dideliems skirtumams įtaką daro Neris upės rėvos ir intakai, o tai rodo upės hidromorfologines ypatybes.

Literatūra

1.Činčurak Erceg, B. Inland waterways transport in the European union-flowing or still standing?. In Proceedings of the International Scientific Conference "Social Changes in the Global World" (Vol. 1, No. 6, pp. 123-137).

2.De Leo, A., Ruffini, A., Postacchini, M., Colombini, M., & Stocchino, A. (2020). The Effects of Hydraulic Jumps Instability on a Natural River Confluence: The Case Study of the Chiaravagna River (Italy). *Water*, 12(7), 2027. <https://doi.org/10.3390/w12072027>

3.Dumbrasukas A. 2021. *Projektinių vandens lygių skaičiavimo metodika*. Kaunas.

4.Gailiusis B., Jablonskis J., Kovalenkovicienė M. 2001. *Lietuvos upės. Hidrografija ir nuotėkis*. Kaunas, Lietuvos energetikos institutas, 785 p.p.

5.Įsakymas dėl 2025 metais eksploatuojamų valstybinės reikšmės vidaus vandens kelių sąrašo. (Priimtas 2025 m. Kovo 7 d.). [žiūrėta 2025 m. Kovo 29 d.]. Prieiga per internetą: <https://vvkd.lt/wp-content/uploads/2025/03/2025keliai.pdf>

6.Įsakymas dėl aplinkosauginių reikalavimų paviršinių vandens telkinių dugno valymo ir gilinimo darbams vykdyti vidaus vandenų keliuose, uostuose ir priplaukose patvirtinimo. (Priimtas 2007 m. sausio 10 d.). [žiūrėta 2024 m. gegužės 5 d.]. Prieiga per internetą: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.9EEB2E7C0EB5/asr>.

7.Poška A., Punys P. 1996. *Inžinerinė hidrologija*. Kaunas.1996

8.Statybos techninis reglamentas STR 2.05.19:2005. Inžinerinė hidrologija. Pagrindiniai skaičiavimų reikalavimai.

9.Sabas, G., & Vaikasas, S. (2002). Minimalių vandens gylių Nemuno žemupyje modeliavimas. *Vandens ūkio inžinerija*, 20 (42).

10.Plotnikova, E., Vienažindienė, M., & Slavinskas, S. (2022). Development of Inland Waterway Transport as a Key to Ensure Sustainability: A Case Study of Lithuania. *Sustainability*, 14(17), 10532-

ASSESSMENT OF HYDROMORPHOLOGICAL CONDITIONS FOR THE FREIGHT SHIPPING ROUTE FROM KAUNAS TO RUKLA

Abstract

The network of operated inland waterways in Lithuania is being expanded, following the European Green Deal in developing an efficient, safe and environmentally friendly mode of transport. The waterway section from Kaunas to Rukla is a potential cargo transportation, therefore, this article analyzes the hydromorphological conditions of this section. Having the hydrological data series of the Jonava WMS (water measurement stations) and the river relief model SRM, the design water levels in the river section are calculated and modeled.

Hydrological calculations of the design water level and discharge of the Jonava VMS station were performed by two methods: empirically in an Excel spreadsheet and mathematically using the dedicated software HyfranPlus. The results obtained in both cases are compared with each other. Next, the hydrological boundary conditions are determined using the HEC-RAS software, and the design water level is calculated using the numerical method in the river section.

Hydrological calculations allowed us to determine the initial boundary conditions, which were used to create the hydrodynamic model. The results obtained show the lowest possible water level altitude values determined with a 95% probability for each kilometer of the Neris River between Kaunas and Rukla. These data are needed as a basis for assessing cargo shipping possibilities.

Keywords: design water level, flow rate, HEC-RAS, hydrodynamic model, hydrology, navigation, Neris river, Water measuring station (WMS).