

Lēmumatbalsta metodes, algoritmi un rīki elektroenerģijas tirgus dalībniekiem



Rīgas Tehniskās universitātes (RTU) Enerģētikas institūta pētnieks Kārlis Baltputnis 2020. gada 12. novembrī aizstāvēja savu promocijas darbu “Lēmumatbalsta metodes, algoritmi un rīki elektroenerģijas tirgus dalībniekiem” (darba zinātniskie vadītāji prof. Antans Sauhats un asoc. prof. Oļegs Linkevičs). Par to gada nogalē tika saņemta Latvijas Zinātņu akadēmijas un AS “Latvenergo” balva jauniešiem par panākumiem enerģētikā. Šajā rakstā sniegts īss ieskats veikto pētījumu tematikā, tās aktualitātē, kā arī gūtajās atziņās.

Aktualitāte

Pēdējos gadu desmitos pasaules enerģosistēmas ir pieredzējušas ievērojamas pārmaiņas, no centralizēti koordinētiem monopoliem attīstot liberalizētus elektroenerģijas tirgus. Uz konkurences principiem balstītie elektroenerģijas vairumtirdzniecības tirgi ir raisījuši vērā ņemamu interesi tādā pētniecībā, ar kuras palīdzību var uzlabot atsevišķu elektroenerģijas ražotāju īstermiņa efektivitāti, kas tiem ir ļoti svarīga, lai iegūtu pārsvaru pār konkurentiem.

Tomēr mūsdienās notiek vēl viena nozīmīga transformācija, aizvien vairāk atjaunīgajiem energoresursiem tiekot integrētiem enerģosistēmās. Tā kā daudzi no šiem resursiem (piemēram, vēja un saules enerģija) ir pārtraukumains dabas, parādās jaunas risināmās problēmas gan no enerģosistēmu operatoru, gan elektroenerģijas tirgus dalībnieku skatpunkta. No vienas puses, ar pārtraukumaino resursu izstrādes prognozēm saistī-

tās nenoteiktības ietekmē elektroenerģijas cenas. Savukārt, no otras puses, šo energoavotu attīstība rada iespējas jaunu pētniecības virzienu izaugsmei, piemēram, enerģijas akumulācijas izmantošanā, elektroenerģijas ražošanas un patēriņa elastīgumā, uzlabotās prognozēšanas metodēs un pilnveidotā enerģijas sistēmu modelēšanā.

Taču elektroenerģijas tirgus mērķis ir nodrošināt tās lietotājiem uzticamu elektroenerģiju par viszemākajām izmaksām. Šajā nolūkā pasākumus var veikt vismaz trīs dažādas dalībnieku grupas. Pirmkārt, mūsdienās elektroenerģijas lietotājiem pašiem ir ievērojami lielākas iespējas ietekmēt savas enerģijas izmaksas, izvēloties sev izdevīgāko elektroenerģijas mazumtirdzniecības un tarifu plānu, veicot energoefektivitātes pasākumus un pat piedaloties dažādās pieprasījuma reakcijas programmās. Otrkārt, elektrostaciju un enerģijas uzglabāšanas iekārtu operatori var palielināt kopējo enerģosistēmas un tirgus efektivitāti, optimizējot savas plānošanas metodes. Visbeidzot, pat

liberalizētā elektroenerģijas tirgū energosistēmu operatori un politikas veidotājiem ir būtiska ietekme uz elektroenerģijas tirgus darbību un to, kādu iespaidu tas atstāj uz galalietotājiem.

Šajā disertācijā iekļautie pētījumi attiecas uz divām minētajām dalībnieku grupām: elektroenerģijas ražošanas un / vai uzglabāšanas operatoriem un politikas veidotājiem. Attiecībā uz pirmo ir piedāvātas un pārbaudītas metodes, algoritmi un riki, kas ļauj optimizēt to dalību elektroenerģijas tirgū, jo īpaši, ņemot vērā īpatnības, kas saistītas ar liela mēroga enerģijas uzkrāšanas tehnoloģijām (režīmu plānošana, energoietilpības izvēle) un hidroelektrostacijām (režīmu plānošana, hidroagregātu izvēle), kā arī siltumenerģijas pieprasījuma prognozēšanu, kas ir priekšnoteikums efektīvai koģenerācijas staciju dalībai elektroenerģijas tirgū. Runājot par pēdējo, t. i., politikas veidotājiem, lēmumu pieņemšanas atbalsts tiek īstenots modelēšanas, novērtēšanas un ieteikumu veidā attiecībā uz lielo koģenerācijas staciju ietekmi uz elektroenerģijas tirgu un no tā izrietošajām iespējām mainīt valsts noteikto atbalstu šim ražotnēm. Kopīga šo tematu iezīme ir mērķis paaugstināt elektroenerģijas tirgus darbības efektivitāti, kaut arī no dažādām perspektīvām.

