

MIKROHIDROELEKTRINIŲ PANAUDOJIMAS ELEKTROS GAMYBAI NUOTAKYNE LYGUMŲ SĄLYGOMIS

Karolis AGLINIŠKIS, Vytauto didžiojo universiteto Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas: karolis.agliniskis@vdu.lt

Santrauka

Dėl šalies topografinių sąlygų – grynai žemumos – vandens energijai gauti gali būti patraukli netradicinė paslėpta arba vamzdinė hidroenergija, daugiausia nuotekų laisvo gravitacinio srauto tinklai. Mikro- hidroelektrinei įrengti galima panaudoti įvairių tipų turbinas. Dauguma iš jų lygumų sąlygomis netinkamos paslėptai hidroenergetikai. Tinkamiausi turbinų tipai yra propelerinė turbina ir siurblys kaip turbina. Jas galima montuoti nuotekų tinkluose su minimaliomis išlaidoms.

Reikšminiai žodžiai: mikrohidroelektrinė, paslėpta hidroenergija, vamzdinė hidroenergija, siurblys kaip turbina.

Įvadas

Lietuva yra žemumos šalis – apie 90 % jos ploto yra 170 m žemiau jūros lygio, o kalvos ne aukštesnės kaip 290 m, todėl šalies mažosios hidroelektrinės, veikiančios tekėjimo režimu, dažniausiai yra žemo slėgio aukščio (iki 5 m) arba vidutinio aukščio (nuo 5 iki 15 m) (Kasiulis et al., 2020). Dėl šalies topografinių sąlygų (grynai žemumos) vandens energijai gauti gali būti patraukli netradicinė paslėpta arba vamzdinė hidroenergija (ang. *hidden or in-conduit*), daugiausia nuotekų tinklai su laisvu gravitaciniu srautu. Geriamojo vandens paskirstymo sistemos yra dirbtinai suslėgtos ir negali būti naudojamos energijai atgauti (išskyrus Vilniuje). Geriamojo vandens tinkluose galima nustatyti labai nedaug vietų su slėgio mažinimo vožtuvais ir jų veikimą galima iš esmės pakeisti įrengus apylanką (*bypass*) su mikrohidroturbina.

Vienas iš projektų, kuris užsiima šių technologijų vystymu, yra LIFE NEXSUS (Life nexus, 2021). Jis siūlo naujovę – atsižvelgti į miesto vandens tinklus kaip į atsinaujinančios energijos šaltinį. Projektas parodys mini- hidroelektrinių (MHE) sistemų potencialą atgauti nepanaudotą energiją iš slėgio (vandens aukštis) arba kinetinės energijos (vandens srauto) esamuose Europos vandens tinkluose. Projektas daugiausia dėmesio skirs siurbliui kaip turbinai (ST), kuris tampa technologiniu mikrohidraulinių projektų sprendimu (≤ 100 kW). Šiuo metu vykdamas projektą buvo atrinktos 4 potencialios vietos elektrinėms įrengti Ispanijoje (Punys ir kt., 2019). Lenkijoje buvo atrinkta 20 potencialių vietų elektrinių įrengimui. Lietuvoje šiuo metu nėra įrengta tokio tipo mikro- hidroelektrinių, tačiau 17 potencialių vietų jau buvo atrinkta. Šiame darbe apžvelgiame 5 iš jų.

Tyrimo tikslas – nustatyti mikrohidroelektrinių panaudojimo galimybes elektros gamybai nuotakyme lygumų sąlygomis.

Pagrindiniai tyrimo uždaviniai:

1. Apžvelgti ir palyginti skirtingas turbinų technologijas;
2. Nustatyti tinkamiausius turbinos tipus,
3. Apžvelgti komponavimo schemas, kurias galima panaudoti mikrohidroelektrinėms įrengti nuotakyme lygumų sąlygomis.

