

VIDAUS VANDENS E-41 KELIO VANDENS LYGIAI IR JŲ KAITA

Birutė SĖLENIENĖ, Vytauto Didžiojo Universiteto Žemės ūkio akademija, inžinerijos fakultetas, *el. paštas:*
birute.seleniene@stud.vdu.lt

Santrauka

Vidaus vandenų transporto naudojimas gali padėti pasiekti strateginį tikslą – sukurti aplinkai ir visuomenei draugišką susisiekimo sistemą. Straipsnyje analizuojamos ilgalaikės vandens lygių duomenų eilės, apskaičiuojant vidaus vandens kelio E-41 projektinius lygius. Kintantys vandens lygiai yra klimato kaitos formavimosi netiesioginis indikatorius, kuris gali daryti reikšmingą poveikį projektiniams vandens lygiams. Analizei atlikti vadovautasi „Mėlynojoje knygoje“ aprašyta vandens lygių nustatymo metodika.

Išanalizuotos VL ilgalaikės duomenų eilės, naudojant neparimetrinius testus, o rezultatai įvertinti klimato kaitos atžvilgiu. Testų analizė parodė, kad 70 m. VL duomenys yra labai paveikti vagos degradacijos bei klimato kaitos ir neatitinka (WMO) nustatytų testų, bei turi labai ryškia mažėjimo tendenciją, todėl visos eilės negalima naudoti hidrologiniuose skaičiavimuose. Dėl to naudota sutrumpinta duomenų eilė, kuri atitinka nepriklausomumo, stacionarumo ir homogeniškumo testus.

Tyrimo metu nustatyta, kad vandens kelio maksimalių VL kaita klimato kaitos fone leidžia daryti išvadą, kad jie nedidės, o minimalūs VL gali didėti.

Reikšminiai žodžiai: skaičiuotini (projektiniai) vandens lygiai, vidaus vandens kelias, Nemuno upė.

Įvadas

Lietuvos susisiekimo plėtros iki 2050 m. strategija kelia tikslą sukurti transporto sistemą, kuri užtikrintų galimybę efektyviai, saugiai ir patogiai judėti tiek šalies viduje, tiek už jos ribų, laikantis visų aplinkosauginių standartų ir reikalavimų. Aktyvus vidaus vandenų transporto naudojimas gali padėti pasiekti tikslą – sukurti aplinkai ir visuomenei draugišką susisiekimo sistemą, skirtą šalies ekonomikai ir konkurencingumui skatinti (Lukoševičienė ir kt., 2021).

Nemunas – didžiausia ir svarbiausia Lietuvos upė. Laivyba Nemuno upe Lietuvoje turi senas ir galias tradicijas. Dar XVI a. ši didžiausia Lietuvos upė buvo plačiai naudojama įvairiems kroviniams ir miško medžiagai (sieliams) plukdyti (Gailiusis ir kt., 2001). Užtikrinant reikiamus saugiai laivybai vidaus vandens kelių parametrus, būtina nuolatos prižiūrėti. Šią funkciją Lietuvos teritorijoje atlieka VĮ Vidaus vandens kelių direkcija (toliau – VVKD). Svarbiausias VVKD strateginis projektas yra susietas su tarptautinės reikšmės laivybiniu keliu Klaipėda–Kaunas, kuriame turi būti palaikomi tarptautiniu susitarimu nustatyti IV klasės vidaus vandenų kelių matmenys per visą 230 parų navigacijos laikotarpį (Vidaus...,2022).

Vidaus vandenų kelio matmenys nustatomi pagal daugiamečių stebėjimų hidrologinius skaičiavimus. Vandens matavimo stotyse stebimas vandens lygis yra labai svarbus rodiklis laivyboje, nes yra vienas iš svarbiausių vandens kelio parametrų. Pagal projektinį vandens lygį apskaičiuojamas gylis. Projektinis vandens kelio vandens lygis yra pagrindinis atskaitos taškas laivyboje, nes išilgai upės vandens lygis mažai kinta, tačiau dugnas nelygus, dėl to esant tam pačiam vandens lygiui vienur būna giliau, kitur sekliu (Dumbrasukas, 2021).

Vandens kelio minimalių vandens lygių modeliavimą Nemuno žemupyje atliko 2002 m. G. Sabas ir S. Vaikasas (Sabas, Vaikasas., 2002). Šio mokslinio darbo tikslas buvo nustatyti, ar Nemuno žemupyje vandens gyliai atitinka minimalius reikiamus vandens kelio standartus ir kokią įtaką turėtų dirbtinio poplūdžio bangos sklidimas laivybos sąlygoms pagerinti. Tyrimams atlikti buvo naudojami hidrometrinių metraščių skaitmeninė paros vandens lygių duomenų bazė ir HEC-RAS programa. Nustatyta, kad analizuojamas Nemuno žemupio ruožas atitinka minimalius laivybos sąlygų reikalavimus.

Kitas parametras yra navigacijos periodo maksimalus vandens lygis. Tada gylis užtikrinamas visame ruože, bet atsiranda kita problema – kai kelyje pasitaiko žemų tiltų, pvz., Karalienės Luizos tiltas, tada tarp laivo aukščiausio taško ir tilto apačios atstumas gali būti per mažas ir laivas nepraplauks. Taigi laivybai plėtoti reikia ieškoti optimalių variantų siekiant patenkinti abi sąlygas, todėl aktualu įvertinti vandens lygių kaitos tendencijas (Dumbrasukas, 2021).

