

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Enerģētikas institūts

Ansis KALNAČS

Doktora studiju programmas „Enerģētika un elektrotehnika” doktorants

**STRAUMJU HIDROKINĒTISKO IEKĀRTU
ENERĢĒTISKĀ POTENCIĀLA NOVĒRTĒŠANA
UN EFEKTIVITĀTES UZLABOŠANA**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
asoc. profesore *Dr. sc. ing.*
A. MUTULE

RTU Izdevniecība
Rīga 2017

Kalnačs A. Straumju hidrokinētisko iekārtu enerģētiskā potenciāla novērtēšana un efektivitātes uzlabošana. Promocijas darba kopsavilkums. – R.: RTU Izdevniecība, 2017. – 28 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU promocijas padomes „RTU P-05” (enerģētika) 2017. gada 4. jūlija lēmumu Nr. 35/17

ISBN 978-9934-10-981-2

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2017. gada 11. oktobrī plkst. 13.00 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 306. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesore *Dr. sc. ing.* Inga Zicmane
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr. sc. ing. Aleksandrs Ļvovs
Režīmu un plānošanas dienesta projektu vadītājs, AS „Augstsprieguma tīkls”

Dr. sc. ing. Argo Rosin
Dekāna vietnieks zinātniskajā darbā, vadošais pētnieks,
Tallinas Tehnoloģiskā universitātes Enerģētikas fakultāte

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Ansis Kalnačs

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, tajā ir ievads, septiņas nodaļas, secinājumi un nobeigums, literatūras saraksts, divi pielikumi, 31 attēls, kopā 169 lappuses. Literatūras sarakstā ir 96 nosaukumi.

SATURS

IEVADS.....	5
1. LITERATŪRAS ANALĪZE.....	10
1.1. Upju jeb straumes hidrokinētisko elektrostaciju tehnoloģijas	10
1.2. Tehnoloģiju salīdzinājums	11
1.3. Upes HKI enerģētiskā potenciāla noteikšanas metožu specifika un iesaistītie mainīgie.....	12
2. METODIKA UPES POSMA ENERĢIJAS RAŽOŠANAS AR HKI POTENCIĀLA NOVĒRTĒŠANAI.....	14
3. METODIKU PIELIETOJUMA PIEMĒRS.....	17
4. VADOTŅU IETEKME UZ HKI IZMANTOŠANU	18
4.1. Pamatojums vadotņu lietošanai un to darbības principi.....	18
4.2. Metodikas papildinājumi HKI vadotņu ietekmes novērtēšanai	19
4.3. Secinājumi par vadotnēm.....	20
5. DAUGAVAS IZPĒTES REZULTĀTI OTRAJĀ POSMĀ	20
6. DARBI JAUNU HKI IZSTRĀDĒ UN UZLABOŠANĀ.....	22
7. IZSTRĀDĀTĀS METODIKAS PIELIETOJUMI EKONOMIKĀ.....	23
SECINĀJUMI UN NOBEIGUMS	25
LITERATŪRA	26

IEVADS

Tēmas aktualitāte

Straujā industriālā attīstība pasaulē pēdējos gadsimtos ir notikusi, pamatā izmantojot fosilos enerģijas resursus, tādus kā ogles un nafta. Kā ļoti nelabvēlīgs blakusefekts šo resursu izmantošanā ir piesārņojums un siltumnīcas efekts, ko rada noteiktas gāzes, kas ir šī piesārņojuma daļa. Rezultātā papildus nelabvēlīgajai ietekmei, ko piesārņojums atstāj uz vidi un veselību, rodas izteikti nelabvēlīgā ilgtermiņa ietekme uz visas pasaules klimatu. Klimats kļūst siltāks, un tā rezultātā notiek daudz vairāk dabas katastrofu un mums daudz biežāk jāsasaskaras ar ekstremāliem laika apstākļiem – karstumu, aukstumu, sausumu, plūdiem, vētrām. Būtiskākie un visvairāk izmantotie fosilie kurināmie, tādi kā ogles un nafta, nav atjaunojami, un to krājumi ilgtermiņā izbeigsies.

Ņemot vērā arvien pieaugošās enerģijas vajadzības un minētos izaicinājumus, ko radījusi šo vajadzību nodrošināšana ar fosilajiem kurināmajiem, pasaulē arvien lielāka vērība tiek pievērsta atjaunojamajiem energoresursiem, jo īpaši tādiem, kas nerada būtiskas emisijas, līdz ar to arī piesārņojumu un siltumnīcas efektu radošās gāzes.

Jau 2009. gadā noteiktā Eiropas Savienības enerģijas stratēģija līdz 2020. gadam un uz to balstītā ES atjaunojamās enerģijas direktīva cita starpā nosaka, ka laikā no 2010. līdz 2020. gadam:

- siltumnīcas efektu radošās gāzes jāsamazina vismaz par 20 %;
- atjaunojamo enerģijas resursu daļa vispārējā ES enerģijas kopumā jāpalielina vismaz līdz 20 % no kopējā enerģijas patēriņa.

Ņemot vērā klimata straujo pasliktināšanos pēdējos gados, pasaules valstis 2015. gadā ir vienojušās par šādiem saistošiem papildu mērķiem, kas attiecas uz ES:

- līdz 2030. gadam vismaz par 40 %, salīdzinot ar 1990. gadu, samazināt siltumnīcas efektu radošo gāzu emisijas;
- līdz 2030. gadam atjaunojamo enerģijas resursu daļa vispārējā ES enerģijas kopumā jāpalielina vismaz līdz 27 %.

Visefektīvākais pasākums, kas ir veicams, lai minētos mērķus sasniegtu, ir tādu atjaunojamo enerģijas resursu attīstīšana, kas nerada būtiskas emisijas un līdz ar to arī piesārņojumu un siltumnīcas efektu radošās gāzes.

ES atjaunojamās enerģijas direktīvā katrai ES valstij, balstoties uz tās specifiku un iespējām atjaunojamo enerģijas resursu izmantošanā, ir noteikti individuālie mērķi. Latvijas energoapgādei, it īpaši elektroapgādei, viens no būtiskākajiem potenciāliem ir labi pieejamajos hidroresursos, kas ir gan atjaunojami, gan arī nerada būtiskas emisijas. Līdz ar to Latvijas enerģijas apgādē atjaunojamo enerģijas resursu īpatsvars tradicionāli ir bijis nozīmīgs, un 2008. gadā tas jau bija 29,9 % no kopējā enerģijas gala patēriņa. Tāpēc Latvijai ir uzdots līdz 2020. gadam sasniegt pat 40 % atjaunojamo enerģijas resursu īpatsvaru kopējā enerģijas izlietojumā.

Tas nozīmē, ka Latvijā vispieejamākie atjaunojamo enerģijas resursu, kas nerada būtiskas emisijas – tātad hidroresursu, izmantošanas attīstībai jāvelta īpaša uzmanība.

Daugavas kaskādes devums valsts ekonomikai ir acīmredzams. Taču pat Daugavas potenciāls pašlaik izmantots tikai daļēji. Jauna aizprosta būve ir tikai lietderības izpētes stāvoklī, tāpēc parādās jaunas iespējas elektroenerģijas ieguvei, izmantojot strauji progresējošās

hidrokinētiskās tehnoloģijas. Ūdens (straumju) kinētisko enerģiju kā atjaunojamu, videi draudzīgu, stabilu un ilgtspējīgu energoresursu varētu iegūt arī citās upēs un pat strautos, kuru Latvijā tiešām ir daudz. Jāuzsver šādu enerģijas avotu lokālais, reģionālais raksturs un tās priekšrocības, ko bieži vien dod decentralizēta elektroapgāde sadales elektrotīklos.

Latvija importē ap 30 % no tai nepieciešamās elektroenerģijas, bet tās ūdens (straumju) kinētiskās enerģijas izmantošanas iespējas pagaidām tiek pilnīgi ignorētas. Saistībā ar hidrokinētisko tehnoloģiju attīstību pēdējā laikā šīs iespējas būtiski pieaugušas, tāpēc būtu nepieciešams tās novērtēt un atbilstoši attīstīt, lai realitātē pārbaudītu šādu tehnoloģiju iespējas.

Darba mērķis un uzdevumi

Promocijas darba mērķis ir, izpētot esošo situāciju upju hidrokinētisko iekārtu (HKI) izmantošanā, apzināt un attīstīt Latvijas upju enerģētiskā potenciāla noteikšanu un atrast iespējas HKI efektivitātes paaugstināšanai specifiskajos Latvijas apstākļos.

Lai sasniegtu mērķi, tika izvirzīti šādi uzdevumi:

- veikt literatūras analīzi par upju hidrokinētiskajām tehnoloģijām un to izmantošanas specifiku pasaulē un Latvijā;
- izstrādāt upju HKI enerģētiskā potenciāla novērtēšanas metodiku;
- veikt izstrādātās metodikas validāciju reālos apstākļos;
- izstrādāt un novērtēt HKI un vadotņu elementu prototipu konstrukcijas;
- izdarīt secinājumus un izteikt priekšlikumus par turpmākās upju HKI attīstības virzieniem un iespējām Latvijā.

Darbā izvirzīta hipotēze: energoresursu apjoma apzināšana katram no iespējamajiem atjaunojamās enerģijas veidiem ir svarīgs uzdevums tuvākajā laika periodā gan Latvijā, gan visā pasaulē. Upju straumes enerģētiskais potenciāls Latvijā nav novērtēts, un nav arī metodikas, kas ļautu to izdarīt. Šāda metodika kalpotu par instrumentu minētā enerģijas veida izvērtēšanai un parādītu tā izmantošanas iespējas, priekšrocības un trūkumus.

Pētījumu metodes un līdzekļi

Lai apzinātu un izmantotu līdzšinējos sasniegumus, tika veikta zinātniskās literatūras analīze par upju hidrokinētiskajām tehnoloģijām un to izmantošanas specifiku, kā arī to novērtēšanas metodēm.

Darba izpildei nepieciešamo datu iegūšanai tika veikti eksperimenti laboratorijā un dabā, veicot mērījumus ar dažādiem mērlīdzekļiem. Tajā skaitā – vienkāršiem (mērlentes, svāri, teodolīts, dinamometrs, tilpuma mēriekārtas, piknometri), komplicētākiem (graduētas un kalibrētas Pito caurules, straumes ātruma mērīšanas iekārtas ar dažādiem darbības principiem, jaudas noteikšanas iekārta), kā arī ar kompleksu – uz akustiskā Doplera efektu balstītu mērinstrumentu straumes ātrumu mērīšanai dažādos dziļumos un satelītu GPS pozicionēšanas sistēmu.

Tika veikta iegūto datu apstrāde, analīze un interpretācija, ieskaitot datu validāciju. Šim nolūkam tika izmantota uz Doplera efektu balstītā mērinstrumenta iekšējā programmatūra un tā komplektācijā esošā programmatūra lietošanai uz personālā datora, kā arī *Microsoft Excel* programmatūra.

Modelēšana, datu apstrāde, programmēšana un matemātiskie aprēķini HKI izvietojuma un ieņēmumu modelēšanas rīka izveidei tika veikta, lietojot programmatūru *MatLab*.

