

NEMUNO UPĖS TĖKMĖS HIDRAULINĖS-GEOMETRINĖS CHARAKTERISTIKOS HIDROKINETINĖS ENERGIJOS IŠTEKLIŲ VERTINIMUI

HYDRAULIC-GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE RIVER NEMUNAS FOR THE ASSESSMENT OF HYDROKINETIC RESOURCES

¹Petras Punys, ¹Inga Adamonytė, ¹Algis Kvaraciejus, ²Saulius Žilinskas

¹Aleksandro Stulginskio universitetas, Vandens ūkio ir žemėtvarkos fakultetas

²Lietuvos hidrometeorologijos tarnyba, Kauno hidrologijos stotis

El.paštas: petras.punys@asu.lt, inga.adamonyte@asu.lt, algis.kvaraciejus@asu.lt
sauhhd@gmail.com

Hidrokinetinės energijos išteklių vertinimui Nemuno upės pavyzdžiu naudoti Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos vandens lygių, debitų, tėkmės greičių ir jų skersplokščių parametriniai duomenys vandens matavimo (hidrometrinėse) stotyse (VMS). Tyrimais nustatytos glaudžios vandens lygių, debitų, greičių ir skerspjūvių ryšių priklausomybės, o pagal daugiametes vidutinių paros debitų kreives bei vandens greičius ir debitų ryšį sudarytos VMS vandens tėkmės greičių histogramos, kurios pagrįstos teoriniais tikimybės skirstiniais ir duomenų patikimumo testais. Geriausiai duomenis atitinka ekstreminių verčių skirstinys. Hidrologiniu metodu nustatytos hidraulinės ir geometrinės upės tėkmės charakteristikos palygintos su skaitmeniniu modeliu (HEC-RAS) gautaisiais rezultatais. Nustatyta, kad atitiktis yra gera. Ryšio tarp tėkmės greičio, vagos skerspločio, upės gylio ir debito ekstrapoliacija išilgai upės yra negalima hidrokinetinės energijos išteklių vertinimui dėl duomenų tarpusavio ryšio silpnumo. Hidraulinis modeliavimas, panaudojant vagos skaitmeninį reljefo modelį, yra pagrindinis ir tiksliausias būdas hidrokinetinės energijos išteklių vertinimui bei efektyviausių vietovių hidroenergjai generuoti parinkimui, o hidrometriniai matavimai būtini tik šių duomenų validavimui.

Hidrokinetinė energija, hidrometrinių stočių debitų duomenys, tėkmės morfometrinės, hidraulinės ir galios charakteristikos.

Įvadas

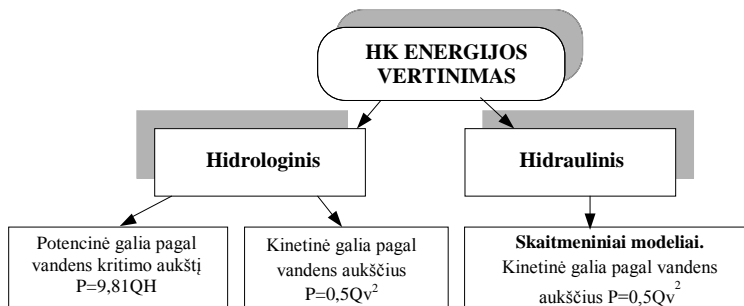
Lietuvos upių hidroenergjios ištekliai, kai naudojama potencinė vandens tėkmės energija (slėgio aukščio, kuriai sudaryti būtina patvanka, t. y. kai statoma užtvanka), yra įvertinti, technologijos plačiai taikomos, o elektros gamybos rinkoje ši energijos gamyba pasiteisina (Jablonskis, 2005). Hidroenergetikai, naudojančiai potencinę upės energiją, vystytis, nepaisant esamų vis dar nepanaudotų upių energijos išteklių, sunku dėl aplinkosauginių apribojimų – draudimų tvenkti upes (Jab-

lonskis ir kt., 2007; Punys ir kt., 2010). Napatvankinės technologijos pagrįstos laisvos vandens tėkmės greičio (hidrokinetinės – HK) energijos naudojimu, gaminti elektrą tekančiame vandenyje – upėje ar kitoje vandentėkmėje, tačiau jos iki šiol, neturi industrinės ir komercinės vertės (Khan et al., 2008). Nereikšmingo HK išteklių panaudojimo priežastis yra efektyvių technologijų trūkumas ir maža upėse naudojamų turbinų galia – nuo kelių iki kelių šimtų kW (Verdant..., 2006). Energetikos rinkos analitikai prognozuoja, kad po 15-20 m. situacija turėtų pasikeisti, nes perspektyva panaši kaip ir vėjo energijos (Johnson et al., 2010).

HK energijos ištekliai vertinti Kanadoje (Assessment..., 2010) ir JAV (Assessment..., 2012). Potvynių-atoslūgių tėkmės (ne upių) HK ištekliai vertinti Švedijoje ir Norvegijoje (Grabe, 2013; Lalander et al., 2013). Lietuvoje HK ištekliai nėra vertinti nei vienai upei.