Tyrimų objektas ir metodai

Pirmas objektas yra Vilniaus miesto nuotekų valykla. Ji yra didžiausia tokio tipo valykla Lietuvoje. Joje buvo parinktos dvi vietos mikrohidroelektrinės statybai. Abi vietos yra išvalyto vandens išleidimo trasoje. Pirmą vietą prie aukščio mažinimo slenksčio, kur susidaro apie 2 metrų staigus aukščio pokytis. Antra vieta prie išleistuvo į Nerį, kur susidaro apie 3 metrų hidrostatinis slėgis. Abiejose vietose vandens debitas yra $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Antras objektas yra Kauno nuotekų paskirstymo stotys. Pirmą stotį yra Jonavos gatvėje, o antra – Raudondvario plente. Jose dvi skirtingos trasos sujungiamos į vieną, kad būtų padidintas nuotekų transportavimo efektyvumas ir sumažinti ekonominiai kaštai sistemos priežiūrai. Jonavos gatvėje susidaro 35 metrų peraukštėjimas, o Raudondvario plente – 27,4 metrų peraukštėjimas.

Trečias objektas yra Vilniaus vandentiekio slėgio redukcinio vožtuvo kamera, priklausanti Vingio parko vandenvietei. Dėl reljefo, perjungiant zonas, susidaro viršslėgis Vingio parko vandens tiekimo zonoje, todėl jungiančioje kameroje

įrengiamas slėgio regulatorius, kuris sumažina slėgį iš Kirtimų vandens tiekimo zonos iki Vingio parko vandenvietės palaikomo slėgio.

Tiriamąjį darbo metu buvo apžvelgta ir išanalizuota Lietuvos ir užsienio moksliniai šaltiniai. Atliekant tyrimus buvo naudojama medžiaga, surinkta LIFE NEXSUS projekto (Life nexsus, 2021). Parengtos komponavimo schemos atsižvelgiant į tarptautinę MHE statybos patirtį.

Tyrimų rezultatai ir jų aptarimas

Hydroenergijai išgauti naudojami turbinas galima skirstyti į impulsinio tipo ir reakcinio tipo (Loots et al., 2015). Dažniausiai impulsinės turbinos naudojamos sistemose, kuriose yra aukštas hidrodinaminis slėgis, o reakcinės turbinos tinka mažo slėgio sistemoms.

Energijai iš vandens tėkmės išgauti galima naudoti įvairaus tipo turbinas: sraigtines (Archimedo sraigtas), skersasrautes ir labai žemo slėgio turbinas. Archimedo sraigtas buvo viena iš pirmųjų hidraulinių mašinų (Yoosefdoost, Lubitz, 2021). Jos įrengimo kaina, palyginus su kitomis turbinomis, tolerancija vandens kokybei ir šiukšlėms daro jas patrauklias įrengti nuotekų tinkluose. Tačiau dėl jų didelio dydžio, vizualios ir garso taršos jų negalima įrengti urbanizuotose teritorijose. Skersasrautės turbinos nėra tinkamos įrengimui nuotakynoje, nes per jas pereinantis vanduo turi būti išleistas į atvą kanalą, o tai žymiai padidina įrengimo kainą ir padaro jas neekonomiškas (Sinagra et al., 2014). Labai žemo slėgio (angl. VLH) turbina skirta nuo 1,4 iki 3,2 m aukščio ir debitui nuo 10 iki 30 m³/s. (Sessarego et al., 2011). Šių turbinų panaudojimas negalimas, nes, nors aukščiau, kurie reikalingi jos veikimui Vilniaus nuotekų valykloje yra pasiekiami, tačiau debitas, reikalingas tos turbinos optimaliam veikimui, nepasiekiamas.

Pastaruoju metu rinkoje atsirado didesnis pasirinkimas mažų ašinio tipo propelerinių turbinų generatorių (Amjet turbine system, 2015). Šių turbinų pranašumas yra nedidelis dydis ir kompaktiškumas. Kadangi elektros generatorius yra įmontuotas pačioje turbinoje ir ji visa gali būti panardinta, tai sumažina įrengimo kaštus. Tai leidžia jas panaudoti vandens tiekimo vamzdynuose vietoje slėgio mažinimo sklendžių, mažose užtvankose, kanaluose su staigiu aukščių skirtumu ir kitur. Komerciškai prieinamos turbinos, kurios yra tinkamos įrengimui kanaluose, pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Rinkoje prieinamų turbinų, tinkamų žemo slėgio vamzdynuose įrengti, techninės specifikacijos