Promocijas darba zinātniskā novitāte un praktiskais lietojums

Darba zinātnisko novitāti raksturo tā gaitā iegūtā jaunā informācija un radītās jaunās zināšanas, tajā skaitā:

- apkopota un analizēta, ņemot vērā Latvijas specifiku, līdzšinējā pasaules pieredze straumes hidrokinētisko iekārtu izstrādē, izmantošanā un to potenciāla novērtēšanā;
- izstrādātas vietējiem apstākļiem pielāgotas metodikas straumes hidrokinētisko iekārtu enerģētiskā potenciāla novērtēšanai, hidrokinētisko iekārtu vadotņu enerģētiskā potenciāla novērtēšanai, kā arī upju dziļuma un straumes ātruma mērījumu un upju šķērsriezuma laukuma datu validācijai;
- iegūti jauni dati par straumes hidrokinētisko iekārtu un to vadotņu izmantošanas iespējām un enerģētisko potenciālu Daugavas lejtecē;
- izstrādāti jauni straumes hidrokinētisko iekārtu elementi, modeļi un prototipi;
- par veiktajiem izgudrojumiem sagatavoti un LR patentu valdē iesniegti 11 patentu pieteikumi. Par diviem no tiem ir saņemti patenti, par vienu saņemts lēmums patentu reģistrēt; pārējie pieteikumi promocijas darba pabeigšanas brīdī atradās dažādās izskatīšanas stadijās.

Darba gaitā iegūtā informācija un zināšanas veicina enerģētikas nozares attīstību, palielinot un veicinot pieejamo atjaunojamo energoresursu daudzveidību.

Darba rezultātu praktiskais lietojums ir šāds:

- straumes hidrokinētisko iekārtu un to vadotņu enerģētiskā potenciāla novērtēšanai gan Latvijas, gan arī citu valstu upēs, izmantojot izstrādātās metodikas;
- gan individuālu hidrokinētisko iekārtu, gan elektrostaciju, kas sastāv no vairākām hidrokinētiskajām iekārtām, konkrētu optimālu vietu izvēlē izpētītajos posmos Daugavas lejtecē;
- plānojot un projektējot hidrokinētisko elektrostaciju izveidi izpētītajos Daugavas lejteces posmos;
- konkrētajam risinājumam piemērotāko hidrokinētisko tehnoloģiju un vadotņu izvēlē, izmantojot izstrādātās metodikas un kritērijus;
- lai validētu tādus upēs iegūto mērījumu un uz tiem balstītos datus kā straumes ātrums, upes šķērsriezuma laukums, dziļums u. tml., izmantojot darbā izstrādāto metodiku;
- jaunu, efektīvāku straumes hidrokinētisko iekārtu radīšanai, izmantojot darbā iegūtās zināšanas un izstrādātos modeļus;
- jaunu efektīvāku straumes hidrokinētisko iekārtu vadotņu radīšanai, izmantojot darbā iegūtās zināšanas un izstrādātos modeļus;
- darba rezultāti ir izmantoti vairākos izgudrojumos un šim nolūkam var tikt izmantoti arī turpmāk.

Promocijas darba aprobācija

Promocijas darba rezultāti tika prezentēti un apspriesti zinātniskajās konferencēs.

- Methodology for the evaluation of the energy potential of a river for siting hydrokinetic turbines. 8th INTERNATIONAL CONFERENCE “Materials, Environment, Technology” (MET-2013), Latvija, Rīga, 2013. gada 19.–20. jūnijs.
- Hydro Energy Potential Estimation for Hydrokinetic Power Plants. 15th International Scientific Conference “Electric Power Engineering” (EPE-2014), Čehija, Brno, 2014. gada 12.–14. maijs.
- Ways to increase the efficiency of hydrokinetic devices and their evaluation. 11th International Conference of Young Scientists on Energy Issues (CYSENI-2014), Lietuva, Kauņa 2014. gada 29.–30. maijs.
- Specifics of Methods for Estimation of the Hydrokinetic Potential of Rivers. The 8th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering ELEKTROENERGETIKA 2015., Slovākija, Stara Lesna, 2015. gada 16.–18. septembris.

Publikācijas

- A. Kalnačs, J. Kalnačs, A. Mutule, U. Pērsis; Potential of the lower Daugava for siting hydrokinetic turbines; Latvian journal of physics and technical sciences Vol. 50, 2013; pp. 3–14; SCOPUS.
- A. Kalnačs, J. Kalnačs, A. Mutule; Methodology for the evaluation of the energy potential of a river for siting hydrokinetic turbines; Proceedings of the 8th international conference MET-2013 “Materials, Environment, Technology”.
- A. Kalnacs, J. Kalnacs, A. Mutule, U. Pērsis; Methods for estimation of the riverflow potential for hydrokinetic power generation; Latvian journal of physics and technical sciences Vol. 51, 2014, p. 3 – 10, ISSN 0868 – 8257; SCOPUS.
- A. Mutule, A. Kalnacs. Hydro Energy Potential Estimation for Hydrokinetic Power Plants // Proceedings of the conference Electric Power Engineering 2014 (EPE-2014), 2014, p. 297. p. 300, ISBN:978-1-4799-3806-3, IEEE Catalog Number: CFP1473X – USB.
- A. Kalnacs, J. Kalnacs, A. Mutule. Ways to increase the efficiency of hydrokinetic devices and their evaluation // Proceedings of the 11th International Conference of Young Scientists on Energy Issues (CYSENI-2014), 2014, ISSN: 1822-7554.
- A. Kalnacs, J. Kalnacs, A. Mutule, V. Entins, “Effects of using channelling devices to increase efficiency of hydrokinetic devices”, Latvian Journal of Physics and Technical Sciences., 2015/2, Vol. 52, p. 3–12.; SCOPUS.
- A. Kalnacs, A. Mutule. Specifics of Methods for Estimation of the Hydrokinetic Potential of Rivers// Proceedings of ELEKTROENERGETIKA 2015; Konfernce notika 2015. gada septembrī Slovākijā un tās materiāli ir iekļauti SCOPUS datubāzē.
- J. Beriņš, J. Beriņš, J. Kalnačs, A. Kalnačs, “Wave Energy Potential in the Latvian EEA”, Latvian Journal of Physics and Technical Sciences., 2016/3, 53, p. 22–33; SCOPUS.

Promocijas darba praktiskās realizācijas

Promocijas darba rezultāti ir iekļauti šādos SIA „Vides, bioenerģētikas un biotehnoloģijas kompetences centrs” projektos (ERAF finansējums LIAA Līguma Nr. L-KC-11-0005 ietvaros):

- „Daugavas lejteces straumju izpēte jaunas HES tehnoloģijas attīstībai”;
- „Hidrokinētisko elektroenerģijas ražošanas iekārtu uzstādīšanas apstākļu un lēno ūdens straumju izmantošanas iespēju palielināšanas izpēte, turbīnas tipa un parametru aprēķinu modeļa izstrāde pie maziem un mainīgiem ūdens plūsmas raksturlielumiem”;
- „Hidrokinētisko spēkstaciju ražošanas jaudu palielināšanas iespēju izpēte mazu ūdens plūsmas ātrumu gadījumos”;
- „Hidrokinētisko iekārtu izmantošanas iespēju izpētes metodikas izstrāde un efektivitātes izpēte”.

Promocijas darba rezultāti ir izmantoti šādos patentos un to pieteikumos:

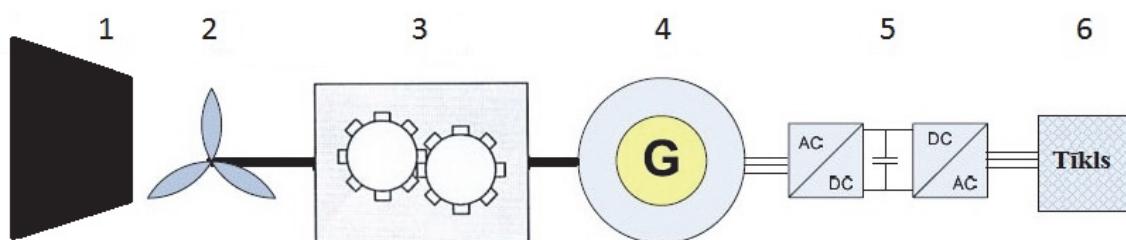
- V. Entins, R. Vaitkus, A. Kalnačs, patents LV 14830 B, “Ierīce jūras viļņu vai upes straumes enerģijas pārveidošanai”;
- V. Entins, J. Kalnačs, A. Kalnačs, patents LV 14957 B, 20.04.2015., “Upes plūsmas enerģijas pārveidotāja iekārta elektriskajā enerģijā”;
- V. Entins, J. Kalnačs, A. Kalnačs; patenta pieteikums P-14-89; 12.11.2014., “Brīvās plūsmas Šneka ģenerators”;
- V. Entins, J. Kalnačs, A. Kalnačs; patenta pieteikums P-15-02; 07.01.2015., “Upes plūsmas enerģijas pārveidotāja iekārta elektriskajā enerģijā”;
- V. Entins, J. Kalnačs, A. Kalnačs, R. Pihocki, V. Anaņičs, E. Bychkov; patenta pieteikums P-15-51; 08.06.2015., “Paņēmiens un ierīce hidrodinamiskai enerģijas pārveidošanai”;
- V. Entins, J. Kalnačs, A. Kalnačs, R. Pihocki, V. Anaņičs, E. Bychkov; patenta pieteikums P-15-127; 12.11.2015., “Ekonomiskā hidromasāžas duša”;
- V. Entins, V. Anaņičs, R. Pihocki, E. Bychkov, J. Kalnačs, A. Kalnačs; patenta pieteikums P-16-02; 25.01.2016., “Ierīce hidrodinamiskai enerģijas pārveidošanai”;
- V. Entins, V. Anaņičs, R. Pihocki, E. Bychkov, J. Kalnačs, A. Kalnačs; patenta pieteikums P-16-03; 28.01.2016., “Entina-Bičkova efekta straumes plūsmas nomierinātājs-paātrinātājs”;
- V. Entins, J. Kalnačs, A. Kalnačs, R. Pihocki, V. Anaņičs, E. Bychkov; patenta pieteikums P-16-20; 18.03.2016., “Hidroģeneratora sprausla”;
- V. Entins, E. Bychkov, A. Kalnačs, J. Kalnačs, A. Novikovs, A. Novikova; patenta pieteikums P-16-60; 05.08.2016., “Hidroelektroģeneratora šķidrums plūsmas paātrināšanas paņēmiens un ierīce”;
- V. Entins, E. Bychkov, J. Kalnačs, A. Kalnačs; patenta pieteikums P-17-15; 24.03.2017., “Plūsmas ātruma palielināšanas iekārta”.

1. LITERATŪRAS ANALĪZE

1.1. Upju jeb straumes hidrokinētisko elektrostaciju tehnoloģijas

Literatūrā ir atrodami apraksti daudzām dažādās attīstības stadijās esošām tehnoloģijām, kas var tikt izmantotas HKI izveidei, lai straumes kinētisko enerģiju pārveidotu elektriskajā enerģijā [1–6]. Šīs dažādās tehnoloģijas būtībā ir dažādi HKI aktīvo elementu un ģenerators piedziņas risinājumi.