Kaip nurodo Khan et al. (2008) HK energijos vertinimui būtinos debito erdvinės ir laiko charakteristikos, upių gyliai, vagų skerspločiai, vandens naudotojai bei ekosistemų reikalavimai, o upių kiekybinių duomenų bazės nėra tinkamai paruoštos HK energijos analizei, todėl šių duomenų analizei metodus reikia pagrįsti. Lalander et al. (2013) pažymi, kad didžiausias dėmesys kreipiamas į HK energijos panaudojimo technologijas, o HK išteklių vertinimas neatliekamas. Nepaisant to, kad egzistuoja upių detalios duomenų bazės, ryšys tarp vandens greičių ir debitų yra nežinomas.

Nustatyti HK išteklius galima dviem būdais: hidrologiniu (1 pav.) (naudojant potencinės arba kinetinės galios formules) ir hidrauliniu arba hidrodinaminiumo modeliavimu (skaitmeninis metodas, kai naudojama kinetinės galios formulė).



1 pav. Upių hidrokinetinės energijos išteklių vertinimo būdai (P – teorinė galia, kW; Q – debitas, m³/s; H – vandens kritimo (slėgio) aukštis (m) arba paviršiaus nuolydis (m/m); v – vandens tėkmės greitis, m/s)

Fig. 1. Principal methods for the river hydrokinetic energy resource assessment (P – theoretical power, kW; Q – discharge, m³/s; H – hydraulic head or water surface slope (m/m); v – current velocity, m/s)

Hidrologinis HK energijos išteklių nustatymo metodas pagrįstas standartiniais hidrologinio tinklo upės matavimų (debitų, nuolydžių, greičių) duomenimis, yra paprastas ir patikimas, tačiau sudėtinga duomenis integruoti išilgai upės, t. y. įvertinti

tėkmės energiją skerspjuvio plotui. Atsižvelgiant į tai, vertinant 48 JAV upių HK energijos išteklius, taikyta ne kinetinės galios formulė pagal vandens greičius, o įprasta potencinės galios formulė (Assessment..., 2012), t. y. apskaičiuota upių vandens tėkmės teorinė galia, naudojant upių standartinių debitų ir vandens paviršiaus nuolydžių duomenų bazes. Techniškai panaudojami HK energijos ištekliai nustatyti teoriniams ištekliams įvedus redukcijos koeficientą. Rezultatai pateikiami interaktyviame upių HK energijos atlase (River..., 2013). Kanadoje pradėtas HK energijos vertinimo 1-asis etapas – analizuojami šalies upių hidrologiniai duomenys bei hidrologinių metodikų tinkamumas HK ištekliams nustatyti (Assessment..., 2010).

Taikant hidraulinį metodą naudojama HK galios išraiška, paremta vandens tėkmės greičiais. Tėkmės greičio kaita upės vagos ruožuose modeliuojama pagal debitų ir batimetrijos pradinius duomenis. JAV Aliaskos upės HK ištekliai modeliuoti vienmačiu (Previsic et al., 2008), dvimačiu ir trimačiu (Tonio et al 2010; Tonio, 2012), Švedijoje – dvimačiu ir trimačiu matematiniais modeliais (Grabbe et al., 2009; Lalander, 2013). Nustatant teorinius Nerio upės HK energijos išteklius buvo panaudotas vienmatis hidraulinis modelis (Punys ir kt., 2013).

Lietuvoje nėra tikslių duomenų apie upių vagų morfometrinius rodiklius, vagų šiurkštumą, vandens tėkmės greičių charakteristikas, kurios lemia upės tėkmės dinamiką. Aplinkos apsaugos agentūros iniciatyva parengti dalies upių vagų ir slėnių skaitmeniniai reljefo modeliai. Debitų, vandens lygių matavimai atliekami nuolat, tačiau duomenys nėra pakankami HK išteklių vertinimui išilgai upės. Debitai nustatomi standartiniais metodais, matuojant vandens greičius, tada nustatomos vandens greičių-debitų ar vagos skerspločių priklausomybės ir apskaičiuojama upės HK energija.

Tyrimo tikslas – taikant hidrologinį HK energijos išteklių nustatymo būdą, pagal standartinius VMS matavimus, įvertinti Nemuno upės vagos ir tėkmės pagrindines morfometrines ir hidraulines charakteristikas.

Tiksliui įgyvendinti iškelti uždaviniai:

- apžvelgti HK energijos teorinius pagrindus, tėkmės hidraulines ir morfometrines charakteristikas, būtinas jos vertinimui;
- surinkti hidrometrinius duomenis VMS;
- sudaryti tėkmės greičių ir skerspločių priklausomybes nuo debito bei vandens tėkmės greičių histogramas;
- palyginti tėkmės hidraulines ir morfometrines charakteristikas nustatytas hidrologiniu ir hidrauliniu būdais;
- apibendrinti teorines tėkmės energetines charakteristikas, įvertinti VMS duomenų tinkamumą HK energijos vertinimui.