Tyrimo tikslas – atlikti Nemuno upės vandens lygių ilgalaikės stebėjimų duomenų, gautų iš Rusnės, Panemunės, Smalininkų ir Lampėdžių vandens matavimo stočių, analizę, apskaičiuoti pagrindines hidrologines charakteristikas bei įvertinti vidaus vandens kelio vandens lygių kaitos tendencijas per paskutinius 70 metų.

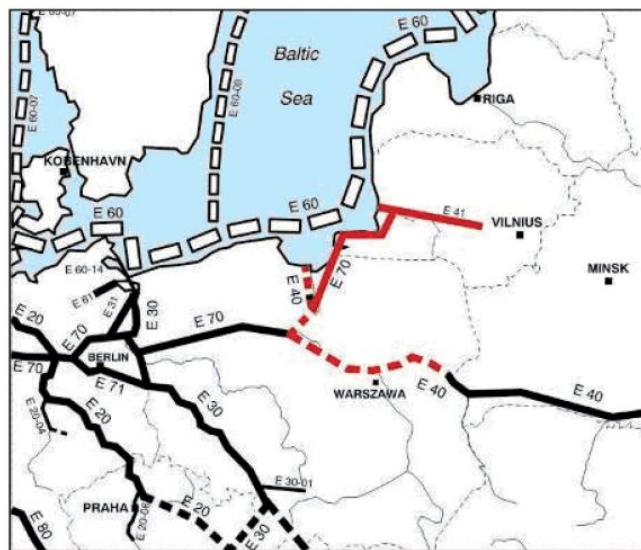
Tikslui pasiekti sprendžiami šie **uždaviniai**:

1. Surinkti Nemuno upės baseino matavimo stočių vandens lygių stebėjimų duomenis;
2. Aptarti vandens lygių analizės metodus;
3. Išanalizuoti Nemuno upės matavimo stočių surinktus vandens lygių duomenis ir įvertinti jų patikimumą.

Tyrimų objektas ir metodai

Tyrimo objektas yra Nemuno upės ruožas nuo Kauno iki Kuršių marių ir šiame ruože esantis tarptautinis vidaus vandens kelias E-41. Nemuno upės ruožo ilgis – 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, 1993). Šios upės hidrologinis režimas tyrinėjamas jau nuo XIX a. pradžios, kai Prūsija įsteigė pirmąsias vandens matavimo stotis (toliau – VMS): Rusnės, Tilžės, Smalininkų ir kt. Darbe nagrinėjami 4 hidrologijos stočių stebėjimo vandens lygio (toliau – VL) matavimo duomenys (Rusnės, Panemunės, Lampėdžių, Smalininkų), kuriose atliekami Nemuno VL matavimai. Kadangi vidaus vandens kelio garantiniai vidaus vandens kelių matmenys turi būti išlaikomi esant projektiniam VL, tai darbe apskaičiuoti ir nustatyti farvaterio matmenys esant projektiniam, t. y. 95 % tikimybės VL.

Maksimaliu VL užtikrinamas farvaterio gylis visame ruože. Tai 10 % tikimybės vandens lygis. Šis parametras lemia laivų galimybes praplaukti po tiltais. Atstumas nuo maksimalaus VL iki tilto apatinio taško riboja laivų aukštį. Vidaus vandens kelyje E-41 yra 7 tiltai, kurie yra saugūs laivininkystei.



1 pav. Vidaus vandens kelias E-41 Baltijos regiono vidaus vandens kelių tinkle

Šaltinis: UNECE sekretariat, 2019 (https://unece.org/DAM/trans/doc/2019/sc3/ECE-TRANS-SC3-2019-inf_04e.pdf).

Fig. 1. Inland Waterway E-41 in the Baltic Sea region Inland Waterway network map

Source: UNECE.org, 2019 (https://unece.org/DAM/trans/doc/2019/sc3/ECE-TRANS-SC3-2019-inf_04e.pdf).

1 lentelėje pateikiamas eksploatuojamo kelio ruože esančių tiltų sąrašas. Lentelėje taip pat nurodytas tilto atstumas nuo Atmos žiočių, laivybos angos aukštis. Aukštis pateiktas pagal vieningą Lietuvos valstybinę aukščių sistemą LAS07 (toliau – LAS07).

1 lentelė. Vidaus vandens kelio E-41 Klaipėda–Kuršių marios–Nemuno upė–Kaunas atkarpoje esančių tiltų sąrašas

Table 1. List of bridges in the section of the Inland Waterway E-41 Klaipėda–Curonian Lagoon–Nemunas River–Kaunas

Tiltai	Atstumas nuo Atmos žiočių km	Vieta	Tilto ilgis	Laivybos angos aukštis nuo VMS "0"	VMS LAS 07		Laivybos angos aukštis LAS 07
Rusnės tiltas	12,5	Rusnė	332	12,1	Rusnės	-1,56	10,54
Sovietsko geležinkelio tiltas	58,2	Panemunė	570	11,46	Tilžė–Panemunė	2,01	13,47
Karalienės Luizos Tiltas	59,8	Panemunė	416,3	8,98	Tilžė–Panemunė	2,01	10,99
Panemunės–Sovietsko aplinkkelio tiltas	62,8	Panemunė	300	11,5	Tilžė–Panemunė	2,01	13,51
Jurbarko „Šimtmečio tiltas“	125,9	Jurbarkas	494	15,95	Serdžiaus	15,29	31,24
Lamėdžių „Česlovo Radzinausko“ tiltas	207,9	Kaunas	446	15,47	Lampėdžių	20	35,47
„Vytauto Didžiojo“ tiltas	211,65	Kaunas	256	9,22	Kauno	20,86	30,08

Pagal Europos susitarime dėl svarbiausių tarptautinės reikšmės vidaus vandens kelių (Europos susitarimas..., 1996) nurodytų rekomendacijų dėl tiltų matmenų, rekomenduojamas rekonstruojamas ar naujai statomo tilto aukštis turi būti ne mažesnis kaip 5 m, tačiau parenkant tilto matmenis ir aukštį turi būti atsižvelgiama į laivybos sąlygų specifiką ir numatomų laivybai naudoti laivų aukštį.