Shematiska upju jeb straumes HKI vispārināta uzbūve redzama 1. attēlā [7].



1. attēls. HKI vispārināta uzbūves shēma.

1. attēlā ar skaitļiem atzīmētas šādas HKI sastāvdaļas:

1 – vadotne(s);

2 – aktīvais elements (vai aktīvie elementi);

3 – ātruma saskaņotājs (ātrumkārbā) un ģenerators piedziņas risinājums;

4 – ģenerators;

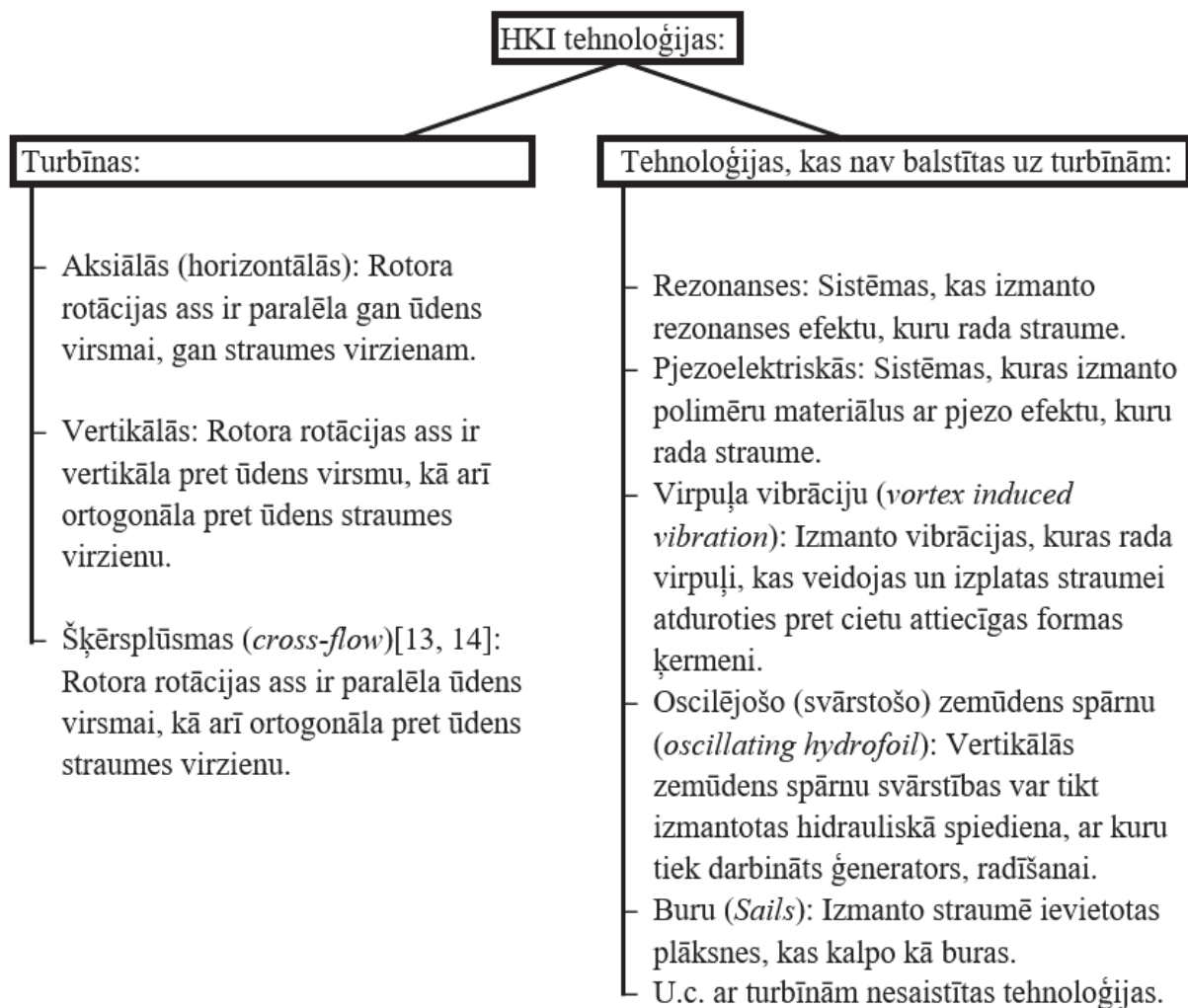
5 – pieslēguma un aizsardzības shēma;

6 – elektrotīkls vai individuālā pieslēguma iekārtas (šī nav HKI sastāvdaļa, bet bez tās HKI zaudē jēgu).

Galvenā sastāvdaļa, kuras esamība nosaka to, ka iekārta ir tieši hidrokinētiskā iekārta (HKI), ir aktīvie elementi. Visbiežāk tā ir turbīna vai dažādu veidu spārni, kas ūdens straumes iedarbībā kustas un līdz ar to pārvērš straumes kinētisko enerģiju kustībā. Aktīvie elementi (1. attēlā atzīmēti ar 2) ir vienīgā obligātā sastāvdaļa hidrokinētiskajai iekārtai. Tikai no šī elementa sastāvoša hidrokinētiskā iekārta gan neražos elektrību, bet, piemēram, var kalpot par mehānisku piedziņu sūknim, laistīšanas iekārtai un citur. HKI minimālais sastāvdaļu komplekts būtu 1. attēlā ar skaitļiem 2, 3 un 4 atzīmētās sastāvdaļas.

Konkrētais HKI izmērs un izskats pilnībā atkarīgs no konstrukcijas.

Visas HKI tehnoloģijas [8–12] nosacīti var sagrupēt astoņās tehnoloģiju apakšgrupās, kas savukārt var tikt apvienotas divās grupās, rezultātā iegūstot HKI tehnoloģiju sadalījumu (koku), kas ir parādīts 2. attēlā.



2. attēls. HKI tehnoloģijas un to sadalījums (koks).

Promocijas darbā gan HKI sastāvdaļas, gan arī tehnoloģijas, balstoties uz literatūrā atrodamo informāciju, ir izanalizētas detalizētāk.

1.2. Tehnoloģiju salīdzinājums

HKI, tajā skaitā arī upju jeb straumju HKI, salīdzinot ar lielāko daļu citu enerģijas avotu, ir divas ļoti būtiskas pozitīvas īpašības:

- HKI izmanto tikai atjaunojamus energoresursus;
- HKI rada tikai nebūtiskas dažāda veida kaitīgas emisijas un nebūtisku kaitējumu dabai.

Līdz ar to upes jeb straumju HKI ir pamats apskatīt salīdzinājumā ar tiem elektroenerģijas ražošanas iekārtu veidiem, kuriem ir līdzīgas īpašības. Tie ir:

- viļņu HKI elektrostacijas;
- tradicionālās HES (kurām ir dambji, kas veido uzpludinājumu);
- vēja elektrostacijas (VES);
- saules elektrostacijas (SES).

Visus piecus šos elektrostaciju veidus kopumā var saukt par atjaunojamo energoresursu elektrostacijām, kas rada tikai nebūtiskas (kaitīgās) emisijas.

Ir trīs būtiskas jomas, ko ietekmē enerģijas ražošana:

- drošība (riski);
- elektriskie tīkli;
- vide.

Promocijas darbā ir analizēta SHES (straumes hidrokinētiskā elektrostacija – var sastāvēt no vienas vai vairākām HKI – HKI masīva) ietekme šajās trīs jomās un salīdzināta ar citiem atjaunojamās enerģijas ražošanas veidiem, kuriem ir nebūtiskas emisijas. Kur tas ir būtiski, ir apskatīta Latvijai raksturīgā specifika.

Ledus un citu peldošu priekšmetu sastrēgumu veidošanās iespējamība ir vienīgais pašreiz identificētais drošības un vides ietekmes risks, kas ir specifisks SHES. Lai gan HKI ietekmē dažādas drošības sfēras, tomēr nerada tām jaunus jeb jauna veida riskus. Turklāt HKI radītie riski ir salīdzinoši mazāki nekā citām elektrostacijām. Izpētot atbilstošo literatūru, netika atrastas ziņas par citiem jauniem vai HKI specifiskiem riskiem. Līdz ar to, lai nodrošinātu HKI ekspluatācijas drošību, tās uzstādot un ekspluatējot, pamatā jāvada tikai labi zināmi riski atbilstoši labi zināmiem to vadīšanas paņēmieniem.

Par SHES ietekmi uz elektriskajiem tīkliem secināts, ka HKI pieslēgšana un ekspluatācija rada mazākus riskus ietekmei uz tīklu nekā citu atjaunojamo energoresursu elektrostācijas ar nebūtiskām emisijām. Pie tam, visi HKI minētie riski ir salīdzinoši viegli vadāmi ar jau esošajām tīkla vadības un ekspluatācijas metodēm un tehnoloģisko aprīkojumu, kurus turklāt vēl ir reālas iespējas uzlabot.

SHES ir drošs un videi draudzīgs atjaunojamās enerģijas iegūšanas veids, kas ir arī viegli un droši integrējams esošajos elektrotīklos. Izmaksu ziņā tas ir līdzīgs citiem atjaunojamās enerģijas iegūšanas veidiem, kuriem nav būtisku kaitīgo emisiju [7]. Būtiski lētāka elektroenerģija ir vienīgi tradicionālajām HES, bet tās arī visbūtiskāk negatīvi ietekmē vidi.

1.3. Upes HKI enerģētiskā potenciāla noteikšanas metožu specifika un iesaistītie mainīgie

Lai iegūtu sākotnējos datus, kas ir nepieciešami upju straumes kinētiskās enerģijas novērtēšanai, ir izstrādātas un tiek lietotas daudzas metodes. Darbi [15, 16, 17, 18] ir tikai daži no daudziem iespējamiem piemēriem. Savukārt ir atrodamas tikai nedaudzas metodes un darbi, kas dod iespēju novērtēt upi un tās segmentu [19, 20, 21, 22] vai arī veselu upju reģionu [23, 24, 25, 26]. Pie tam šīs nedaudzās metodes ir izstrādātas katra konkrētam gadījumam nevis vispārīgai lietošanai, bet, lai plānotu un attīstītu hidrokinētiskās enerģijas industriju, ir nepieciešamas abu minēto tipu metodes, kas būtu lietojamas arī vispārīgos gadījumos jebkur, kur nākotnē tas varētu būt nepieciešams.

Metodes, kas paredzētas noteiktas upes vai tās segmenta novērtēšanai parasti ir saistītas ar mērījumu veikšanu upēs, un šīs metodes dod precīzākus rezultātus par konkrēto upi. Tās ir nodrošinātas konkrētu hidrokinētisko spēkstaciju attīstīšanai. Savukārt metodes, kas domātas vesela reģiona enerģētiskā potenciāla novērtēšanai, balstās uz ģeogrāfiskās informācijas sistēmām un hidroloģisko novērojumu datiem. Šīs otrā tipa metodes ir ievērojami neprecīzākas, bet dod iespēju novērtēt veselu reģionu ar daudzām upēm, tam lietojot mazāk resursu. Ar šīm metodēm iegūtā informācija ir būtiska stratēģiskai hidrokinētiskās elektroenerģijas ražošanas industrijas attīstībai un investīciju plānošanai tajā.