Tyrimo objektas ir metodika

Tyrimo objektas – didžiausia Lietuvos upė Nemunas, kurio bendras ilgis 937 km, iš jų – 359 km Lietuvoje, dar 116 km upė teka siena su Baltarusija ir Rusijos Kaliningrado sritimi. Upės baseino plotas beveik 98 tūkst. km², iš jų –

46,6 tūkst. km² Lietuvoje. Tirtoji upės dalis Lietuvos teritorijoje. Nemuno vagos plotis įvairus: aukštupyje nuo Ščiaros iki Katros – 250 m, vidurupyje kai kuriose vietose susiaurėja iki 100 m, o žemupyje praplateja iki 400 m. Nemunas – lygumų upė, nes upės vandens kritimo aukštis per visą upės ilgį siekia 179 m, t. y. 19 cm/km. Lietuvos teritorijoje yra viena užtvanka ties Kaunu. Upės vandeningumas tolygiai didėja: ties Druskininkais – 212 m³/s, Nemajūnais – 266 m³/s, ties Kaunu – 298 m³/s, vėliau įsiliejus didžiausiam intakui Neriai dar labiau padidėja ir siekia ties Lampėdžiais – 447 m³/s, Smalininkais – 540 m³/s ir žiotyse – 703 m³/s. Didžiausias Nemuno intakas Lietuvoje – Neris (Q =178 m³/s), kiti ilgiausi ir didžiausi pagal baseinų plotą Nemuno intakai Lietuvoje yra Merkys, Nevėžis, Dubysa, Šešupė, Jūra ir Minija.

Tyrimuose naudoti Lietuvos hidrometeorologijos tarnybos (LHMT) vandens lygių, debitų, greičių ir tėkmės skerspločių duomenys VMS (1 lentelė.). Vandens greičiai išmatuoti hidrometriniu suktuku, o kontrolei ir palyginimui naudoti akustiniu Doplerio principo tėkmės matuokliu (angl. *Acoustic Doppler Current Profiler – ADCP*) gauti duomenys.

1 lentelė. Nemuno hidrologinių stočių duomenys

Table 1. The data of gauging stations of the Nemunas river

Vandens matavimo stotis	Atstumas nuo žiočių km	Baseino plotas km ²	Duomenys			
			Tėkmės greičių ir skerspločių priklausomybėms nuo debito ir vandens lygio sudaryti		Debitų trukmių kreivėms sudaryti	
			Matavimų laikotarpis	Imties skaičius	Matavimų laikotarpis	Imties skaičius
Druskininkai	450	37100	1947-1974	591	1986-2010	25 metai x 365 dienos
Nemajūnai	339	42800	1929-1974	638	1986-2010	25 metai x 365 dienos
Smalininkai	112	81200	1949-1974	604	1986-2010	25 metai x 365 dienos

Remiantis Pasaulinės meteorologijos organizacijos tyrimais, hidrologinių duomenų tikimybinę skirstinių analizei dažniausiai yra naudojami normalusis, logaritminis normalusis, gama, Veibulo, apibendrintųjų ekstreminių reikšmių, Gumbelio ir kt. (World..., 2009) skirstiniai. Jų analizei atlikti panaudota STATISTICA ir HYFRAN programinė įranga.

Sudarant $Q = f(H)$, $v = f(Q)$ ir $A = f(Q)$ priklausomybių kreives, naudota metodika pateikta (World..., 2010). Ji sudaryta atvirai vagai (nepadengtai ledu), o nenusistovėjusi tėkmė (histerezė), kintančios hidraulinės sąlygos (patvanka, augalijos sezoniskumas, ledo reiškiniai, šiurkštumo, vagos profilio ir ruožo geometrijos kaita) nenagrinėtos. Parinktos VMS pasižymi stabilium vandens lygiu ir debito ryšiu.

Debitų trukmių kreivių sudarymui naudoti paros debitų duomenys, o vandens greičiai apskaičiuoti naudojant jų priklausomybes nuo debito. Vidutinių metų

vandens greičių histogramos sudarytos pagal matavimo hidrometriniu suktuku duomenų ryšį su debitų duomenimis – naudojant daugiametę vidutinių paros debitų trukmių kreivę.

Hidraulinių ir geometrinių priklausomybių validavimui panaudoti rezultatai gauti programa HEC-RAS skaitmeniniu modeliavimu (Punys ir kt., 2013).

Vandens tėkmės skerspjūvio kinetinė galia (P , kW), apskaičiuota:

$$P = \frac{1}{2} Qv^2 = \frac{1}{2} Av^3, \quad (1)$$

čia: Q – debitas, m^3/s ; v – vandens tėkmės greitis, m/s ; A – upės vagos skerspjūvio plotas m^2 .