Susitarime (Europos susitarimas..., 1996) pabrėžiama, kad tilto aukštis skaičiuojamas nuo aukščiausio navigacijos laikotarpio VL iki žemiausios tilto konstrukcijos laivakelyje. Aukščiausio navigacijos laikotarpio VL atitinka tokį vandens lygį, kuris tęsiasi ne trumpiau kaip 1 % navigacijos laikotarpio trukmės. Šis VL nustatomas pagal trukmių kreivę, sudarytą iš ne mažiau kaip 20 paskutinių metų navigacijos laikotarpio VL stebėjimo duomenų. Ten, kur nėra VL stebėjimo duomenų, jie iš artimiausios vandens matavimo stoties perkeliama į projektuojamo tilto vietą įvertinant upės nuolydį arba atliekant hidrodinaminį modeliavimą.

Vidaus vandens kelyje E-41 yra ir kitų kliūčių, turinčių įtakos saugiai laivininkystei, kaip antai: dujotiekio ir nuotekų diukeriai, ryšių kabeliai, elektros orinės linijos. Dėl šių priežasčių negalima mesti inkarų, atlikti vagos gilinimo darbų, oro linijos limituoja laivų aukštį. Elektros oro linijos vandens kelią kerta penkiose vietose.

Nemuno VL ties Lampėdžių matavimo stotimi didelės įtakos turi Kauno hidroelektrinė, kuri dirba neatsižvelgdama į saugios laivininkystės poreikius. Ypač ryški Kauno HE įtaka tekant minimaliems debitams. Tada tiriamo objekto vietoje vandens lygiai per parą gali svyruoti net iki 1 m. Tai pastebėta iš kiekvienos dienos hidrografų.

Duomenų šaltiniai. Vandens lygių duomenys. VVKD privalo užtikrinti minimalų vandens gylį visame ruože: nuo Uostadvario iki Jurbarko – 1,5 m, aukščiau iki Kauno – 1,4 m. Plaukiant išilgai upės, kai yra projektinis VL, visur turi būti nurodytas gylis. Deja, yra nemažai seklumų, kur gylis mažesnis. Tada siunčiama technika ir upės dugnas toje vietoje gilinamas. Kiek gilinti apskaičiuojama būtent nuo projekcinio vandens gylio (Dumbrauskas, 2021).

Nagrinėjama Nemuno upę geriausiai apibūdina keturios VMS, išsidėsčiusios per visą Nemuno upės ilgį, t. y. Rusnės–Atmatos, Panemunės, Smalininkų ir Lampėdžių. Šios stotys priklauso Lietuvos hidrometeorologijos tarnybai (LHMT), kuri skelbia hidrometrinius, hidrometeorologinius ir kitus duomenis. Nemuno upės baseino matavimo stočių: Rusnės–Atmatos, Panemunės, Smalininkų bei Lampėdžių VL stebėjimų duomenys išrinkti iš hidrologijos metraščių nuo 1950 iki 2020 metų. Neveikiant Lampėdžių VMS, VL stebėjimą vykdė VĮ Vidaus vandens kelių direkcija ir šiam darbui atlikti pateikė savo turimus duomenis už laikotarpį nuo 2001 iki 2009 m. Taigi sudėjus iš visų prieinamų šaltinių VL duomenis susidarė pakankamai ilgas 70 metų laikotarpis, iš jo 8 m. iki Kauno HE pastatymo ir 62 m. po HE pastatymo. Duomenys buvo apdoroti naudojantis *Excel* skaičiuokle: perskaičiuoti į vieningą LAS07, išrinkti kiekvienų metų maksimalūs, vidutiniai ir minimalūs VL ir sudarytos VL lentelės, kurios yra naudojamos statistinei analizei atlikti. Žemiau pateiktoje lentelėje pateikta suvestinė matavimo periodų lentelė.

2 lentelė. Nemuno upės VMS VL matavimo duomenys

Table 2. The data of the Nemunas river water level measurement at water measuring stations (WMS)

Matavimo stotys	Stoties nulinių altitudžių duomenys LAS07	VL matavimo duomenų laikotarpis
Rusnės–Atmatos	-1,56	1950-2020 (70 m.)
Panemunės	2,01	1950, 1952, 1950–2020 (67m.)
Smalininkų	7,33	1950–2020 (70 m.)
Lampėdžių	20	1950–2020 (70 m.)