Ūdens straumes kinētiskā enerģija ir aprēķināma saskaņā ar vienādojumu [10]:

$$N = \frac{1}{2} \cdot v^3 \cdot S \cdot \rho, \quad (1.)$$

kur:

v – straumes ātrums, m/s;

S – straumes šķērsriezuma laukums perpendikulāri plūsmai m^2 ;

ρ – plūsmas (ūdens) blīvums, kg/m^3 .

$m = v \cdot S \cdot \rho$ ir ūdens masa, kas izplūst caur upes šķērsriezumu, sekundē.

Kā redzams darbā aprakstītajos mērījumos, ūdens blīvums ρ būtiski nemainās un līdz ar to tam nav būtiskas ietekmes. Tomēr hidrokinētiskās enerģijas novērtēšanā ir iesaistīts daudz vairāk mainīgo nekā redzams vienādojumā (1.). Tas ir tādēļ, ka straumes ātrums v un šķērsriezuma laukums S ir atkarīgi no daudziem citiem mainīgajiem. Aprēķinu sarežģītību palielina arī ierobežojumi, ko nosaka citi upes izmantošanas veidi, ekoloģija un izvēlētās hidrokinētiskās tehnoloģijas prasības. Visi minētie faktori nosaka to, ka hidrokinētiskā potenciāla novērtēšanā tiek lietoti šādi papildu dati:

- ģeogrāfiskie (reljefs);
- hidroloģiskie (caurplūdums);
- dažādi ierobežojumi, kas samazina upes šķērsriezuma laukumu, kas var tikt izmantots HKI izvietojumam, un nosaka tā formu;
- dažādi mainīgie, kas ir atkarīgi no konkrētā tehniskā risinājuma (piemēram, minimālais dziļums, kas nepieciešams konkrētās HKD darbināšanai).

Neatkarīgi no tā, vai metodikas domātas, lai novērtētu noteiktu upi vai reģionu ar vairākām upēm, tās visas sastāv no šādiem vispārīgiem secīgiem etapiem:

1. mērījumi upē (upes vai tās segmenta novērtēšanas gadījumā) vai datu vākšana (reģiona novērtēšanas gadījumā);

2. iegūto datu validācija;

3. datu apstrāde, analīze un rezultātu interpretācija.

Ar konkrētu HKI iegūstamā jauda konkrētā upes vietā ir aprēķināma saskaņā ar vienādojumu (1.), kas ir papildināts ar HKI efektivitātes koeficientu k . Tātad:

$$N = \frac{1}{2} k \cdot v^3 \cdot S \cdot \rho, \quad (2.)$$

kur:

k – empīrisks koeficients [67, 68], kas raksturo HKI efektivitāti;

v – ūdens plūsmas ātrums pirms HKI, m/s;

S – HKI efektīvā šķērsriezuma laukums perpendikulāri plūsmai m^2 ;

ρ – plūsmas (ūdens) blīvums, kg/m^3 .

Koeficientu k no (2.) konkrētai HKI var precīzi noteikt eksperimentāli. Tas raksturo to, cik lielu daļu no kinētiskās enerģijas straumei, kas iziet caur HKI, šī HKI pārvērš mehāniskajā enerģijā, ar kuru var darbināt pie HKI pieslēgtus mehānismus vai elektrisko ģeneratoru.

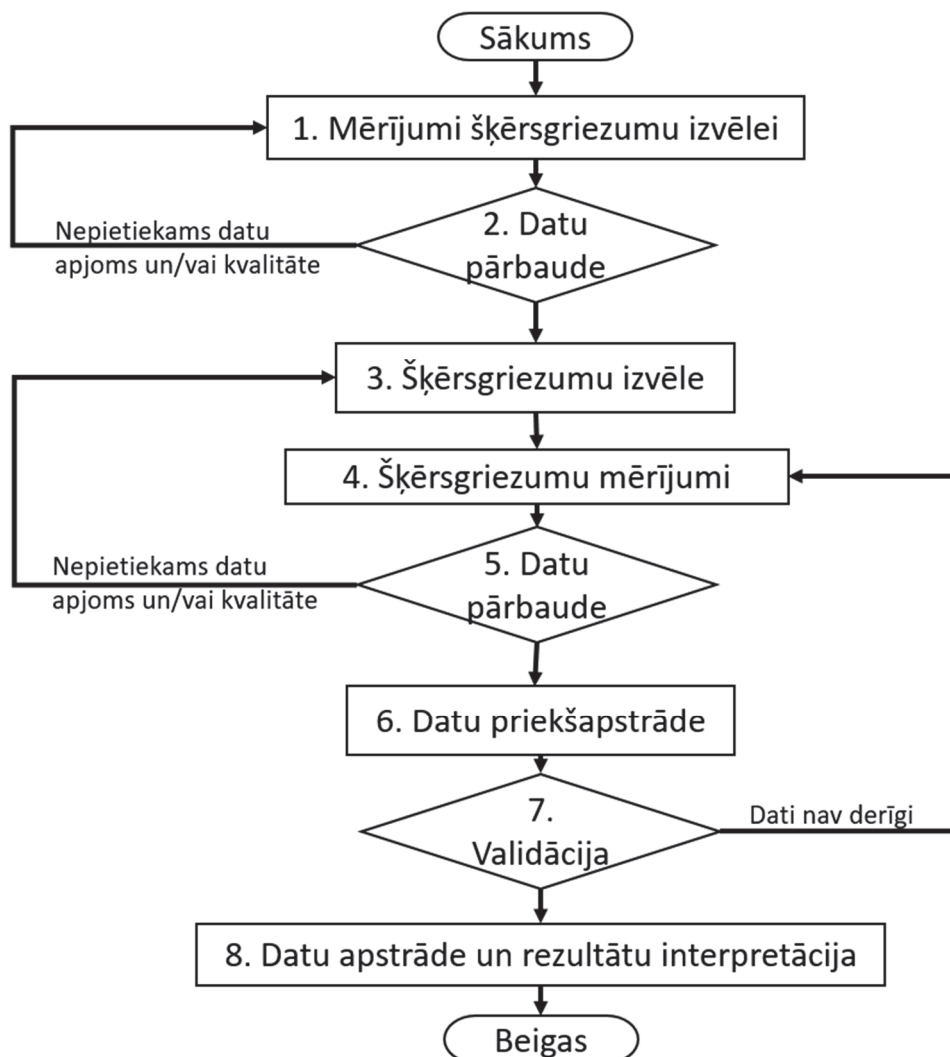
2. METODIKA UPES POSMA ENERĢIJAS RAŽOŠANAS AR HKI POTENCIĀLA NOVĒRTĒŠANAI

Lai varētu apzināt un izpētīt Latvijā perspektīvākās vietas elektroenerģijas ražošanai ar upju HKI, ir nepieciešama atbilstoša metodika. Līdz šim izstrādātās metodes šim nolūkam nav izmantojamas, jo paredz datu iegūvi no jau esošām datubāzēm vai arī ir paredzētas aptuvenai plašu reģionu novērtēšanai. Nepieciešamās datubāzes var nebūt, un par Latvijas upēm šādi dati ir ļoti epizodiski, tāpēc jāizstrādā metodika, kas nodrošina visu nepieciešamo datu iegūvi, veicot mērījumus.

Šāda metodika tika izstrādāta, un tā der jebkuras upes izpētei, ja tur iespējams pārvietoties ar laivu vai citu peldlīdzekli un noturēt šo peldlīdzekli nekustīgu attiecībā pret upes krastiem. Metodika precizēta un detalizēta saskaņā ar atziņām un papildu informāciju, kas iegūta, aprobējot šo metodiku Daugavā.

Iegūtā metodika augstākajā detalizācijas līmenī sastāv no jau iepriekš minētajiem trīs etapiem – mērījumu veikšanas upē, iegūto datu validācijas, kā arī datu apstrādes, analīzes un rezultātu interpretācijas.

3. attēlā ir parādīta izstrādātās metodikas augsta līmeņa (jeb vispārīga) blokshēma.



3. attēls. Izstrādātās metodikas augsta līmeņa (vispārīga) blokshēma.

Numurētie soļi blokshēmā ir šādi:

1. solī (skat. 3. attēlu), pārvietojoties pa upi paralēli straumes virzienam, tiek veikti mērījumi, lai iegūtu datus mērāmo upes šķērsriezuma vietu izvēlei;
2. solī tiek pārbaudīti un analizēti 1. solī iegūtie dati un, ja to apjoms vai kvalitāte nav pietiekami, 1. solis tiek atkārtots vai turpināts;
3. solī, balstoties uz 1. solī iegūtajiem datiem, tiek izvēlētas mērāmo upes šķērsriezumu vietas;
4. solī tiek veikti visu izvēlēto upes šķērsriezumu mērījumi;
5. solī tiek pārbaudīti un analizēti 4. solī iegūtie dati un, ja to apjoms vai kvalitāte nav pietiekami, papildus tiek veiktas vai atkārtotas 3. un 4. solī veicamās darbības;
6. solī tiek veikta datu priekšapstrāde, lai iegūtu to galīgajai pārbaudei un validācijai nepieciešamos rezultātus;
7. solī tiek veikta līdz šim iegūto datu validācija; tai ir izstrādāta sava metodika; gadījumā, ja validācijas rezultāti rāda, ka dati nav derīgi, tad procesa izpilde jāatsāk no 4. soļa;
8. solī tiek veikta iegūto datu apstrāde un interpretācija līdz pat gala rezultātiem. No datu apstrādes un aprēķinu viedokļa šis ir visapjomīgākais punkts. Tā galvenais rezultāts ir tabula, kuras piemērs ir redzams 1. tabulā. Šajā solī pēc vajadzības var ietilpt arī vadotņu izmantošanas ietekmes novērtējums. 12–15 kolonas tabulā ir paredzētas vadotņu novērtēšanai, un tajās attēloto rezultātu iegūšana ir aprakstīta promocijas darba 4. nodaļā. Katra tabulas (skat. piemēru 1. tabulā) rindiņa atbilst vienam izpētītas upes posmam. Būtiskas galīgo rezultātu daļas ir arī iegūto rezultātu interpretācija par katru upes posmu un secinājumi, kas iegūti upes izpētes gaitā. Tie, tāpat kā visa metodika, ir detalizēti paskaidroti promocijas darba 3. nodaļā.