1 formulė naudojama kaip santykinis rodiklis – kinetinės galios tankis D (kW/m^2), tenkantis $1 m^2$ tekančio vandens tėkmės skerspločiui:

$$D = \left[\frac{P}{A} \right] = \frac{1}{2} v^3. \quad (2)$$

Kinetinei energijai nustatyti reikia žinoti tėkmės greitį, kurį lemia vandens debitas ir upės tėkmės geometrinės charakteristikos. Vandens greitis upės vagos skerspjūvyje priklauso nuo gylio. Inžineriniuose skaičiavimuose priimta, kad vidutinis greitis vertikalėje yra apie 0,6 jos gylio (Poška, Punys, 1996). Horizontalioji greičio variacija yra sunkiai nustatoma, o tėkmės greitis kinta laike. HK energijos išteklių vertinimui turėtų būti nustatomas apibendrintas vidutinis (pagal gylį ir plotį) metinis greitis. Žinant greičių pasiskirstymą vagos profilyje, apskaičiuojamas vidutinis galios tankio pasiskirstymas. Kadangi HK galia priklauso nuo greičio trečiuoju laipsniu (1 formulė), jis negali būti pakeistas vidutiniu greičiu, nes gaunama didelė paklaida, o vandens greičių nustatymo tikslumas labai reikšmingas rezultatui (Toniolo, 2012; Lanerolle et al, 2013).

Upės tėkmės geometrinių rodiklių įvertinimas nematuojamose vietovėse yra pagrindas vertinant HK energiją. Leopold ir Maddock (1953) nustatyta empirinė laipsninė funkcija, išreiškianti ryšį tarp 3 hidraulinių kintamųjų tėkmės greičio – v , gylio – d ir pločio – A ir vidutinių ar sklidinios vagos debitų Q (m^3/s) yra taikoma upeliams ir atviroms tėkmėms analizuoti:

$$v = kQ^m, d = cQ^f, w = aQ^b, \quad (3-5)$$

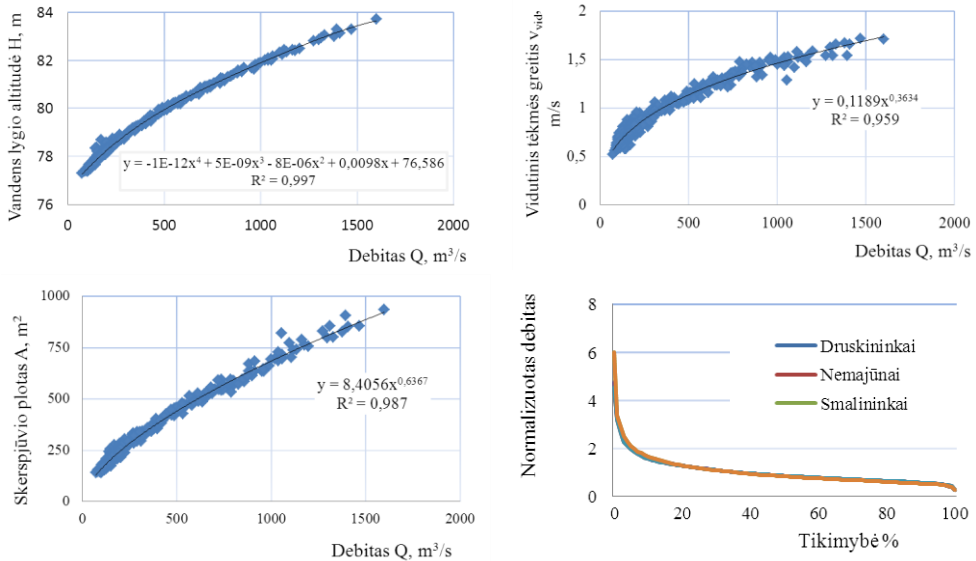
čia: konstantos $m+f+b=1$; k , c ir $a=1$.

Rezultatai

Vandens greičių, tėkmės skerspločių ir debitų ryšiai vandens matavimo stotyse

Remiantis Nemuno upės ties Druskininkų VMS hidrometriniais duomenimis atvirai vagai (be ledo), sudarytos vandens greičių, tėkmės skerspločių ir debitų ryšių priklausomybės (2 pav.). Analogiškos priklausomybės sudarytos Nemajūnų ir Smalininkų VMS. Ryšį geriausiai atspindi laipsninė ar antrojo laipsnio polinominė

funkcija, nustatytas ryšys yra glaudus ir patikimas. Analogiški rezultatai nustatyti ir analizuojant debitų kreives $Q = f(H)$, tačiau jie, kaip tarpiniai rezultatai, nepateikiami.



2 pav. Vandens lygių, greičių, skersplokščių ir debitų ryšių priklausomybės Nemuno upės ties Druskininkais atvirai vagai ir normalizuota debitų trukmių kreivė