	Darbinis slėgio aukštis m	Debitas m ³ /s	Galia kW	Komentaras
Amjet ATS	1.5 – 12.8	0.2–26.0	3–2.500	Galimi skirtingi modeliai
StreamDiver	2.0–8.0	2.0–12.0	50–1.450	Galimi 7 kintamo arba fiksuoto greičio modeliai.
Turbiwatt	1.2–8.0	0.1–3.6	3–120	Galimi 3 modeliai
Flygt	2.5–20.0	0.7–10.0	40–850	Galimi 6 modeliai
HYDROMATRIX	2.0–25.0	5.0–13.0	200–2.200	

Atsižvelgiant į technines specifikacijas, Hydromatrix turbinos nepavyks pritaikyti vidutinio dydžio urbanizuotose teritorijose dėl nepakankamo debito (maksimalus debitas kai kuriose teritorijose tik 1,5 m³/s) (Andritz Hydro, 2014). Iš visų turbinų Turbiwatt yra tinkamiausia, nes jai reikalingas slėgio aukštis ir debitas yra mažiausi (Turbiwatt, 2021).

Turbina sudaro beveik pusę hidroenergetinio projekto kainos (ESHA, 2004). Pigesnės elektrinės prasideda nuo 1100 Eur/kW iki 2800 Eur/kW (Turbiwat, 2021). Dėl šios priežasties kilovato kaina žymiai išauga vietose, kuriose mažo slėgio aukštis ir debitas, sukuriant problemą MHE statybai lygumų sąlygomis. Norit sumažinti nebrangių tradicinių turbinų trūkumus, siurbliai kaip turbinos buvo pasirinktos kaip alternatyva.

Siurblio naudojimas kaip mikrohidroturbinos yra pigus sprendimas – komercinės mikro- hidroturbinos pakaitalas (Ismail et al., 2014). Buitiniai ir pramoniniai išcentriniai siurbliai apima platų srauto diapazoną ir aukštį ir yra lengvai prieinami bei gaminami masiškai daugelyje šalių. ST pranašumai, palyginti su komercinėmis turbinomis, yra paprastos konstrukcijos, lengvai prieinamos praktinės žinios, mažos eksploatacinės ir pradinės sąnaudos, todėl technologija tampa prieinamesnė. Buvo nustatyta, kad ST pagaminto kilovato kaina yra nuo 5 iki 15 kartų mažesnė negu tradicinių turbinų (Novara et al, 2019). Tačiau viena problema išlieka – mažesnio pajėgumo turbinos įrengimo kaina, tenkanti vienam kilovatui, didesnė negu didesnės turbinos. Pavyzdžiui, 3 kW turbinos įrengimo kaina svyruoja nuo 500 iki 1000 Eur/kW, o 20 kW – nuo 200 iki 500 Eur/kW.

Siurbliai kaip turbinos yra radialinės tėkmės tipo panašiausi į standartines Francis (radialinės tėkmės tipo) turbinas. Priešingai negu ašinio tipo propelerinės (arba Kaplano) turbinos, šios turbinos labiau greitai gali užsikimšti. Dėl šios priežasties norint jas įrengti nuotakyno tinkluose reikia prieš turbiną įrengti šiukšlių surinkimo grotas. Jos padėtų sulaukyti įvairias šiukšles, kurios gali užkimšti turbiną. MHE statybai naudojami trys pagrindiniai ST tipai (2 lentelė).

Pagal poreikius panaudoti galima tik vienpakopius išcentrinus siurblius, kadangi jų veikimo ribos atitinka esamą situaciją. Dvipusio įtekėjimo siurblys gali dirbti esant tokiam slėgio aukščiui, tačiau debitas mūsų pasirinktuose objektuose nepakankamas. Daugiapakopės turbinos gali dirbti esant mažesniems debitams, tačiau joms reikalingas didelis slėgio aukštis.

Propelerinės turbinos ir ST turi privalumų ir trūkumų, tačiau atsižvelgiant į tai galima pasirinkti tinkamą variantą (3 lentelė).