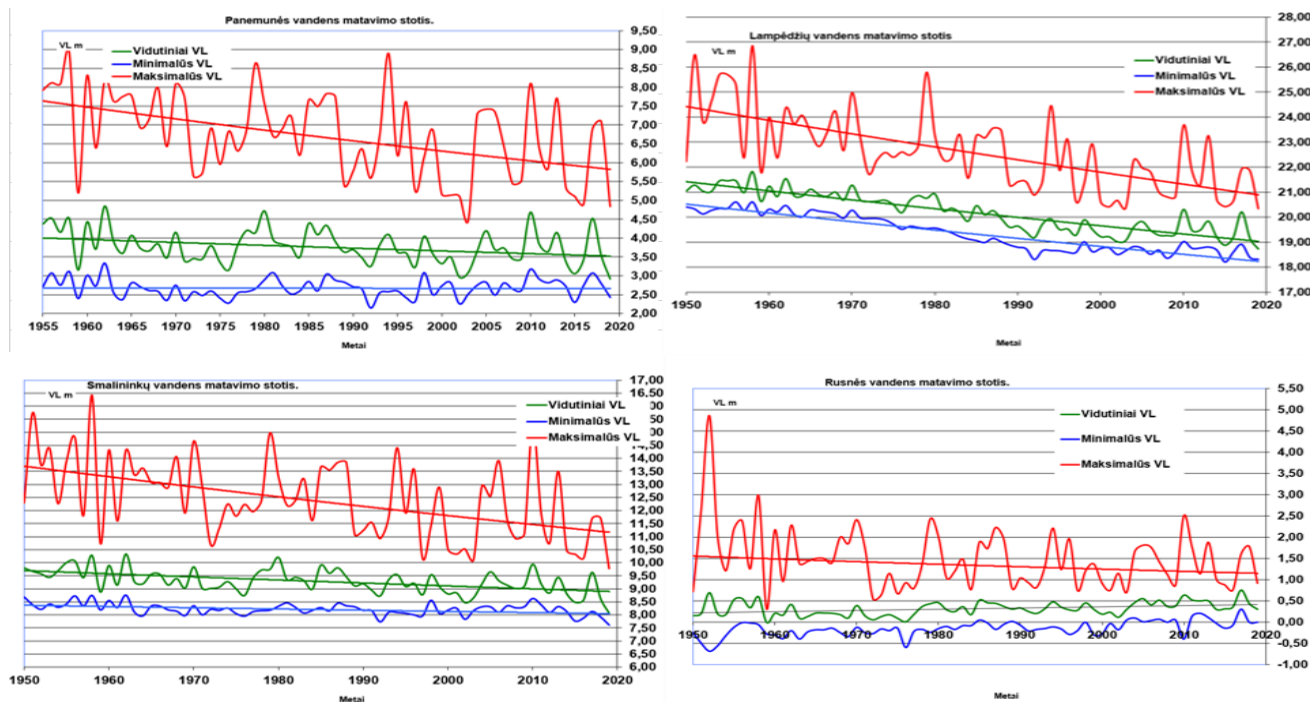
Norint, kad hidrologinių matavimų (hidrometeorologinių stebėjimų) duomenys būtų reprezentatyvūs, STR 2.05.19:2005 „Inžinerinė hidrologija. Pagrindiniai skaičiavimų reikalavimai“ numato, kad duomenys turi apimti sausų ir vandeningų metų ciklą. Paprastai duomenų eilė (narių skaičius) laikoma pakankamai ilga, jei jų reikšmių vidutinė kvadratinė vidurkio paklaida yra mažesnė nei 10 %. Esant pakankamai ilgai hidrometrinių duomenų eilei, hidrologiniai skaičiavimai atliekami taikant tikimybės skirstinių funkcijas.

Naudojant metraščiuose publikuojamus kiekvienos paros VL duomenis, atrinkti mėnesių maksimalūs, minimalūs ir vidutiniai VL ir perkelti į suvestinę lentelę, perskaičiuojant į absoliučias altitudes LAS07 sistemoje. Iš jos sudarytos duomenų eilės su maksimaliais, vidutiniais ir minimaliais navigacijos laikotarpio (IV–XI mėn.) VL (žr. 2 pav.).

Iš Lampėdžių VMS grafiko matyti, kad navigacijos laikotarpiu visi VL Lampėdžių VMS turi ryškią mažėjimo tendenciją, o Smalininkų ir Panemunės VMS duomenimis, didžiausią mažėjimo tendenciją turi maksimalūs VL. Vidutinių ir minimalių VL mažėjanti tendencija nebėra tokia akivaizdi. Rusnės VMS yra Nemuno žemupyje, prie žiočių, ir čia nėra minimalių ir vidutinių VL kaitos, o maksimalių VL yra mažėjanti tendencija.

Pasaulinės meteorologijos organizacijos rekomendacijose „*Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. WMO-No. 168. Sixth edition*“ (WMO) sakoma, kai hidrologinių duomenų eilė turi ryškias kaitos tendencijas, rekomenduojama atlikti duomenų eilių patikimumo-nepriklausomumo – „Wald_Wolfowitz“; homogeniškumo – „Wilcoxon“ ir stacionarumo (arba „trend test“) – *MannKendall* test, testus. Tuo atveju, jei duomenų eilės patikimumo lygmuo atitinka 5 % patikimumo lygį, jos laikomos patikimomis.