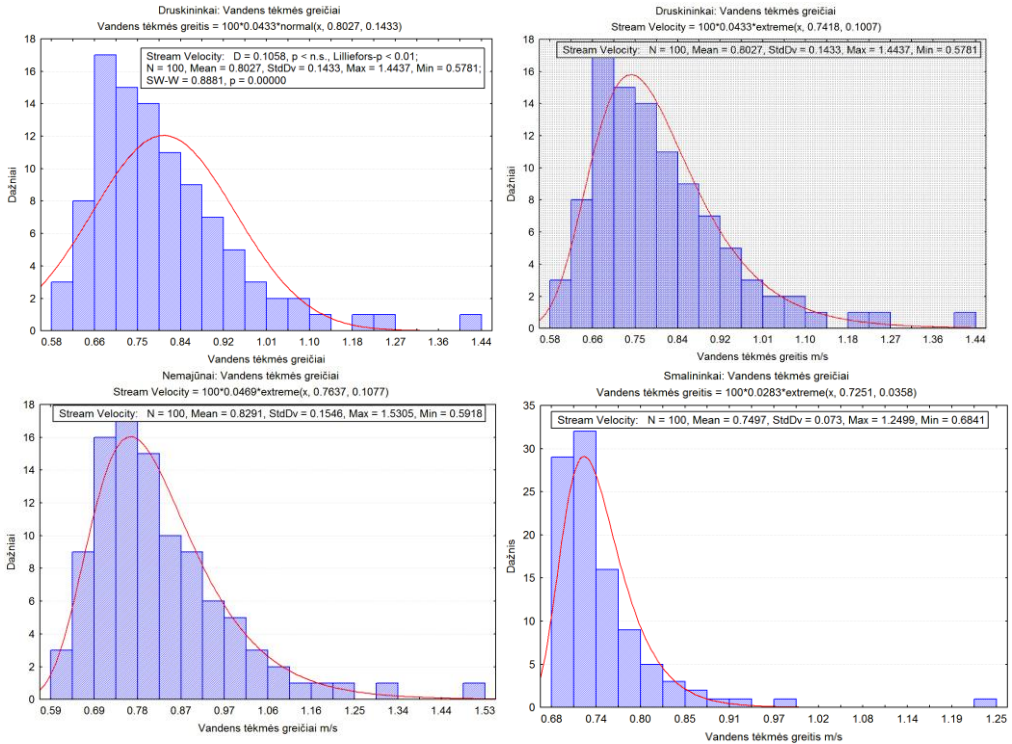
Fig. 2. Relations between stage, cross-sectional area and stream velocity, and discharge at Druskininkai, and the normalized flow duration curves for investigated gauging stations (right below), the Nemunas River

Sudaryti vandens greičių, tėkmės skersplokščių ir debitų priklausomybių grafikai apima duomenis, turinčius ilgą duomenų eilę, šių priklausomybių pratęsimui sudarytos vidutinių paros debitų kreivės, naudojant paskutiniųjų 25 m. duomenis (1986–2010) (2 pav.).

Debitų trukmių kreivių forma išilgai upės, skirtingose VMS, yra panaši, upės hidrologinis-hidraulinis režimas tolydus. Reikšmingesni skirtumai nustatyti ypač didelių debitų pasikartojimo zonoje, tačiau jie nėra aktualūs HK energijos gamybai.

Greičių histogramos

Mokslinėje literatūroje upių vandens greičių histogramų dėsningumai nėra plačiai tyrinėti, tai susiję su tėkmės greičio kitimu laike ir erdvėje. Pagal daugiameites vidutinių paros debitų kreives ir vandens greičių ir debitų ryšį sudarytos VMS vandens greičių histogramos (3 pav.), o apibendrinti statistiniai duomenys pateikti 2 lentelėje.



3 pav. Vidutinių tėkmės greičių upės vagoje histogramos vidutinio vandeningumo metais VMS. Raudonos kreivės – teorinės skirstinio kreivės.

Fig. 3. Mean daily velocity distribution in an average year at the cross-sections of the Nemunas River gauging stations. The red curves indicate the theoretical distribution functions

Histogramos išreiškia tėkmės greičių pasiskirstymą vidutinio vandeningumo metais, kurie nustatyti pagal 1986–2010 m. debitų matavimo duomenis ($n = 25$ m.). Tėkmės greičių pasiskirstymas per metus neatitinka normaliojo skirstinio (žr. 3 pav. Druskininkų VMS), o geriausiai greičių pasiskirstymą aprašo ekstreminių verčių (I tipas) ir logaritminius normalius skirstinys.

2 lentelė. Nemuno upės vandens greičių statistiniai duomenys

Table 2. Statistical data of flow velocity for the Nemunas River GS

Vandens matavimo stotis	Duomenys					Teorinis tankio funkcijos skirstinys
	Imtis n	Vidurkis v_{vid} , m/s	Standartinis nuokrypis	Maksimalus v_{maks} m/s	Minimalus v_{min} m/s	
Druskininkai	365	0,80	0,14	1,44	0,58	Ekstreminis, 1-as tipas
Nemajūnai	365	0,83	0,15	1,53	0,59	
Smalininkai	365	0,75	0,07	1,25	0,68	