2 lentelė. Andritz siurbliai kaip turbinos

Tipas	Darbo rato tipas	Techninės specifikacijos	Komentariai
Vienpakopis išcentrinis siurblys	Atviras, pusiau atviras ir uždaras darbo ratas	<ul style="list-style-type: none"> • Debitas iki 0.8 m³/s • Slėgio aukštis iki 80 m • Galia iki 250 kW 	Plačiai prieinama modulinė sistema, efektyvumas iki 87 %, lengva priežiūra
Vienpakopis dvipusio įtekėjimo siurblys	Uždaras darbo ratas	<ul style="list-style-type: none"> • Debitas iki 6.0 m³/s • Slėgio aukštis iki 80 m • Galia iki 2,000 kW 	Linijinis turbinos korpusas, motoras montuojamas iš kairės arba dešinės, efektyvumas iki 86 %
Daugiapakopis aukšto slėgio siurblys	Kintamas pakopų skaičius	<ul style="list-style-type: none"> • Debitas iki 0.25 m³/s • Slėgio aukštis iki 300 m • Galia iki 250 kW 	Horizontalus ir vertikalus dizainas

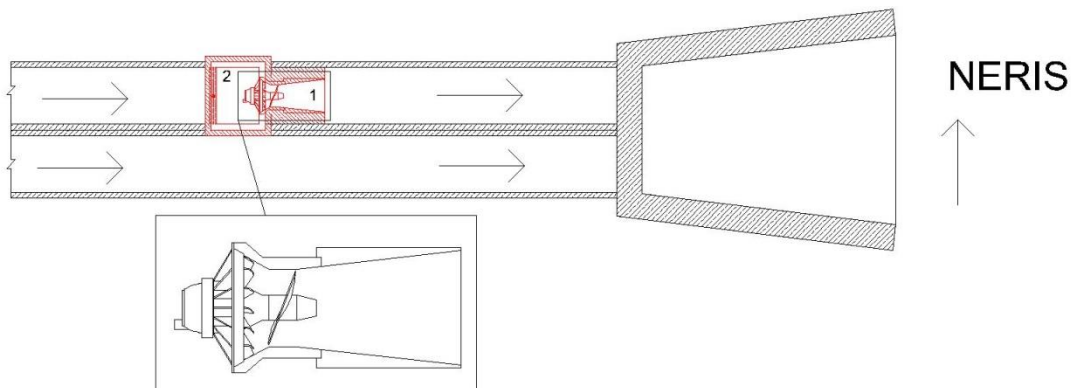
3 lentelė. Pagrindiniai skirtumai tarp turbinų ir ST

	Turbina	ST
Privalumai	Plati ir išsami dokumentacija	Ekonomiška
	Didžiausias efektyvumas	Plačiai prieinama
	Platus efektyvumo diapazonas	Standartizuota, paprastas dizainas, greitas pristatymas, maži priežiūros ir remonto kaštai
Trūkumai	Brangi	Ne taip gerai dokumentuota kaip turbinos, ribotas turbinos veikimo kreivių prieinamumas *
	Ribotas vietinių tiekėjų skaičius	Mažesnis efektyvumas *
	Reikalingas montavimo ir remonto specialistas	Nėra mentelių tėkmei reguliuoti

* Kai kurie stambūs turbinų ar siurblių gamintojai siūlo didelio efektyvumo (iki 87 %) ST ir jų veikimo diapazonus bei patikrintus hidraulinių charakteristikų duomenis iš prototipų bandymų (KSB, 2018, ANDRITZ, 2020).

Atsižvelgiant į šiuos ir kitus rodiklius, buvo pasirinkta naudoti propelerinę horizontaliai montuojamą turbiną Vilniaus nuotekų valykloje, nes toje vietoje slėgio aukštis nėra didelis, tačiau debitas pakankamas efektyviam turbinos darbui. Kaune nuotekų sistemoje ir Vilniuje esančioje slėgio mažinimo kameroje pasirinkta įrengti ST, kadangi tose vietose mažas debitas, tačiau slėgio aukštis yra pakankamas efektyviam turbinos darbui.