1. tabula

Izpēģito Daugavas posmu starp Jaunjelgavu un Ķekabpili potenciāla elektroenerģijas ražošanai ar HKI novērtējums

1	2	3	4	5	6	7	Bez vadotnes				Ar vadotni A [29]		Ar vadotni B [30]	
							8	9	10	11	12	13	14	15
Nr. P. k.	Atrašanās vieta Daugavā (šķērsgriezuma vai punkta Nr.)		Garums (m)	Straumes ātrums (m/s)	Šķērs- griezuma laukums (m ²)	Straumes enerģijas potenciāls visā upes šķērs- griezumā (W)	Ar HKI iegūstamā elektriskā jauda no šķērs- griezuma (W)	Elektro- enerģijas daudzums gadā (MWh)	Ar HKI iegūstamā elektriskā jauda no 1 km upes (KW)	Elektro- enerģijas daudzums gadā no 1 km upes (GWh)	Ar HKI iegūstamā elektriskā jauda no 1 km upes (KW)	Elektro- enerģijas daudzums gadā no 1 km upes (GWh)	Ar HKI iegūstamā elektriskā jauda no 1 km upes (KW)	Elektro- enerģijas daudzums gadā no 1 km upes (GWh)
	Sā- kums	Beigas												
1	45	41	750	2,416	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
2	38	30	4000	0,759	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
3	29	24	4400	0,534	697,7	53 041	6311,86	7442,948	925,740	1,692	1363,750	2,492	1947,824	3,559
4	24	21	3000	0,454	1167	54 671	6505,82	5230,677	650,582	1,744	958,402	2,569	1368,871	3,669
5	21	10	850	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
6	10	n/d	n/d	zem 0,45	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d
7	9	5	2150	0,800	536,4	137 318	16 340,8	9415,569	1170,840	4,378	1724,817	6,450	2463,530	9,212
8	5	3	3000	0,677	772,2	11 9848	14 261,9	11 466,593	1426,193	3,822	2100,991	5,631	3000,814	8,042
9	3	1	4000	0,479	1182	64 987	7733,48	8290,287	1031,130	2,073	1519,005	3,053	2169,573	4,361
10	1	n/d	n/d	zem 0,41	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d

n/d – nav datu

3. METODIKU LIETOJUMA PIEMĒRS

Ņemot vērā ūdens straumes kinētiskās enerģijas vienādojumu (1.) un turbulences ietekmi, galvenajiem kritērijiem vietas izvēlei Latvijā, lai maksimizētu elektroenerģijas ražošanu ar SHES, vajadzētu būt:

- straumei ar mazu (pēc iespējas mazāku) turbulenci;
- straumei ar pēc iespējas lielāku ātrumu;
- straumei ar pēc iespējas lielāku šķērsriezumu, kas ļauj izvēlēties piemērotu HKI tehnoloģiju;
- krastu un gultnes ģeoloģiskai uzbūvei, kas pieļauj izvēlēties tehnoloģijas realizāciju.

Vadoties no šiem kritērijiem, ir skaidrs, ka elektroenerģijas ražošanā ar HKI vislielākais potenciāls ir Daugavai. Tādējādi, caurskatot ūdens caurteces statistikas datus un novērtējumus pēc pārējiem minētajiem kritērijiem, straumes ātrumu mērījumiem un tālākai izpētei tika izvēlēti šādi Daugavas segmenti ar lielu paredzamo potenciālu elektroenerģijas ražošanai ar HKI:

- A. no Jaunjelgavas līdz Pļaviņu ūdenskrātuvei;
- B. no Pļaviņu ūdenskrātuves līdz Jēkabpilij;
- C. no Jēkabpils līdz Līvāniem.

Segmentu A un B izpētes rezultāti ir apkopoti 1. tabulā. Interpretācijas piemēri 1. tabulā esošajiem datiem no straumes ātruma un HKI izmantošanas iespēju viedokļa saskaņā ar posmu numuriem 1. tabulā ir apkopota sarakstā.

1. Visātrākās straumes un līdz ar to vislabāk no izpētītajiem piemērots nedaudzu individuālu HKI darbināšanai. HKI parkiem nav piemērots, jo ir krācains un pietiekami dziļas un maz turbulentas vietas ir īpaši jāizmeklē.
2. Trešā ātrākā straume. Piemērots gan individuālu HKI, gan HKI masīvu darbināšanai.
3. Vidējais no visu izpētīto posmu straumju ātrumu rādītājiem. Piemeklējot atbilstošas tehnoloģijas, jau tagad varētu būt izmantojams HKI darbināšanai, tajā skaitā – lieliem turbīnu masīviem.
4. Trešā lēnākā straume un ierobežots apgabals pirms Aiviekstes ietekas. HKI darbināšanai no izpētītajiem vismazāk piemērotais.
5. Ap Aiviekstes ieteku HKI izvietot nav mērķtiecīgi turbulences un citu, upēm satekot, grūti prognozējamu parametru dēļ.
6. Otrā lēnākā straume, bet lielā dziļuma un šķērsriezuma dēļ nākotnē var būt noderīgs HKI ar lielu aktīvo laukumu darbināšanai.
7. Otrā ātrākā straume. Vislabāk no izpētītajiem piemērots HKI parku (arī lielu) darbināšanai, jo nepietiekams dziļums ir tikai nelielā joslā gar krastiem un turbulences ir nebūtiska.
8. Ceturtā ātrākā straume. Piemērots gan individuālu HKI, gan HKI masīvu darbināšanai.
9. Ceturtā lēnākā straume. HKI darbināšanai var kļūt noderīgs tuvā nākotnē, bet izmantojams tikai pēc perspektīvāku posmu apgūšanas.
10. Vislēnākā straume sākumā (tālāk nav datu). Potenciāli lielo izmēru (garuma) dēļ var būt interesants tālākā nākotnē, tehnoloģijām atbilstoši attīstoties.

Segmenta C izpētes rezultāti ir aprakstīti promocijas darba 5. nodaļā un apkopoti 2. tabulā.

Secinājumi, kas radās, aprobējot metodiku Daugavā, un kuriem pamatojums ir atrodams promocijas darbā, ir šādi:

- ir izstrādāta metodika, pēc kuras vadoties var novērtēt, kuri no upes posmiem un cik lielā mērā der elektroenerģijas ražošanai ar SHES;
- izmantojot izstrādāto metodiku, var novērtēt jebkuras upes vai upes posma, kurā iespējams pārvietoties ar laivu vai citu peldlīdzekli un noturēt šo peldlīdzekli nekustīgu attiecībā pret upes krastiem;
- straumju ātruma mērījumu datu validācijai un papildu informācijai upju (posmu) novērtēšanai ļoti noderīgi ir upju novērojumu staciju statistiskie dati par upju caurteces apjomiem; to izmantošana ir aprakstīta metodikā un tās lietošanas piemērā;
- Daugavā veikto mērījumu analīze rāda, ka straumes ātruma izmaiņas maz atkarīgas no upes caurteces apjoma izmaiņām;
- iegūti dati par Daugavas lejteces straumes ātrumiem, kas var tikt izmantoti SHES ierīkošanai;
- izvērtēts SHES enerģētiskais potenciāls Daugavas lejtecē;
- atrastas iespējamās vietas dažādu atsevišķu HKI un HKI parku uzstādīšanai;
- Konstatēts, ka ūdens blīvuma izmaiņas ar laiku nepārsniedz 0,2 % un nevar būtiski ietekmēt enerģētisko potenciālu;
- darba rezultāti ļauj aptuveni novērtēt arī citu Daugavas tuvāko posmu potenciālu SHES izmantošanai tuvākā un tālākā nākotnē, kad HKI tehnoloģijas attīstīsies, dodot iespēju ražot elektroenerģiju pie zemākiem straumju ātrumiem;
- konstatēts, ka straumes ātrumi pat mierīga upes plūduma dažādās viena šķērsriezuma vietās atšķiras līdz pat trīs reizēm un vairāk, līdz ar to pirms HKI izvietojšanas, lai būtiski palielinātu to izmantošanas efektivitāti, vienmēr ir vērts veikt detalizētu attiecīgā upes apgabala straumju izpēti.

4. VADOTŅU IETEKME UZ HKI IZMANTOŠANU

4.1. Pamatojums vadotņu lietošanai un to darbības principi

Kā redzams vienādojumā (2.), (straumes jeb brīvās plūsmas) hidrokinētiskās iekārtas jaudu visvairāk ietekmē straumes ātrums. Enerģijas apjoms aug līdz ar straumes ātrumu trešajā pakāpē. Tas ietekmē spēkstacijas saražotās elektroenerģijas daudzumu ne tikai tieši (skat. vienādojumu (2.)), bet arī netieši, palielinot efektivitātes koeficientu, kas ir iekļauts konstantē k.

Straumes ātrums hidrokinētiskajās iekārtās pārvēršas turbīnas griešanās ātrumā, tātad – arī ģenerators griešanās ātrumā. Ģeneratoru efektivitāte pie lielākiem griešanās ātrumiem pieaug. Tas dod iespējas palielināt straumes hidrokinētisko iekārtu efektivitāti. Ņemot vērā Bernulli likumu, iespējas koncentrēt enerģiju un palielināt iekārtu efektivitāti tiek izmantotas, lietojot dažādas vadotnes [30, 31, 32, 33, 34]. Vadotnes var būt arī HKI sastāvdaļas. 1. attēlā tās ir atzīmētas ar “1”. Palielinot straumes ātrumu vadotnes, vienlaikus arī samazina laukumu, kas ir pieejams hidrokinētisko iekārtu aktīvajām daļām (tādām kā propelleri, spārni u. tml.). Šis laukuma samazinājums ir vienāds ar laukumu, ko aizņem pašas vadotnes, līdz ar to nevar aizņemt hidrokinētiskās iekārtas (HKI) aktīvās daļas. Rezultātā samazinās S (skat. vienādojumu (2.)), kas izsauc lineāru HKI jaudas samazinājumu. Tomēr, tā kā straumes ātruma (v) ieguvumi

palielina iegūstamo jaudu proporcionāli trešajai pakāpei, jaudas ieguvumi ir būtiski lielāki nekā zaudējumi samazinātā laukuma (S) dēļ.

Vadotnes ir vienkāršākas, un tām salīdzinājumā ar HKI ir daudz mazākas uzturēšanas izmaksas. Līdz ar to HKI, kas ir aprīkota ar piemērotām vadotnēm, izmaksās mazāk gan ražošanā, gan ekspluatācijā, turklāt arī ražos vairāk elektroenerģijas nekā HKI, kas noklāj to pašu šķērsriezumu bez vadotnēm.

Vadotņu lietošana var arī palielināt iekārtu izmaksas, bet ieguvumi būtiski pārspēj šo izmaksu pieaugumus. Vadotnes ir nekustīgs šķērslis straumes ceļā, tāpēc uz tām darbojas ievērojami straumes spiediena spēki [30, 35]. Līdz ar to galvenā izmaksu pozīcija, kuras palielinājums un minimizēšana ir jāapsver, ir nostiprināšanas izmaksas. Tas ir jautājums, kas noteikti jāņem vērā, izvēloties vadotnes formu un lielumu, kā arī izstrādājot jaunas vadotnes.

Vadotnes sniedz iespēju paņemt vairāk enerģijas arī no tās pašas straumes, pārsniedzot Betsa limitu [30, 36, 37]. Saskaņā ar Betsa limitu maksimālais enerģijas daudzums, ko ir iespējams paņemt no straumes, ir vienāds ar 60 % no kopējā kinētiskās enerģijas daudzuma straumē, bet tas ir apgalvots ar pieņēmumu, ka viss straumes šķērsriezums ir noklāts ar HKI aktīvajām daļām un ignorē vadotņu iespējamību.