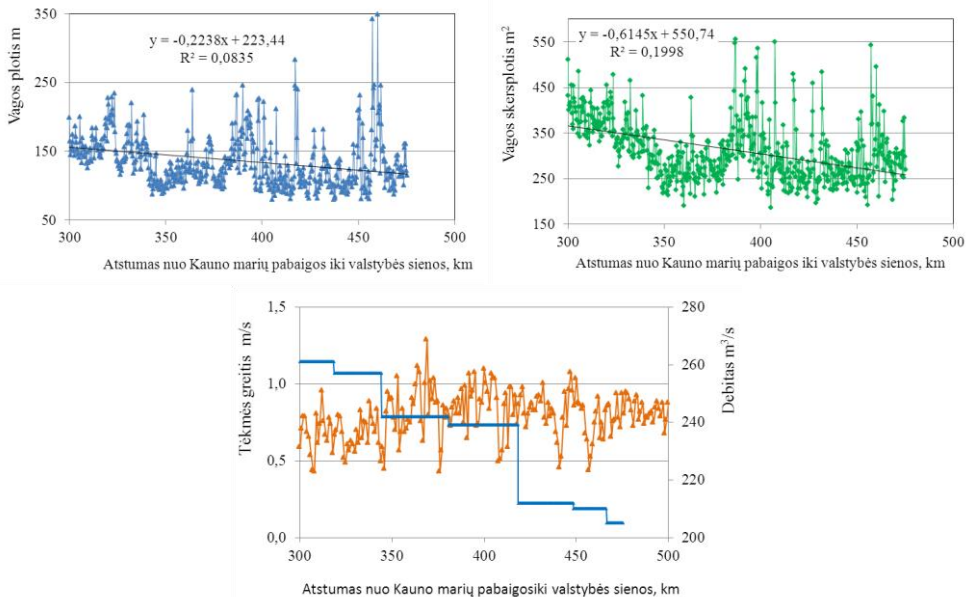
Lalander et al. (2013) naudodami 5 nereguliuotų Aliaskos upių greičių duomenis HK turbinoms įrengti dėl tėkmės greičių režimo nepastovumo negalėjo

parinkti tinkamo greičių skirstinio upių skersiniams pjūviams (debitų eilė $n = 9...60$ m.), o 18 reguliuotų Švedijos upių (žemiau veikiančių HE) didesnei daliai geriausiai tiko logaritminis normalus skirstinys (debitų duomenų eilė $n = 5...12$ m.).

VMS duomenų validavimas su HEC-RAS

Nemuno upės tėkmės hidraulinės ir geometrinės charakteristikos modeliuotos su vienmačiu modeliu HEC-RAS (Punys ir kt., 2013). Nemunas nuo žiočių iki Kauno marių buvo sudalintas į ruožus kas 300 m, kuriuose nustatytos pagrindinės hidraulinės (vidutinis greitis, Frudo skaičius, šturkštumas, tėkmės galia) ir geometrinės (vagos plotis, vidutinis gylis, skerspjūvio plotas) charakteristikos. Buvo patikrinta, kaip sumodeliuotos charakteristikos dera su nustatytais 3-jose vandens matavimo stotyse duomenimis. Charakteristikos palygintos esant metų vidutiniam, sklindinos vagos ir sausmečio debitui. Vandens lygiai tarpusavyje dera geriausiai, didesnė variacija nustatyta analizuojant vidutinius vandens greičius ir upės vagos skerspločius. Dėl esančių neapibrėžtumų pasiekti geresnį suderinamumą neįmanoma.

Pagal Nemuno tėkmės 3 skerspjūvių hidraulinių ir geometrinių rodiklių duomenis VMS (3–5 formulės) neįmanoma jas ekstrapoliuoti išilgai upės pakankamu tikslumu. Jei matavimų būtų pakankamai – rezultatas taip pat nebūtų geresnis, ką įrodo 4 pav. pateikti duomenys, gauti modeliuojant HEC-RAS modeliu.



4 pav. Nemuno vagos pločiai, skerspjūvių plotai, greičiai tekant vidutiniam metų debitui profiliuose kas 300 m (nuo valstybės sienos iki Kauno marių).

Fig. 4. Modeled water surface width, cross sectional area and mean velocity at mean annual flow (the Nemunas River, 300 m cross-section spacing)

4 pav. pavaizduotos tendencijos yra pastebimos, tačiau ryšio glaudumas yra labai silpnas ($r^2=0.08-0.20$). Vandens greičių duomenys yra labai išsibarstę ir nėra nustatytos aiškios tendencijos. Ryšiai būtų tampresni, analizuojant didesniais atstumais tarp išmatuotų profilių išilgai upės, tačiau gautų priklausomybių panaudojimas pagal formules (3–5) HK energijos išteklių vertinimui nepakankamas. Tai dar kartą įrodo, kad hidraulinis modeliavimas panaudojant vagos skaitmeninį reljefo modelį yra pagrindinis ir tiksliausias būdas HK energijos išteklių vertinimui bei efektyviausių vietovių hidroenergijai generuoti parinkimui, o hidrometriniai matavimai būtini tik šių duomenų validavimui.

HK išteklių vertinimas

Naudojant formules (1 ir 2) pagal vandens greičių histogramas apskaičiuoti vidutinė tėkmės metinė galia ir jos tankis VMS (3 lent.).