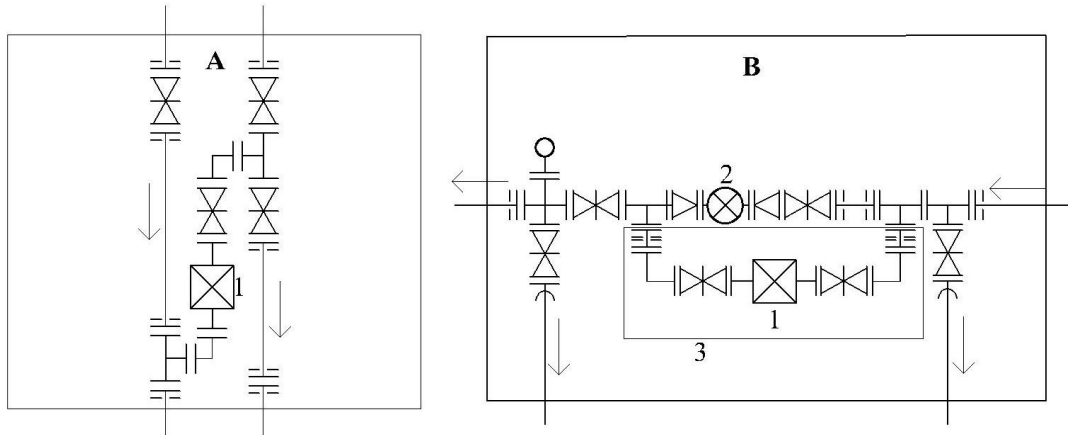
Vilniaus nuotekų valykloje įrengiama propelerinė turbina vandens išleistuve į Nerį (1 pav.). Toje vietoje vanduo išteka dviem vienodais betoniniais vamzdžiais. Turbina komponuojama viename iš vamzdžių. Prieš tai bus įrengti šliuzai vamzdžio pradžioje, kad būtų galima reguliuoti vandens tėkmę. Pati turbina bus įbetonuota vamzdyje horizontaliai. Vamzdžio diametras yra pakankamas ir jo didinti nereiks, užteks tik įrengti angą turbina sumontavimui ir priežiūrai.



1 pav. Turbinos komponavimo schema Vilniaus nuotekų valyklos vandens išleistuvo vamzdyje: 1) turbina; 2) apžvalgos šulinys
Sudaryta autoriaus

Kauno nuotekų paskirstymo stotyse planuojama įrengti siurblius kaip turbinas, kurių komponentai turi būti atsparūs korozijai. Įtekėjimo dalyje prieš turbiną reikės įrengti šiukšlių surinkimo grotas, kad nuotekos būtų apvalytos ir į turbiną nepatektų nepageidaujamos medžiagos. Abiejose kameroje yra dvi nuotekų trasos, bet šiuo metu naudojama tik viena trasa, o kita palikta atsargai. Kadangi abi trasos įrengtos naudojant standartinius komponentus, turbiną įrengti nesudėtinga. Šiuo atveju ST įrengiama tarp trasų, naudojant trišakius, alkūnes ir sklendes, nukreipiant nuotekas iš dešinėsios trasos į kairiąją (2 pav.).

Slėgio redukcinio vožtuvo kameroje yra sumontuoti standartiniai vandentiekio vamzdžiai. Kameroje įrengiama apylanka (angl. *bypass*) aplink slėgio mažinimo vožtuvą (2 pav). Šiuo atveju ST veikia kaip slėgio mažinimo vožtuvas. Apylankai įrengti panaudojami pora trišakių, alkūnių ir vožtuvų.



2 pav. a) nuotekų paskirstymo stotis Raudondvario plente; b) Slėgio mažinimo vožtuvo kamera Vilniuje; 1) siurblys kaip turbina (ST); 2) slėgio mažinimo vožtuvas; 3) Apylanka (angl. *bypass*)
Sudaryta autoriaus

Nors ir yra didelis hidroturbinų pasirinkimas elektrai gaminti, tačiau dauguma jų netinka įrengti nuotekų tinkluose. Tinkamiausios yra propelerinės turbinos ir ST. Propelerinės turbinos geriausiai tinka naudoti vietose su didesniais debitais, o ST – vamzdynuose.