Projektinių vandens lygių skaičiavimo metodai. VVKD užsakymu yra sudaryta skaičiavimų metodika iki šiol naudojama tolimesnėms upės laivakelio gilinimo bei platinimo galimybės analizuoti (Gailiūšis, 1996). Projektinis VL turi būti apskaičiuotas visam vandens keliui ir žinomas bet kurioje vietoje, tačiau VL matavimai paprastai atliekami tik VMS, taigi ir projektinį VL žinosime tik tuose taškuose: Rusnės–Atmatos, Panemunės, Smalininkų ir Lampėdžių VMS. Kuo tankiau išilgai vandens kelio yra matavimo stočių, tuo tiksliau sudaromas ištisinis VL profilis.



2 pav. 1950–2020 m. navigacijos laikotarpio vidutiniai, minimalūs ir maksimalūs vandens lygiai Lampėdžių, Panemunės, Smalininkų ir Rusnės VMS

Fig. 2. Average, minimum and maximum water levels of Lampėdžiai, Panemunė, Smalininkai and Rusnė VMS during the navigation period in 1950–2020.

Projektinis VL skaičiuojamas imant mažiausiai 30 paskutinių metų navigacijos periodo mažiausių VL seką. Garantiniai vandens kelio gabaritai yra nustatomi pagal projektinius VL, kurie skaičiuojami statistiškai kaip navigacijos laikotarpio daugiamečiai 95 % tikimybės VL (Михайлов, 1982). Todėl duomenų seka pirmiausia buvo apdorota statistiškai (atlikta aprašomoji statistika), atlikti reikalingi testai – sekos homogeniškumo, vienarūšiškumo ir tendencijos testai, ir tik esant teigiamiems testų rezultatams parinkta tinkamiausia skirstinio funkcija, o iš jos nustatomas 95 % tikimybės mažiausias VL, atitinkantis Vidaus vandenų kelių eksploatavimo taisyklėse apibrėžtą projektinio VL sąvoką – „VL, nustatytas pagal minimalų 95 % tikimybės paros vidutinį VL, išmatuotą vandens matavimo stotyse“. Tai reiškia, kad mažesni už šį VL per navigacijos sezoną gali būti tik 5% vandens lygio atvejų iš 100. Tokiems skaičiavimams atlikti buvo naudota Excel skaičiuoklė – grafoanalitiniu būdu nustatant projektinius VL. Taip pat ir specializuota hidrologinių skaičiavimų programinė įranga Hyfranplus, atliekant VL duomenų eilių patikimumo vertinimą bei statistinę analizę. Statistinės VL tikimybių kreivės sudarytos naudojantis dažnių kreivės nustatymo programa *Freqcurves_ver306*.

Žemiausias navigacijos periodo VL gali būti nustatomas empiriškai arba duomenis aproksimuojant 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:

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

čia $P\%$ – tikimybė procentais;

T – pasikartojimo periodas metais.

Kai skaičiavimai susiję su potvyniais, tai naudojama viršijimo tikimybė (angl. *exceedance probability*), kas reiškia, kad kartą per skaičiuojamąjį periodą (tarkim, šimtmetį) VL reikšmė bus lygi arba didesnė už apskaičiuotąją. Kai skaičiavimai susiję su sausromis, naudojama neviršijimo tikimybė (angl. *no exceedance probability*), kas reiškia, kad kartą per skaičiuojamąjį periodą VL bus lygus arba mažesnis už apskaičiuotąjį. Taigi projektiniai VL nustatomi remiantis neviršijimo tikimybe. Taip pat labai svarbu yra ir tai, kokios trukmės duomenų seka naudojama. Kuo ilgesnė duomenų seka, tuo patikimesnis rezultatas. Tačiau ilgesnės duomenų sekos yra mažiau stacionarios, tad reikia labai atidžiai atlikti hipotezių testavimą nustatant duomenų patikimumą (Dumbrasukas, 2021).

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

VL žemėjimo tendencijoms iliustruoti panaudotas grafoanalitinis, hidrologijoje labai plačiai taikomas metodas – trukmių kreivių (angl. *FDC – flow duration curve*). Šiame darbe buvo panaudota Veibulo formulė, kuri laikoma geriausia, kai yra nežinomas hidrologinės charakteristikos tikimybės skirstinio pobūdis (Poška, Punys, 1996).

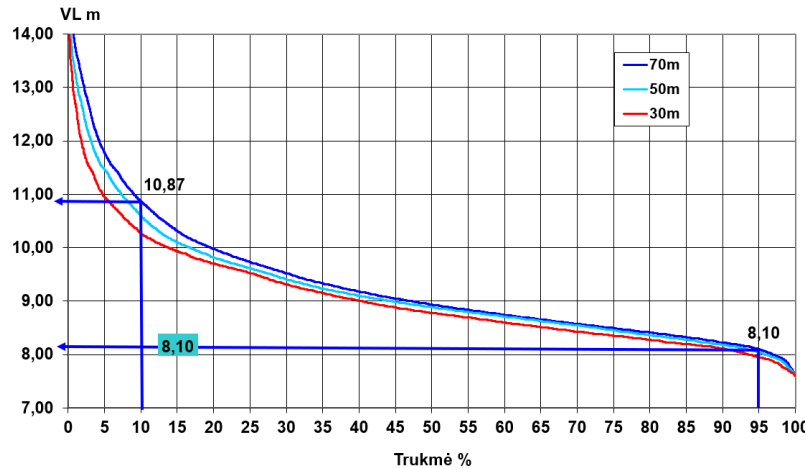
Imant tiriamo periodo kiekvienos paros arba pasirinkto intervalo VL duomenys buvo sujungti į vieną eilę ir išrikiuoti mažėjančia tvarka. Taip kiekvienam eilės nariui apskaičiuota tikimybė procentais pagal šią išraišką:

$$p=m/(n+1), \quad (2)$$

čia n – duomenų serijos ilgis;

m – vandens lygio reikšmės numeris pertvarkytoje duomenų eilėje.