3 lentelė. Nemuno HK energijos pagrindiniai rodikliai VMS

Table 3. Hydrokinetic resources at gauging stations of the Nemunas River

Rodikliai	VMS		
	Druskininkai	Nemajūnai	Smalininkai
Vidutinis metų debitas $Q_0 \text{ m}^3/\text{s}$	212	257	530
Tėkmės skersplotis $A_{\text{vid}} \text{ m}^2$	251	296	780
Galios tankis $D \text{ kW/m}^2$	0,30	0,33	0,15
Galua $P \text{ kW}$	74	98	118

Galios tankis pagal mėnesius vandeningais (10 %), vidutiniais (50 %) ir sausais (95 %) metais paskaičiuotas pagal VMS kasdienius debitus naudojant greičių priklausomybę nuo debito ir 2 formulę. Metų vandeningumas nustatytas naudojant 50 m duomenų eilę (1960–2010). Didžiausias kinetinės galios tankis nustatytas pavasario potvynio mėnesiais, o mažiausias – vasaros. Vandeningais metais pavasarį kinetinės galios tankis D gali būti 1,4, o sausais – apie $0,5 \text{ kW/m}^2$. Žiemos sezonas nėra palankus HK energijos gamybai. Gautus rezultatus sunku palyginti su kitų upių rezultatais dėl ribotos informacijos. Pvz. Aliaskoje HK vidutinis metų galios tankis kinta nuo $0,3-0,4$ iki $1,9-6,5 \text{ kW/m}^2$ (Johnson et al., 2010; Previsic et al., 2008).

Išvados

1. Nemuno upės vagai sudarytos vandens greičių, tėkmės skerspločių ir debitų ryšių priklausomybės, kurių ryšį geriausiai atspindi laipsninė ar antrojo laipsnio polinominė funkcija, nustatytas ryšys yra glaudus ir patikimas.

2. Debitų trukmių kreivės forma išilgai upės skirtingose VMS yra panaši, upės hidrologinis-hidraulinis režimas tolydus, o reikšmingesni skirtumai nustatyti ypač didelių debitų pasikartojimo zonoje, tačiau jie nėra aktualūs HK energijos gamybai.

3. Ekstreminių verčių skirstinys gerai tinka empirinių duomenų išlyginimui, išskyrus ekstreminius vandens greičius.

4. Hidraulinis modeliavimas, panaudojant vagos skaitmeninį reljefo modelį, yra pagrindinis ir tiksliausias būdas HK energijos išteklių vertinimui bei efektyviausių vietovių hidroenergijai generuoti parinkimui, o hidrometriniai matavimai būtini tik šių duomenų valiovimui.

5. Didžiausias HK energijos galios tankis D nustatytas pavasario potvynio mėnesiais, o mažiausias – vasaros. Vandeningais metais pavasarį D gali būti iki 1,4, o sausais apie $0,5 \text{ kW/m}^2$. Žiemos sezonas nėra palankus HK energijos gamybai.

Literatūra

1. Assessment and Mapping of the Riverine Hydrokinetic Energy Resource in the Continental United States. Technical Report. Electric Power Research Institute, Alaska, USA. 2012.
2. Assessment of Canada's Hydrokinetic Power Potential. Phase I Report. Methodology and Data Review. Canadian Hydraulics Centre, National Research Council of Canada. 2010.
3. Grabbe M. Hydro-Kinetic Energy Conversion: Resource and Technology. Acta Universitatis Upsaliensis. *Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* 1025. Uppsala, 2013, 96 p.
4. Grabbe M., Yuen K., Goude A., Lalander E., Leijon M. Design of an experimental setup for hydro-kinetic energy conversion. *International Journal on Hydropower & Dams*, 2009, 15(5), p. 112–116.
5. Handbook of Hydrology. Ed. Maidment D.R. McGraw-Hill, Inc, 1993.
6. Jablonskis J. Lietuvos upių hidroenergijos balansas. *Energetika*, 2005, Nr. 3, p. 24–37.
7. Jablonskis J., Jurgelėnaitė A., Tomkevičienė A. Hidroenergetika aplinkos apsaugos kontekste. *Energetika*, 2007, Nr. 3, p. 48-56.
8. Johnson J.B., Pride D.J. River, Tidal, and Ocean Current Hydrokinetic Energy Technologies: Status and Future Opportunities in Alaska. Alaska Center for Energy and Power, Alaska, USA, 2010.
9. Khan M.J., Iqbal M.T., Quaicoe J.E. River Current Energy Conversion Systems: Progress, Prospects and Challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2008, 12, p. 2177–2193.
10. Leopold L.B., Maddock T. The Hydraulic Geometry of Stream Channels and Some Physiographic Implications. U.S. Geological Survey Professional Paper 252, 1953.
11. Lalander E., Grabbe M., Leijon M. On the Velocity Distribution for Hydrokinetic Energy Conversion from Tidal Currents and Rivers. *Journal of Renewable Sustainable Energy*, 2013, 5, 19 p.
12. Lalander E. Hydrokinetic Resource Assessment Measurements and Models. Acta Universitatis Upsaliensis. *Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology* 1038, Uppsala. 2013, 70 p.