Vadotņu enerģijas koncentrēšanas efektivitāte palielinās līdz ar straumes ātruma samazināšanos [29]. Tas sniedz papildu iespējas HKI izmantošanai salīdzinoši līdzena reljefa vietās, kur plūst lēnākas upes, kā, piemēram Latvijā, visā Baltijā un daudzās citās pasaules vietās. No straumju ātruma mērījumiem Latvijas upēs redzams, ka vietās, kas ir vispiemērotākās HKI uzstādīšanai, straumes ātrums ir starp 0,4 un 0,9 m/s. Lai nodrošinātu HKI efektīvu darbību, tās ir vēlams darbināt vismaz divas līdz trīs reizes ātrākās straumēs. Iespējamie vadotņu risinājumi straumēm ar ātrumu zem un ap 1 m/s ir vismazāk izpētīti, ir ar augstāko labu rezultātu iegūšanas potenciālu.

Upes un apstākļi, kādos straumē var ievietot HKI, ir daudzveidīgi un atšķirīgi. Tāpat ir daudz atšķirīgu HKI un vadotņu, no kurām izvēlēties optimālo kombināciju, ko darbināt izvēlētajā upē. Līdz ar to ir svarīgi spēt novērtēt gan upes vai tās posma potenciālu elektroenerģijas ražošanai ar hidrokinētiskajām iekārtām (lai izvēlētos HKI), gan arī apzināt ar konkrētām tehnoloģijām un to kombinācijām no konkrētās upes iegūstamo elektroenerģijas daudzumu (lai izvēlētos risinājumu konkrētai upei). Minētajām vajadzībām šajā darbā ir izstrādātas atbilstošas metodes, ko lietojot var novērtēt un salīdzināt ar HKI iegūstamos elektroenerģijas daudzumus ar un bez vadotnes.

4.2. Metodikas papildinājumi HKI vadotņu ietekmes novērtēšanai

Lai radītu iespējas salīdzināt saražoto elektroenerģijas daudzumu un citus rezultātus gan lietojot, gan nelietojojot vadotnes, pietiek papildināt aprakstīto metodiku ar diviem parametriem, kas raksturo konkrēto vadotni:

- vadotnes laukuma proporcijas koeficientu (“*area ratio*” – tas tiek aprēķināts, dalot ārējo (lielāko) šķērsriezuma laukumu ar iekšējo (ar HKI aktīvajiem elementiem noklājamo) šķērsriezuma laukumu) [30]: šis parametrs dod iespēju ņemt vērā laukumu, ko aizņem vadotne, līdz ar to S samazinājumu (skat. vienādojumu (2.));
- HKI efektivitātes koeficients gadījumā, kad tā tiek lietota kopā ar konkrēto vadotni: šis parametrs ļauj ņemt vērā v un N ieguvumus (skat. vienādojumu (2.)).

Lai radītu iespējas salīdzināt rezultātus, nelietojot un lietojot vadotnes, kā arī uzlabotu iespējas salīdzināt izpētītos upes posmus, saskaņā ar iepriekš aprakstīto metodiku veidojamā gala rezultātu tabula ir papildināma ar vairākām kolonnām (skat. kolonnas 10–15 1. un 2. tabulā).

Dati par vadotni A ir ņemti no [29], dati par vadotni B ir ņemti no [30] (šajā darbā tā ir nosaukta kā “*profile EIA6*”). Apraksti un cita informācija par vadotnēm A un B ir pieejama attiecīgajos darbos.

No informācijas 1. tabulā redzams, ka, lietojot vadotni A, dotajos apstākļos saražotās elektroenerģijas daudzumu ir iespējams palielināt par 47 %, savukārt, lietojot vadotni B, to ir iespējams palielināt par 110 %. Informācija par vadotnes A efektivitāti ir iegūta empīriskā eksperimentā. Kā liecina interneta izpētes rezultāti, šī ir vadotne, kurai ir labākie praksē apstiprinātie rādītāji. Vadotnei B ir vairāk nekā divas reizes labāki efektivitātes rādītāji, bet tā ir tikai teorētiska ierīce, un tās efektivitāte arī ir tikai teorētiska.

4.3. Secinājumi par vadotnēm

Balstoties uz šī darba rezultātiem, var izdarīt šādus secinājumus par HKI lietošanu kopā ar vadotnēm:

- aprēķini liecina, ka vadotnes var palielināt efektivitāti elektroenerģijas ražošanai ar HKI par vismaz 50–110 %;
- vadotnes ir perspektīvs risinājums upju HKI efektivitātes uzlabošanai;
- ieguvumi no vadotņu lietošanas var tikt novērtēti, izmantojot metodiku, kas ir aprakstīta šajā darbā;
- ir perspektīvi un vēlams veikt izpētes un izstrādes darbus, lai izveidotu vadotnes straumju ātrumiem ap un zem 1 m/s, jo tās ir vismazāk pētītas, un paredzams, ka darbojas visefektīvāk;
- straumes spiediena spēku, kas darbojas uz vadotnēm, samazināšana un vadotņu nostiprināšanas risinājumi ir jautājumi, kas noteikti ņemami vērā, izstrādājot jaunas vadotnes.

5. DAUGAVAS IZPĒTES REZULTĀTI OTRAJĀ POSMĀ

2. tabulā līdzīgā salīdzināmā formātā kā 1. tabulā ir apkopoti veiktās izpētes Daugavas segmentā C – no Jēkabpils līdz Līvāniem – rezultāti. Visas konstantes aprēķiniem, pieņēmumi, dati par vadotnēm un tamlīdzīga informācija ir ņemta no promocijas darbā aprakstītā metodikas lietojuma piemēra un nodaļas par vadotnēm.

Kartes ar promocijas darbā izpētītajām Daugavas vietām un norādītiem visiem izpētītajiem šķersgriezumiem un atsevišķajiem punktiem, kā arī visi mērījumu un aprēķinu rezultāti ir atrodami promocijas darbā.

2. tabula

Izpēfīto Daugavas posmu starp Jēkabpīli un Līvāniem potenciāla elektroenerģijas ražošanai ar HKI novērtējums

Nr. p. k.	Atrašanās vieta Daugavā (šķērsgrīezu punkta Nr.)		4	5	6	7	Bez vadotnes								Ar vadotni A [29]		Ar vadotni B [30]	
	Sākums	Beigums					8	9	10	11	12	13	14	15	Ar HKI iegūstamā enerģijas daudzums (MWh)	Ar HKI iegūstamā enerģijas daudzums (GWh)	Ar HKI iegūstamā enerģijas daudzums (GWh)	Ar HKI iegūstamā enerģijas daudzums (GWh)
1	S6	S5	2000	0,503	598,4	38 101	4534,00	2430,222	302,266	1,215	445,283	1,790	635,990	2,557				
2	S5	S4	800			Upju sateces vietā nav mērķtiecīgi izvietot HKI turbulences un citu mainīgu apstākļu dēļ												
3	S4	L27	2000	0,480	768,1	42 432	5049,38	2706,469	336,625	1,353	495,898	1,994	708,284	2,847				
4	L27	J16	12000	0,988	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d				
5	J16	J18	1500			Upju sateces vietā nav mērķtiecīgi izvietot HKI turbulences un citu mainīgu apstākļu dēļ												
6	J18	S1	1800	0,535	914,1	70 068	8338,09	4022,297	500,286	2,235	736,994	3,292	1052,637	4,702				
7	S1	J27	3500	0,989	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d				
8	J27	J29	800			Upju sateces vietā nav mērķtiecīgi izvietot HKI turbulences un citu mainīgu apstākļu dēļ												

n/d – nav datu

Interpretācijas piemēri 2. tabulā esošajiem datiem no straumes ātruma un HKI izmantošanas iespēju viedokļa saskaņā ar posmu numuriem 2. tabulā ir apkopoti sarakstā.

1. Viens no trijiem atrastajiem posmiem, kuros iespējams izvietot HKI parku. Otrā (vidējā) ātrākā straume un mazākais potenciāli iegūstamās elektroenerģijas apjoms no trijiem. Perspektīvā var noderēt lokālai Līvānu elektroapgādei.
2. Upju sateces vietā nav mērķtiecīgi izvietot HKI turbulences un citu mainīgu apstākļu dēļ.
3. Viens no trijiem atrastajiem posmiem, kuros iespējams izvietot HKI parku. Lēnākā straume un otrais (vidējais) iegūstamās elektroenerģijas apjoms no trijiem. Perspektīvā var noderēt lokālai Līvānu elektroapgādei.
4. Garš krāčains upes posms. Visā garumā starp krācēm iespējams atrast labas vietas ar ātru un pietiekami dziļu straumi individuālu HKI ierīkošanai. HKI parku ierīkošanai nav piemērots.
5. Upju sateces vietā nav mērķtiecīgi izvietot HKI turbulences un citu mainīgu apstākļu dēļ. Šeit arī daudz salu, kas ievieš lielāku nenoteiktību un apgrūtina HKI apkalpošanu.
6. No iegūstamā elektroenerģijas daudzuma viedokļa visperspektīvākais no trijiem atrastajiem posmiem, kuros iespējams izvietot HKI parku. Visātrākā straume un vislielākais iegūstamās elektroenerģijas apjoms no trijiem.
7. Krāčains upes posms. Starp krācēm iespējams atrast labas vietas ar ātru un pietiekami dziļu straumi individuālu HKI ierīkošanai. HKI parku ierīkošanai nav piemērots.
8. Upju sateces vietā nav mērķtiecīgi izvietot HKI turbulences un citu mainīgu apstākļu dēļ

No veiktajiem darbiem Daugavas potenciāla un vadotņu izpētē var secināt, ka HKI ir vērts attīstīt izmantošanai arī Latvijas apstākļos, jo apstākļi un iespējas tās izmantot ir pietiekami labi un perspektīvi.

6. DARBI JAUNU HKI IZSTRĀDĒ UN UZLABOŠANĀ

Ir zināmi dažādi tehniskie paņēmieni, kas dod iespējas būtiski palielināt hidrokinētisko iekārtu efektivitāti. Šādas iespējas dod vadotnes, tajā skaitā difuzori un citi speciāli plūsmas vadības paņēmieni. Šīs ierīces maina straumes šķērsriezumu un/vai virzienu, maina spiedienu straumē, minimizē turbulenci, kopumā ievērojami palielinot straumes enerģijas izmantošanas efektivitāti. Lai paplašinātu zināšanas šajā jomā un iegūtu zināšanas, kā efektīvāk izmantot Latvijai raksturīgi lēnas straumes, ar aprēķinu, modeļu un mērījumu palīdzību pētītas iespējas palielināt hidrokinētisko iekārtu efektivitāti, lietojot šādas ierīces, līdz ar to radot iespēju to izstrādei konkrētai vajadzībai.

Pētīts arī, kā efektīvāk izmantot lēno ūdens straumju kinētisko enerģiju, mainot straumē ievietotu tās enerģiju uztverošo ķermeņu formu un izvietojumu. Šim nolūkam veikti eksperimenti ar ūdens straumē ievietojamiem dažādas formas ķermeņiem, lai modelētu straumes enerģijas sadalījumu un prognozētu darbojošos spēkus. Mērķis bija atrast tādu ķermeņu formu un savstarpējo izvietojumu, kas nodrošinātu pēc iespējas efektīvāku straumes enerģijas izmantošanu. Rezultāti dod papildu informāciju par spēkiem, kas darbojas hidrokinētisko iekārtu dažādos risinājumos, galvenokārt netradicionālajos, kas ir inovatīvāki un piemērotāki Latvijai raksturīgajām straumēm.