Tada sudaromi grafikai vertikaliajoje ašyje pažymint realų VL, o horizontalioje – p , kuri kinta nuo 0 iki 100. Žinant navigacijos periodo trukmę paromis, pradžią ir pabaigą, galima p pakeisti konkrečia data. Tokie grafikai sudaryti visoms keturioms vandens matavimo stotims, trimis laikotarpiais –30, 50 ir 70 m. (žr. 3 paveikslą). Visų matavimo stočių rezultatai pateikiami 3 lentelėje, įvertinant ir VL kitimo tendenciją nuo 70 m. iki 10 m. laikotarpio.



3 pav. Smalininkų VMS navigacijos periodo vandens lygių trukmių kreivės

Fig. 3. Water levels flow duration curves of navigation period in the Smalininkai WMS.

Lyginant tris periodus, ypač ilgesnius su trumpesniais (1950–2020; 1970–2020 ir 1990–2020), matyti, kad trukmių kreivė labai aiškiai visame grafiko plote krenta po truputį žemyn ir tai aiškiai matoma aukštupio VMS (Lampėdžių ir Smalininkų), ir tai įrodo, kad VL žemėja dėl vagos degradacijos ir klimato kaitos įtakos. Arčiau žiočių esančiose VMS (Panemunės ir Rusnės) šitoks ryškus VL kitimas nepastebimas. Šios kreivės taip pat leidžia pasitikrinti ir norimas ekstremines vandens lygių reikšmes, kurios ypač reikalingos norint praplaukti po tiltais. Tai buvo nustatyta pagal nekoreguotus duomenis, t. y. tokius, kokie užregistruoti VMS.

3 lentelė. Vandens kelio projektinių VL ties vandens matavimo stotimis skaičiavimo rezultatai pagal sudarytas trukmių kreives

Table 3. Results of calculation of inland waterway water levels by the WMS according flow duration curves.

Laikotarpis	Smalininkų VMS		Lampėdžių VMS		Panemunės VMS		Rusnės VMS	
	Proj. 95 % VL m	Proj. 10 % VL m	Proj. 95 % VL m	Proj. 10 % VL m	Proj. 95 % VL m	Proj. 10 % VL m	Proj. 95 % VL m	Proj. 10 % VL m
1950–2020	8,10	10,87	18,70	21,60	2,57	5,46	-0,14	0,76
1960–2020	8,04	10,74	18,68	21,40	2,56	5,37	-0,10	0,74
1970–2020	8,01	10,60	18,66	21,11	2,56	5,21	-0,08	0,74
1980–2020	7,94	10,48	18,62	20,80	2,58	5,12	-0,03	0,77
1990–2020	7,92	10,27	18,56	20,51	2,54	4,93	-0,03	0,75
2000–2020	7,92	10,18	18,53	20,41	2,54	4,87	0,02	0,77
2005–2020	7,92	10,37	18,47	20,54	2,59	5,09	0,08	0,84
2010–2020	7,81	10,21	18,38	20,57	2,52	5,05	0,05	0,85

Šis būdas neįvertina tokių aspektų, kaip duomenų sekos patikimumas, galimos ūkinės veiklos ar klimato kaitos įtakos VL kaitai ir pan. Tačiau vadovaujantis „Mėlynąja knyga“ (Economic..., 2012) aukščiausias navigacijos sezono vandens lygis (HNWL), trunkantis ne mažiau nei 1 % navigacijos sezono trukmės, atskirais laikotarpiais sudaromas pagal trukmių kreives.

Kadangi hidrologiniai skaičiavimai atliekami pagal STR ir laikantis pasaulinės meteorologinės organizacijos (WMO) rekomendacijų, kur būtina atlikti duomenų sekos patikimumo testus ir skaičiavimams naudoti VL tikimybės nustatyti rekomenduojamus metodus, darbe buvo atlikti duomenų eilių sekos homogeniškumo, vienuarūšiškumo ir tendencijos testai naudojant *HyfranPLUS* programą. Atlikus duomenų testavimą nustatyta, kad tik dalis duomenų atitinka visus tris testus, taigi VL tikimybės kreivė sudaryta tik iš paskutinių metų VL duomenų, atitinkančių visus tris rekomenduojamus testus. Atitinkančių duomenų eilių rezultatai pateikiami 4 lentelėje. Taip pat šioje lentelėje pateikiami

visus tris testus atitikusių maksimalių, vidutinių ir minimalių VL duomenų eilių tikimybių kreivių 95 % tikimybės rezultatai, sudaryti naudojantis statistinės dažnių kreivės nustatymo programa *Freqcurves_ver306*.