Išvados

1. Lygumų sąlygomis mikrohidroelektrines galima statyti savitakiuose nuotekų tinkluose.
2. Archimedo sraigto negalima panaudoti dėl jo didelių gabaritų ir sukliamos garso ir vizualios taršos. LŽS turbinų panaudoti mūsų sąlygomis neįmanoma, nes jų reikalinga labai didelė vandens tėkmė.
3. Nustatyti tinkamiausi turbinos tipai yra ST ir propelerinė turbina. Tokių turbinų efektyvaus veikimo sritys tinkamos paslėptoms hidroelektrinėms įrengti.
4. Apžvelgta ir nustatyta: turbinas tinkamiausia įrengti pačiame vamzdyje, nukreipiant vandens tėkmę arba įrengiant apylanką. Šiuos darbus galima atlikti naudojant standartinius vandentiekio komponentus.

Literatūra

1. Amjet Turbine System. 2015. The Amjet Turbine Systems ATS-63 Low Head Hydro Turbine/Generator. *White Paper*. P. 8.
2. Andritz Hydro. 2014. HYDROMATRIX: Innovative Hydropower Solutions. Fact Sheet.
3. Andritz. 2020. Pumps. Energy efficient in forward and reverse mode pumps as turbines.
4. Esha. 2004. Guide on how to develop a small hydropower plant, 2nd ed., Brussels.
5. Ismail M.A., Othman A.K., Islam S., Zen H. 2014. End Suction Centrifugal Pump Operating in Turbine Mode for Microhydro Applications. P. 7.
6. Kasiulis, E.; Punys, P.; Kvaraciejus, A.; Dumbrasukas, A.; Jurevičius, L. 2020. Small Hydropower in the Baltic States—Current Status and Potential for Future Development. *Energies*, P.13.
7. KSB. 2018. PaT. Pump as Turbine. Water Efficiency Conference (WATEFCON 2018). 5-7 September 2018. University of Aveiro, Portugal University of Aveiro, Portugal.
8. Life Nexus. 2021. Prieiga per internetą: <https://www.lifenexus.eu/en/home/> (žiūrėta 2022-03-10)
9. Loots I., Van Dijk M., Barta B., Van Vuuren S.J., Bhagwan J.N. 2015. A review of low head hydropower technologies and applications in a South African context. *Elsevier*. P. 15.
10. Punys P., Radzevičius A., Fernández R.M.L., González V.I.S, Staller J., Jagielska J. 2019. Web-based atlas of micro-hydro inventory in urban water networks. P. 7.
11. Sessarego M., Wong J., Rival D.E. ir kiti. 2011. Investigation of Approach Conditions for Very Low Head (VLH) Water Turbine Performance. P. 5.
12. Sinagraa M., Sammartano V., Aricò C., Collurab A., Tucciarella T. 2014. Cross-Flow turbine design for variable operating conditions. Elsevier. P. 10.

13. Turbiwatt. 2021. Choosing the right turbine adapted to your potential. Prieiga per internetą: <https://www.turbiwatt.com/en/choisir-sa-turbine-2.html> (žiūrėta 2022-03-10)
14. Yoosefdoost A. ir Lubitz W. D. 2021. Design Guideline for Hydropower Plants Using One or Multiple Archimedes Screws. p. 20.

USE OF MICRO HYDROPOWER PLANTS IN WASTEWATER SYSTEMS IN LOWLAND CONDITION

Summary

Due to the topographic conditions of the country - pure lowlands, unconventional "hidden" or in-conduit hydropower, mainly sewage networks with free gravitational flow, can be attractive for obtaining hydropower. Various types of turbines can be used to install a micro hydroelectric plant. Most of them are not suitable for "hidden" hydropower in the conditions of the plains. The most suitable turbine types are the propeller turbine and the pump as a turbine. They can be installed in sewer networks with minimal cost.

Keywords: micro hydropower, hidden hydropower, in-conduit hydropower, pump as turbine.