Pētījumos iegūtās zināšanas ir izmantotas jaunu hidrokinētisko iekārtu un to sastāvdaļu izstrādē. Darba autors, strādādams kolektīvā ar citiem izgudrotājiem, ir piedalījies vairāku hidrokinētisko iekārtu un to sastāvdaļu izstrādē. Rezultātā Latvijas Republikas patentu valdē ir iesniegti 11 patentu pieteikumi, kuros autors ir līdzizgudrotājs. Ir saņemti divi patenti un pozitīvs lēmums reģistrēt vēl vienu patentu. Pārējie patentu pieteikumi uz darba publicēšanas brīdi atradās dažādās izskatīšanas stadijās.

7. IZSTRĀDĀTĀS METODIKAS LIETOJUMI EKONOMIKĀ

Literatūrā ir atrodami tikai nedaudzi darbi, kuros ir pētīti HKI ekspluatācijas ekonomiskie aspekti. Šie darbi nav tiešā veidā izmantojami HKI izvietojuma un skaita plānošanai konkrētā vietā tāpēc, ka ir vai nu pārāk vispārīgi [7], vai ir veltīti tikai vienam, konkrētam risinājumam [38], vai arī analizē jautājumus, kuros HKI izvietojums upes šķērsgriezumā netiek ņemts vērā [39]. Arī HKI ražotāju sniegtā informācija aprobežojas ar tipveida tehniskajiem datiem, nepasakot, kā ņemt vērā reālos upes šķērsgriezuma un citus vietējos ierobežojumus [1, 10].

Līdz ar to ir nepieciešams izstrādāt tādu rīku, kas varētu apvienot gan HKI tehnoloģiskās prasības, gan arī ar šajā darbā izstrādāto metodoloģiju iegūtos rezultātus, ņemot vērā arī dažādus ierobežojumus, kas aprakstīti šajā darbā. Rīka uzdevums ir, balstoties uz datiem, kas iegūti ar darbā izstrādātās metodikas palīdzību, atrast tādu HKI un to izvietojumu upē, kas nodrošina lielākos prognozējamus ieņēmumus. Rīkam jāsniedz šādas iespējas:

- HKI izvietojuma optimizēšanu, ņemot vērā vairākus upi un tās izmantošanu citiem mērķiem raksturojošus ierobežojumus:
 - HKI minimālo attālumu no krasta;
 - minimālo dziļumu HKI izvietošanai;
 - maksimālo HKI skaitu, kādu iespējams novietot vienu virs otras,

kā arī HKI izmērus un potenciāli (turpmāk attīstot rīku) dažādus citus ierobežojumus;

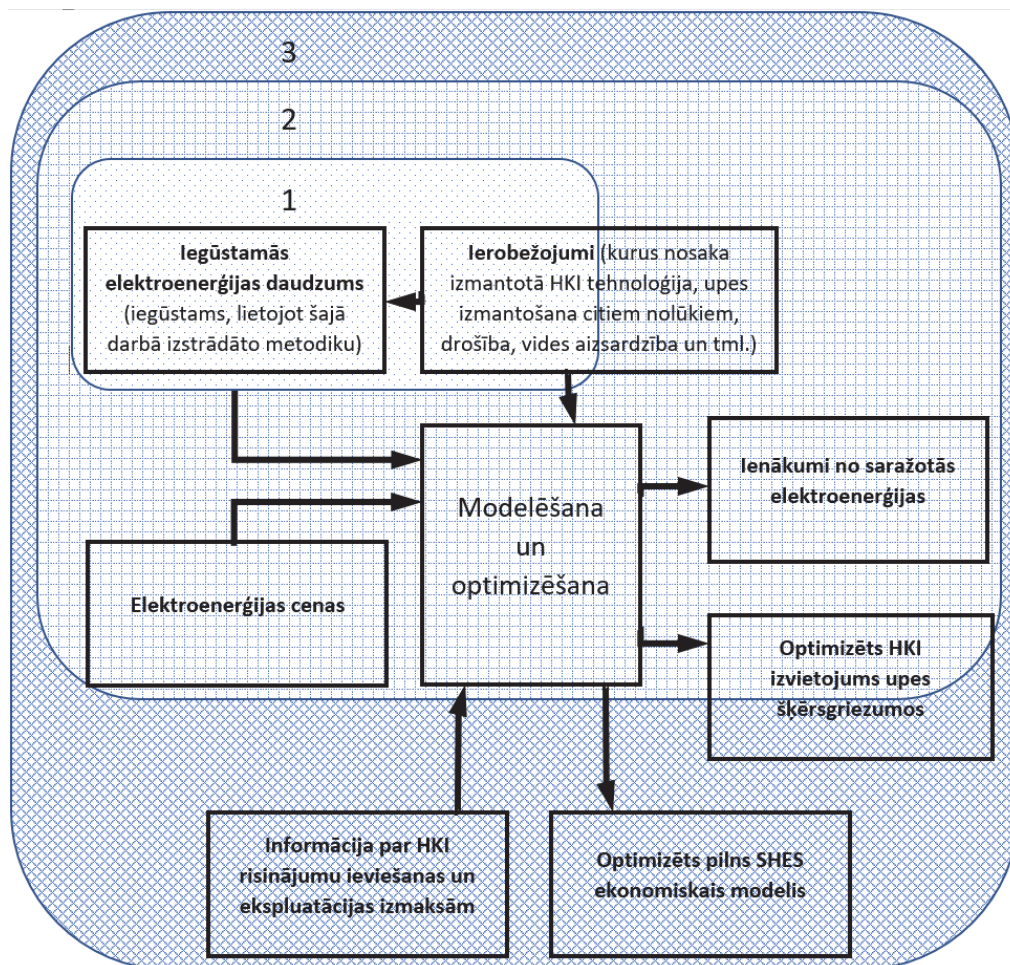
- izrēķināt maksimālo pieejamo šķērsgriezuma laukumu un HKI skaitu saskaņā ar ievadītajiem ierobežojumiem;
- noteikt ik stundas un summāros ieņēmumus no visām modelī paredzētajām HKI un vienas atsevišķas HKI, balstoties uz modelī ievadītajām elektroenerģijas cenām;
- ērti dinamiski pievienot un izņemt no modeļa jebkurus upes šķērsgriezumu datus tādā (*Excel*) formātā, kā aprakstīts metodikā;
- iespējas grafiski attēlot un salīdzināt HKI izmantojamo upes šķērsgriezuma apgabalu un citu informāciju pie dažādiem ierobežojumiem;
- iespējas grafiski attēlot un salīdzināt ieņēmumus no dažādiem HKI risinājumiem.

Rīks, kas nodrošina definētās iespējas, ņemot vērā uzskaitītos datus, tika izstrādāts programmēšanas valodas *MATLAB* vidē [40].

Ar izstrādāto rīku iegūtie modelēšanas dati padara iespējamu precīzu HKI risinājumu salīdzināšanu pēc to radītajiem ieņēmumiem dotajā upes šķērsgriezumā, kā arī ļauj izvēlēties optimālāko HKI izvietošanas variantu upē. Modelējot vairākus šķērsgriezumus, iespējams izveidot modeli HKD risinājumam upes posmam.

Aprakstītā rīka iespējas parāda, kā darbā izstrādātās metodikas var kalpot par pamatu arī ekonomiskiem aprēķiniem un prognozēm. Izstrādāto rīku ir iespējams attīstīt un uzlabot vairākos virzienos, kas parāda arī izstrādāto metodiku turpmākās lietošanas un attīstības

iespējas. Darbā izstrādātās metodikas un rīki, kas jau realizēti, kā arī turpmākās to attīstības un lietojumu iespējas uzskatāmi parādītas 4. attēlā.



4. attēls. Darbā izstrādātās metodikas un rīki un to turpmākās attīstības iespējas un lietojumi.

Ar skaitli “1” 4. attēlā apzīmēts bloks ar datiem, kas ir iegūstami, lietojot darbā izstrādātās metodikas.

Ar skaitli “2” 4. attēlā apzīmēts rīks un metodikas lietojuma paplašinājums, kas ir aprakstīts šajā darba nodaļā.

Ar skaitli “3” 4. attēlā apzīmēts nākotnē ekonomikas jomā iespējamais metodikas un rīka lietojuma paplašinājums.

Optimizēts HKI izvietojums upes šķērsgriezumā šajā nodaļā aprakstītajā paplašinājumā (t. i., “2”) ir ietverts tikai daļēji, jo, papildinot modeli ar ekonomisko izmaksu datiem, kļūs iespējama detalizētāka un precīzāka HKI risinājuma izvēle un optimizācija (t. i., “2” var tikt attīstīts kopā ar “3”, līdz ar to – uzlabots).

4. attēlā gan ar “2”, gan ar “3” atzīmētos metodikas lietojuma paplašinājumus iespējams detalizēti attīstīt tālāk, katru no tiem precizējot un papildinot pēc vajadzības.

Īsi apkopojot šajā nodaļā sniegto informāciju, var teikt, ka darbā izstrādātajām metodikām un to iespējamiem lietojumiem ir labas attīstības iespējas. Šīs iespējas pakāpeniski realizējot, gan īstermiņā, gan ilgtermiņā ir iegūstami arvien jauni efektīvi lietojumi enerģētikā un ekonomikā.

SECINĀJUMI

Darbā veiktā literatūras analīze ļauj secināt, ka hidrokinētiskās tehnoloģijas strauji attīstās un kļūst izmantojamas arī Latvijā. Savukārt metodikas, ar kurām novērtēt hidrokinētiskās enerģijas potenciālu un plānot elektroenerģijas ražošanu ar HKI, ir ļoti maz, un tās ir nepilnīgas.

Balstoties uz veikto izpēti par upju hidrokinētiskās enerģijas novērtēšanas metodēm, var tikt izdarīti šādi secinājumi:

- upju hidrokinētiskās enerģijas novērtēšanas metodes, balstoties uz apjomiem, ko tās prognozē, var iedalīt divos tipos:
 - metodes vienas upes vai tās segmenta novērtēšanai;
 - metodes reģiona (ar vairākām upēm) novērtēšanai;
- daudzu mainīgo un savstarpēji atkarīgo faktoru dēļ metodes ir darbietilpīgas, kļūdu jutīgas un var būt neprecīzas. Tādēļ ir ieteicama iegūto datu pārbaude un validācija pirms tālākas apstrādes, un tā ir relatīvi viegli realizējama;
- iegūstamās enerģijas daudzumu var ietekmēt mainīgie, kas novērtēšanas brīdī nav zināmi (tādi, kas raksturos nākotnes sasniegumus hidrokinētiskās enerģijas jomā), bet kas jāņem vērā, pilnveidojot metodiku (piemēram, upē esošās un no upes iegūstamās enerģijas apjomu proporcija var mainīties atkarība no tehniskā risinājuma);
- hidrokinētiskās tehnoloģijas attīstās ātri, tāpēc arī hidrokinētiskās enerģijas potenciāla novērtēšanas metodes nepārtraukti jāuzlabo. Iegūtie dati ir jāapkopo un jāglabā veidā, kas ļauj tos izmantot prognozējot nākotnes izmaiņas.