4 lentelė. 95 % ir 10 % tikimybės, sudarytos naudojant dažnių nustatymo programą, rezultatai

Table 4. Results of calculation probability using program of water levels flow duration

Matavimo stotys	Duomenų periodas tenkinantis visus tris testus			P 95 % vandens lygiai			P apskaičiuota pagal 70 m. trukmių kreivę	
	Minimalūs VL	Vidutiniai VL	Maksimalūs VL	Minimalūs VL	Vidutiniai VL	Maksimalūs VL	95 %	10 %
Smalininkų VMS	1960–2020	1990–2020	1990–2020	7,81	8,37	9,7	8,10	10,87
Lampėdžių VMS	1990–2020	1990–2020	1990–2020	18,31	18,88	20,01	18,70	21,60
Rusnės VMS	1990–2020	1990–2020	1950–2020	-0,31	0,21	0,67	-0,14	0,76
Panemunės VMS	1953–2020	1990–2020	1985–2020	2,3	3,1	4,68	2,57	5,46

95 % tikimybių rezultatai gauti pagal Veibulo skirstinį, naudojantis dažnių sudarymo programa, akivaizdžiai skiriasi nuo 95 % tikimybių rezultatų, apskaičiuotų grafoanalitiniu būdu, apskaičiuavus sudarant trukmių kreives ir nustatant pagal nekoreguotus duomenis, t. y. tokius, kokie užregistruoti VMS. Skirtingi rezultatai galėjo būti gauti trumpinant duomenų eiles, norint gauti teigiamus testų rezultatus. Jeigu lygintume 70 metų periodo 95 % tikimybę ir minimalių VL trumpintos 95 % tikimybių eilės rezultatus, galima pastebėti, jog per pastaruosius 30 metų VL vidaus vandens kelyje yra linkęs mažėti.

Nemuno nuotekis per metus tirtas daugelio mokslininkų, todėl atliekant statistinius tyrimus svarbu parinkti tinkamus metodus. Dumbrasuko, Bagdžiūnaitės-Litvinaitienės ir Vyčienės mokslinio straipsnio (2008) gauti rezultatai parodė, kad vidutiniai metiniai debitai beveik visose nagrinėtose upėse didėja, pavasario maksimalūs debitai – mažėja, o metiniai minimalūs debitai – didėja. Taigi debitų kaita neabejotinai priklauso nuo klimato.

Pagal nuotėkio pasiskirstymo per metus ypatumus Nemunas priskiriamas prie tų upių, kuriose intensyviai tirpstant sniegui nuotėkis labai padidėja, o kitu metų laiku jis yra santykinai mažas. Nemuno baseinui dėl jo klimato ypatybių aktualiausias yra sausros, taip pat pavasariniai sniego tirpsmo potvyniai ir gausaus lietaus sukelti vasaros bei rudens poplūdziai. Per 1961–2009 metų laikotarpį nustatytos tokios nuotėkio pokyčių tendencijos: nežymiai padidėjo vidutinis metinis nuotėkis – baseine vidutiniškai 2,7 %; sumažėjo pavasario potvynio nuotėkis, be to, jo pikas pasiekiamas anksčiau; didžiojoje Nemuno baseino dalyje padidėjo nuotėkis žiemos laikotarpiu; nežymiai sumažėjo vasaros nuotėkis Baltarusijos teritorijoje, o padidėjo šiaurės vakarinėje Lietuvos dalyje ir Rusijos Federacijos Kaliningrado srityje (Kornejevas ir kt., 2015).

Gailiūšis, Kovalenkoviėnė ir Kriaučiūnienė nustatė, kad Lietuvos upių nuotėkio charakteristikos turi šias kaitos tendencijas: upių metinis nuotėkis turi reikšmingą neigiamą tendenciją; upių pavasario potvynio maksimalūs debitai turi reikšmingą neigiamą tendenciją; upių žiemos nuotėkis turi ilgalaikę didėjimo tendenciją (Gailiūšis ir kt., 2006).

Su klimato šilimu siejamas vidutinis mažesnis vandens atsargų kiekis sukauptas prieš pavasarį (Stonevicius ir kt., 2017), tačiau, net ir šylant klimatui, gali pasitaikyti ilgesni laikotarpiai su neigiama temperatūra, per kuriuos sniego dangoje kaupsis iškritę krituliai. Ateityje numatomas kritulių kiekio didėjimas šalto sezono antroje pusėje (Keršytė ir kt., 2015), tad vandens atsargos sniege gali būti gausiai papildomos. Atsitraukus šalтиems orams sniego danga gali pradėti intensyviai tirpti, sukeldama didelius potvynius.

Išvados

1. Skaičiavimams buvo suskaitmeninti ir susisteminti VL stebėjimų duomenys, publikuojami LHMT leidžiamuose metraščiuose, bei pateikti VVKD.

2. Atlikus duomenų testų analizę, nustatyta, kad 70 m. VL duomenys yra labai paveikti vagos degradacijos bei klimato kaitos, neatitinka WMO nustatytų testų ir turi labai ryškią mažėjimo tendenciją, todėl visos eilės negalima naudoti hidrologiniuose skaičiavimuose. Dėl to nekoregavus duomenų galima naudoti tik trumpintą duomenų eilę, kuri atitiktų nepriklausomumo, stacionarumo ir homogeniškumo testus.

3. Išanalizavus techninę ir mokslinę literatūrą, vadovautasi „Mėlynojoje knygoje“ aprašyta VL nustatymo metodika.

4. Vandens kelio maksimalių VL kaita klimato kaitos fone leidžia daryti išvadą, kad jie nedidės. Tuo tarpu minimalūs VL gali didėti.

Literatūra

1. Dumbrasukas A. 2018. Hidrologiniai skaičiavimai pagal realius stebėjimo duomenis, nustatant navigacijos periodo maksimalius vandens lygius Nemuno upėje projektuojamo Kėdainių tilto vietoje. Kaunas.
2. Dumbrasukas A. 2021. Projektinių vandens lygių skaičiavimo metodika. Kaunas.