13. Lanerolle L.W.J, Paternostro C.L, Dusek G. A Numerical Assessment of the Hydrokinetic Energy Availability in Cook Inlet, Alaska. *Proceedings of the 1st Marine Energy Technology Symposium METS13* April 10-11, Washington, D.C. 2013.
14. Poška, A.; Punys, P. Inžinerinė hidrologija. 1996.
15. Previsic, M.; Bedard, R.; Polagye, B. System Level Design, Performance, Cost and Economic Assessment – Alaska River In-Stream Power Plants. Electric Power Research Institute, Alaska, USA. 2008.
16. Punys, P.; Kvaraciejus, A.; Vyčienė, G.; Darbutas, A. Aplinkosaugos teisės aktų, draudžiančių užtvankų statybą, poveikis hidroenergetikos plėtrai. *Vandens ūkio inžinerija*, 2010, Nr. 37(57), p. 84-94.
17. Punys, P.; Martinaitis, E.; Vyčienė, G.; Vaišvila, A. Neries upės tėkmės hidrokinetinės galios charakteristikų vertinimas vienmačiu skaitmeniniu modeliu HEC RAS 4.1. *Vandens ūkio inžinerija*, 2013, 42(65), p. 61-71.
18. River Hydrokinetic Resource Atlas. Available at http://en.openei.org/wiki/River_Hydrokinetic_Resource_Atlas
19. Toniolo, H. Hydrokinetic Assessment of the Kvichak River near Igiugig, Alaska, Using a Two-Dimensional Hydrodynamic Model. *Energy and Power Engineering*, 2012, 4, p. 422-431.
20. Toniolo, H.; Duvoy, P.; Vanlesberg, S.; Johnson, J. Modeling and Field Measurements in Support of the Hydrokinetic Resource Assessment for the Tanana River at Nenana, Alaska. *Journal of Power and Energy*, 2010, Vol. 224, No. 8, p. 1127-1139.
21. Verdant Power Canada ULC., Technology Evaluation of Existing and Emerging Technologies – Water Current Turbines for River Applications, Tech. Rep. NRCan-06-01071, Natural Resources Canada; June 2006.
22. World Atlas & Industry Guide 2012. *International Journal on Hydropower & Dams (IJH&D)*, Aqua Media International Ltd, Wallington, UK.
23. World Meteorological Organization. *Guide to Hydrological Practices*. Vol. II. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. Geneva, WMO-No. 168, Sixth edition. 2009.
24. World Meteorological Organization. *Manual on Stream Gauging*. Volume II – Computation of Discharge. WMO-No. 1044. 2010.

Petras Punys, Inga Adamonytė, Algis Kvaraciejus, Saulius Žilinskas

HYDRAULIC-GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE RIVER NEMUNAS FOR THE ASSESSMENT OF HYDROKINETIC RESOURCES

Abstract

Stage, discharge, flow velocity, and flow cross-section area data of the Lithuanian Hydrometeorological Service gauging (hydrometric) stations (GS) was used for the assessment of hydrokinetic energy resources (on the basis of the Nemunas river case). Close correlation of water level, discharge, velocity, and cross-section relations was identified during the investigations whereas GS water flow velocity histograms were compiled according to multi annual daily discharge curves and mean cross-sectional velocities as well as discharge relationship. The histograms are based on theoretic probability distributions and data validation tests. The best compliance is that of extreme value distribution. Hydraulic and geometric characteristics of the river flow, defined by the hydrological method, were compared with the results obtained by the hydraulic model (HEC-RAS). The compliance determined was valid. Transposition of the relation among flow velocity, bed cross-section area, depth of the river and the discharge over the length of the river is not possible for the assessment of hydropower resources due to the poor correlation of the data. Hydraulic simulation, using the digital terrain model of the river bathymetry, is the main and the most precise method to assess the resources of hydrokinetic energy and select the most efficient location for the generation of hydropower whereas field measurements bear significance only for validation of the data.

Hydrokinetic energy, discharge data of hydrometric stations, morphometric, hydraulic and stream power characteristics.

Пятрас Пунис, Инга Адамоните, Альгис Кварациеюс, Саулюс Жилинскас

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕКИ НЯМУНАС ДЛЯ ОЦЕНКИ ГИДРОКИНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

Резюме

Для оценки ресурсов гидрокинетической энергии (на примере реки Нямунас) использованы данные гидрометрических станций Литовской гидрометеорологической службы: уровни воды, расходы, параметрические данные скоростей течения и площади живого сечения потока. На основе результатов проведенных исследований установлена тесная корреляционная связь между уровнем, расходом, скоростью и площадью живого сечения потока воды.

На основе кривых среднесуточного расхода и взаимосвязи скорости воды и дебита, полученных в результате многолетних наблюдений на станциях измерения воды, составлены гистограммы скоростей водного потока, обоснованные теоретическими распределениями вероятности и тестами надежности данных.

При сравнении гидравлических и геометрических характеристик, определенных гидрологическим методом, и результатов, полученных при использовании цифровой модели (*HEC-RAS*), установлено их соответствие.

Для оценки ресурсов гидрокинетической энергии экстраполяция связи между скоростью течения, площадью поперечного сечения русла, глубиной реки и расходом невозможна вдоль русла реки из-за слабости корреляции данных.

Цифровое гидравлическое моделирование рельефа русла реки является основным и наиболее точным способом оценки ресурсов гидрокинетической энергии и выбора наиболее эффективных мест для генерации гидроэнергии, а гидрометрические измерения необходимы только для валидации данных.

Гидрокинетическая энергия, данные расхода гидрометрических станций, морфометрические, гидравлические характеристики и характеристики мощности течения реки.