Darbā izstrādātas metodikas, kas ietver ar HKI iegūstamās enerģijas apjoma novērtēšanu, kā arī SHES plānošanu, balstoties uz upē veiktu mērījumu un citiem nepieciešamajiem datiem, kā arī mērījumos iegūto datu validēšanu. Veicot mērījumus dabā un datu apstrādi, saskaņā ar izstrādāto metodiku darbā ir identificētas vairākas vietas Daugavā, kurās tuvākā vai tālākā nākotnē ir iespējama SHES ierīkošana no HKI masīviem. Darba iegūtie rezultāti un mērījumi var kalpot par pamatu vietotas datubāzes izveidošanai, kas dos iespēju izvēlēties potenciālo HKI uzstādīšanas vietu vai – pēc vajadzības – vairākas vietas.

Kā liecina darba veiktā izpēte, perspektīvi risinājumi gan upju HKI, gan arī citu straumes HKI efektivitātes uzlabošanai ir sagaidāmi, uzlabojot vadotnes. To izmantošana HKI risinājumos spēj būtiski palielināt straumes ātrumu HKI tieši lēnās upēs (upēs ar straumes ātrumu ap un zem 1,5 m/s) ekspluatējamu HKI efektivitāti. Tātad tieši tādu upju HKI efektivitāti, kādas pārsvarā ir Latvijā.

Darbā veiktie HKI uzlabošanas iespēju pētījumi ļauj secināt, ka, izstrādājot jaunas HKI, lielāku vēriņu jāpievērš ūdens enerģiju uztverošo jeb aktīvo elementu formai un savstarpējam izvietojumam, panākot konstruktīvo elementu maksimālo atdevi. Pie tam uzmanība ir pievēršama aktīvā elementa trīsdimensiju formai, nevis tikai plūsmu uztverošajai virsmai, kuras izvēli parasti apskata literatūrā. Lai gan sarežģītāko ķermeņu ietekme – īsākās turbulences zonas un/vai palielināti spēki F , kas darbojas uz ķermeni – nav liela, daudzu šādu elementu izmantošana var dot būtisku efektu.

Ar darbā izstrādāto modelēšanas rīku iespējams plānot HKI izvietošanu upē un sagaidāmos saimnieciskos ieguvumus.

Ūdens straumju enerģijas izmantošana ir perspektīvs virziens enerģētikas attīstībai, un promocijas darbs ir solis šajā virzienā.

Iegūtie rezultāti ļauj secināt, ka darbā izvirzītā hipotēze ir apstiprināta, uzdevumi ir izpildīti un definētie mērķi ir sasniegti.

LITERATŪRA

1. Verdant Power. Technology evaluation of existing and emerging technologies water current turbines for river application. Report prepared for Natural Resources Canada; 2006.
2. Johnson J.B., Pride D.J. River, tidal, and ocean current hydrokinetic energy technologies: status and future opportunities in Alaska. Alaska Centre for Energy and Power, 1 November 2010.
3. Boccaletti C., Fabbri G., Marco J., Santini E. An overview on renewable energy technologies for developing countries: the case of Guinea Bissau. In: International Conference on Renewable Energy and PowerQuality (ICREPQ'08), 12–14 March 2008. (Santander, España); 2008.
4. Zanette J, Imbault D, Tourabi A. Fluid-structure interaction and design of water current turbines. Scientific Bulletin of the “Politehnica” University of Timisoara; Transactions on Mechanics Tom 2007; 52 (66).
5. Hermann S., Design of a micro-hydro powered battery charging system for rural village electrification. Carl von Ossietzky University Oldenburg: Postgraduate Programme Renewable Energy; 2006.
6. Hydrovolts. “In-stream Hydrokinetic Turbines”. Powertech Labs, 2006. Available from hydrovolts.com: (<http://hydrovolts.com/wp-content/uploads/2011/06/In-Stream-Hydrokinetic-White-Paper2.pdf>).
7. U. Pērsis, J. Kalnačs, K. Silķe, A. Kalniņš, A. Builevics, J. Birzaks. Bezaizsprostu, jeb ūdens brīvās plūsmas hidroelektrostacijas. SIA „BRZA Agro”, 2011.
8. M. J. Khan, M. T. Iqbal and J. E. Quaicoe, River current energy conversion systems: Progress, prospects and challenges, Renewable and Sustainable Energy Reviews, October 2008, Pages 2177–2193.
9. M. J. Khan, G. Bhuyan, M. T. Iqbal and J. E. Quaicoe; Hydrokinetic energy conversion systems and assessment of horizontal and vertical axis turbines for river and tidal applications: A technology status review, Applied Energy, October 2009, Pages 1823–1835.
10. Kari Sornes. “Small-scale water current turbines for river applications”. Zero Emission Resource Organization, January 2010. (<http://www.zero.no/publikasjoner/small-scale-water-current-turbines-for-river-applications.pdf>).
11. H. J. Vermaak, K. Kusakana, S. P. Koko., Status of micro-hydrokinetic river technology in rural applications: A review of literature. Renewable and Sustainable Energy Reviews 29 (2014) 625–633.
12. Güney M. S., Kaygusuz K., Hydrokinetic energy conversion systems: a technology status review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2010; 14 (9): 2996–3004.
13. Zanette J, Imbault D, Tourabi A. A design methodology for cross flow water turbines. Renewable Energy 2010; 35: 997–1009.
14. Takmatsu Y, Furukawa A, Okuma K, Takenouchi K. Experimental studies on a preferable blade profile of Darrieus-type cross flow water turbine. JSME International Journal 1991; 34 (2): 149–56.
15. M. Adler and, U. Nicodemus, “A New Computer Model for the Evaluation of Data from Acoustic Doppler Current Profilers (ADCP)”, Phys. Chem. Earth (C), Vol. 26, No. 1&12, pp. 71 I–715, 2001.
16. Thomas H. Yorke, Kevin A. Oberg, “Measuring river velocity and discharge with acoustic Doppler profilers”, Flow Measurement and Instrumentation 13 (2002) 191–195.

17. Dongsu Kim, Marian Muste, “Multi-dimensional representation of river hydrodynamics using ADCP data processing software”, *Environmental Modelling & Software* 38 (2012) 158e166.
18. M. Muste, K. Yu, M. Spasojevic, “Practical aspects of ADCP data use for quantification of mean river flow characteristics; Parts I and II: moving-vessel measurements”, *Flow Measurement and Instrumentation* 15 (2004) 1–16.
19. Toniolo, H., Duvoy, P, Anlesberg, S.V., Johnson, J., “Modelling and field measurements in support of the hydrokinetic resource assessment for the Tanana river at Nenana, Alaska”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, Volume 224, Issue 8, December 2010, Pages 1127–1139.
20. Paul Duvoy, Horacio Toniolo, “HYDROKAL: A module for in-stream hydrokinetic resource assessment”, *Computers & Geosciences*, 39 (2012), 171–181.
21. Gauntlett D. Resource assessment and feasibility study for use of hydrokinetic turbines in the tailwaters of the Priest Rapids Project., University of Washington: Department of Mechanical Engineering; 2011.
22. Briand M, NgK. Kinetic energy recovery turbine technology: resource assessment and site development strategy. *WorldEnergyConference*, Issue 2.1: Energy resources and technologies, today and tomorrow, 13–17 September 2010. Available from: (<http://www.worldenergy.org/documents/congresspapers/441.pdf>) [accessed 10.06.12].
23. Assessment of Canada’s hydrokinetic power potential: Phase I Report – Methodology and data review, 2010., Canadian Hydraulics Centre, National Research Council of Canada, 72 pp.
24. Hall DG, Reeves KS, Brizzee J, Lee RD, Carroll GR, Sommers GL. Feasibility assessment of the water energy resources of the United States for new low power and small hydro classes of hydroelectric plants. U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy – Wind and Hydropower Technologies, January 2006.
25. Assessment and mapping of the riverine hydrokinetic energy resource in the Continental United States, 2012., Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, USA, 80 pp.
26. D. Jakimavičius, B. Gailiūšis, D. Šarauskienė, A. Jurgelėnaitė, D. Meilutytė-Lukauskienė, “Assessment of the riverine hydrokinetic energy resources in Lithuania”, *Baltica*, 27 (2), 141–150. D., 2014., Vilnius.
27. A. N. Gorban, A. M. Gorlov, V. M. Silantyev; Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow; *Journal of Energy Resources Technology*, DECEMBER 2001, Vol. 123.
28. Khan M.J., Iqbal M.T., Quaicoe J.E. A technology review and simulation based performance analysis of river current turbine systems., *IEEECCECE/CCGEI*, Ottawa, Canada, May 2006; p. 2288–2293.
29. F. PONTA, P. JACOVKIS, Marine-current power generation by diffuser-augmented floating hydro-turbines, *Renewable Energy* 33 (2008) 665–673.
30. DAVID L.F. GADEN, ERIC L. BIBEAU; A numerical investigation in to the effect of diffusers on the performance of hydrokinetic turbines using a validated momentum source turbine model; *Renewable Energy*, 35 (2010) 1152–1158.
31. MUKRIMIN S.G.; Evaluation and measures to increase performance coefficient of hydrokinetic turbines; *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 15 (2011) 3669–3675.
32. SHUIE WANG, CHAO XU, PENG YUAN, YINGYING WANG; Hydrodynamic optimization of channeling device for hydroturbine based on lattice Boltzmann method; *Computers and Mathematics with Applications*, 61 (2011) 3722–3729.

33. A.R. MALIPEDDI, D. CHATTERJEE; Influence of duct geometry on the performance of Darrieus hydroturbine; *Renewable Energy*, 43 (2012) 292e300.
34. N. SHIOMI, T. SETOGUCHI, Y. KINOUE, K. KANEKO, Y. OHYA; Development of Two-Way Diffuser for Tidal Energy Conversion System; *Proceedings of The Thirteenth (2003) International Offshore and Polar Engineering Conference*; Honolulu, Hawaii, USA, May 25–30, 2003.
35. SETOGUCHI T, SHIOMO N, KANEKO K.; Development of two-way diffuser for fluid energy conversion system; *Renewable Energy*, 2004; 29: 1757–71 [technicalnote].
36. BETZ A. *Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmuehlen*. Goettingen: Bandenhoeck&Ruprect; 1926.
37. JAMIESON P. Generalized limits for energy extraction in a linear constant velocity flow field. *Wind Energy*, 2008; 11: 445–57.
38. R.D. Montoya Ramírez et al., Technical and financial valuation of hydrokinetic power in the discharge channels of large hydropower plants in Colombia: A case study, *Renewable Energy* 99 (2016) 136e147.
39. Kanzumba Kusakana., Energy management of a grid-connected hydrokinetic system under Time of Use tariff, *Renewable Energy*, Accepted Manuscript.
40. <https://se.mathworks.com/products>.