3. Dumbrasuskas A., Bagdžiūnaitė-Litvinaitienė L., Vyčienė G. 2008. Ilgalaikių hidrologinių eilių (debitų) statistinis tyrimas. Kaunas, Lietuvos žemės ūkio universitetas.
4. Dumbrasuskas A., Punys P. 2004. Hidrologijos ir hidrometrijos metodiniai patarimai pratybų ir laboratoriniams darbams. Akademija.
5. Gailiūšis B. 1996. Nemuno ir Kuršių marių laivakelio gilinimo bei platinimo galimybės, atsižvelgiant į kelio būklę, laivininkystės bei ekologinius reikalavimus, hidrotechninių statinių statybą bei Kauno HE tvenkinio išteklių panaudojimą. Baltic Eco. Vilnius.
6. Gailiūšis B., Jablonskis J., Kovalenkoviėnė M. 2001. Lietuvos upės. Hidrografija ir nuotėkis. Kaunas.
7. Gailiūšis B., Kovalenkoviėnė M., Kriaučiūniėnė J. 2006. Svarbiausios šiandieninės Lietuvos hidrologinių tyrimų kryptys. *Energetika*, Nr. 3, p. 43–50.
8. Guide to Hydrological Practices. Volume II. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. 2009. WMO-No. 168. Sixth edition. P. 302.
9. "Blue Book". 2012. Economic Commission for Europe Inventory of Main Standards and Parameters of the Waterway Network Second revised edition. United nations. New York and Geneva.
10. Europos susitarimas dėl svarbiausių tarptautinės reikšmės vidaus vandens kelių (AGN). Ženeva, 1996.
11. Jablonskis J. 1994. Nemuno nuotėkis per 180 metų. *Energetika*, Nr.4, p. 19–32.
12. Keršytė D., Rimkus E., Kažys J. 2015. Klimato rodiklių scenarijai Lietuvos teritorijoje XXI a. *Geologija. Geografija*, Vol. 1(1), p. 22–35.
13. Lukoševičienė E., Slavinskas S., Vienažindienė M. 2001. Laivybos maršruto Nemuno upės nuo Kauno iki Klaipėdos (tarptautinės reikšmės vidaus vandens kelias E41) ekonominio efektyvumo ir poveikio aplinkai, atsižvelgiant į ES aplinkosaugos reikalavimus ir tolesnes tendencijas, siekiant būsimos tvarios ir vidaus vandens transporto plėtros, modeliavimas. Prieiga per internetą: <https://vvkd.lt/wp-content/uploads/2021/07/2021-m.-VDU-ataskaita.pdf> (žiūrėta 2022-01-10).
14. Kornejevas V. N., Volček A. A., Gertman L. N., Usava I. P., Anufrijevas V. N., Pachomovas A. V., Rusaja I. E., Bulak I. A., Bogodiaž E. P., Dubenok S. A., Zavjalovas S. V., Račevskis A. N., Rimkus E., Stonevičius E., Šepikas A., Buijs P., Crema G., Denisovas N. B., Koppel S. 2015. Nemuno upės baseino Prisisitaikymo prie klimato kaitos strateginės kryptys. Jungtinių Tautų vystymo programos atstovybė Baltarusijoje ir Jungtinių Tautų Europos ekonominė komisija; Brestas. 60 p.
15. Poška A., Punys P. 1996. Inžinerinė hidrologija. Kaunas.
16. Sabas G., Vaikasas S. 2002. Minimalių vandens gylių žemupyje modeliavimas. *Vandens ūkio inžinerija*, Vol. 20(42), p. 17–24.
17. Statybos techninis reglamentas STR 2.05.19:2005. Inžinerinė hidrologija. Pagrindiniai skaičiavimų reikalavimai.
18. Stonevičius E., Rimkus E., Štaras, A., Kažys, J., Valiuškevičius, G. 2017. Climate change impact on the Nemunas River basin hydrology in the 21st century. *Boreal Environment Research*, Vol. 22, p. 49–65.
19. Vidaus vandens keliai. VĮ Vidaus vandens kelių direkcija. Prieiga per internetą: <https://vvkd.lt/vidaus-vandenu-keliai>. (žiūrėta 2022-01-10).
20. Михайлов А. В., Левачув С. Н. Водные пути и порты, М. Высшая школа, 1982.

WATER LEVELS AND THEIR CHANGE IN THE INLAND WATERWAY E-41

Summary

The use of inland waterway transport can contribute to the strategic objective of establishing an environmentally and socially friendly transport system. The article analyzes long-term data series of water levels by calculating the design levels of the inland waterway E-41. Changing water levels are an indirect indicator of the formation of climate change, which can have a significant impact on the design water levels. The methodology for determining water levels described in the Blue Paper was used for the analysis. Long-term data series of water levels were analysed using non-parametric tests and the results were assessed in relation to climate change. Test analysis has shown that data on 70-year-old water levels are significantly affected by the degradation of the riverbed and climate change and do not meet the tests set by the WMO, and have a very marked downward trend, so that the entire series cannot be used in hydrological calculations. Therefore, a shortened data series was used to meet the independence, stationary and homogeneity tests. The study found that the change in the maximum water levels of the waterway against the background of climate change leads to the conclusion that they will not increase. Meanwhile, minimum water levels may increase.

Keywords: projected water levels, inland waterway, Nemunas river.