Jāatzīst, ka pastāv arī daudzas citas aktuālas pētniecības problēmas, kas ir būtiskas, ņemot vērā energosistēmas un tirgus darbībā notiekošās pārmaiņas, kuras varētu un vajadzētu risināt. Cita starpā šie temati ietver elastīguma tirgu izveidi un optimizāciju, lai ieviestu gan inovatīvus sistēmas pakalpojumus (piemēram, tīkla pārslodzes vadībai), gan arī izstrādātu un novērtētu mehānismus elektroenerģijas lietotāju un ražotājlietotāju aktīvai iesaistei energosistēmas balansēšanā. Tas ietver arī efektīvu un taisnīgu stimulu izveidi šiem lietotājiem, lai tādējādi veicinātu ātru un ilgtspējīgu pāreju uz pilnīgu atjaunīgās enerģijas izmantošanu un citu līdzīgu mērķu sasniegšanu. Dažus no šiem tematiem autors risinājis citos pētījumu projektos, kuru rezultāti nav iekļauti šajā disertācijā. Tomēr izraudzītie pētījuma objekti un pētniecības uzdevumi, kas tika skatīti doktora darba ietvaros un attiecīgi iekļauti disertācijā, ir motivēti ar diviem galvenajiem faktoriem. Pirmkārt, autora personīgā interese par tēmu. Tā, piemēram, darbs pie hidroelektrostaciju režīmu plānošanas ir turpinājums pētījumiem, kas sākti maģistra darba izstrādes laikā. Otrkārt, praktiski apsvērumi, pētītās tēmas pielāgojot izpēti projektos un līgumdarbiem, kurus, aktīvi iesaistot autoru, īstenojis Enerģētikas institūts. Tādējādi veikto pētījumu nozīmīgums izriet no zinātnisko projektu finansētāju un nozares pārstāvju izrādītās intereses.

Risinātie uzdevumi

Promocijas darba pētījumu veikšanas laikā tika risināti vairāki uzdevumi, sašņiedzot šādus rezultātus.

Ir izstrādāts dažādiem pielietojumiem piemērots enerģijas akumulācijas stacijas režīmu plānošanas modelis. Uz Nord Pool tirgus Latvijas tirdzniecības apgabala datiem balstīta gadījumu izpēte parāda, ka, lai gan elektroenerģijas tirgus cenu izkliedi esošās lielapjoma enerģijas uzglabāšanas stacijas var efektīvi izmantot, tā ir drīzāk nepietiekama tādu jaunu staciju būvniecībai, kas nodarbotos tikai ar cenu svārstību izmantošanu, un būtu

nepieciešami papildu ieņēmumi no citiem avotiem (piemēram, palīgpakalpojumu sniegšana pārvades sistēmas operatoriem).

Kaskādē esošu hidroelektrostaciju režīmu optimizācijas vairākposmu algoritms ir pilnveidots ar dinamiskās programmēšanas moduli hidroagregātu izvēlei un daudzkritēriju optimizācijas iespēju. Izstrādātais kopējais modelis un to īstenojošais rīks ir piemēroti kā līdzekļi arī turpmāku pētījumu veikšanai.

Elektroenerģijas tirgus cenu ietekmējošo faktoru un koģenerācijas staciju lomas analīze papildina esošo zinātību par valsts atbalsta ietekmi uz tirgu, apliecinot, ka atsevišķos gadījumos šāds atbalsts elektrostacijām var būt labvēlīgs elektroenerģijas galalietotājiem, tomēr arī parādot, ka to ir gan iespējams, gan nepieciešams pārskatīt.

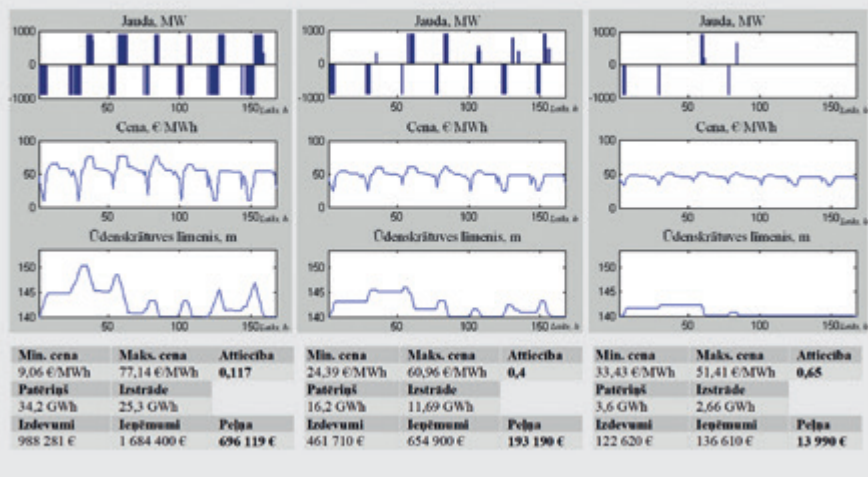
Ir piedāvāts skaitļošanas resursu mazietilpīgs siltumslodzes prognozēšanas algoritms, kas ir īpaši piemērots tādiem pielietojumiem, kuros svarīga ātra rezultātu iegūšana. Turklāt ir testēti un novērtēti dažādi šī modeļa parametri.

Ieskats pētījumos

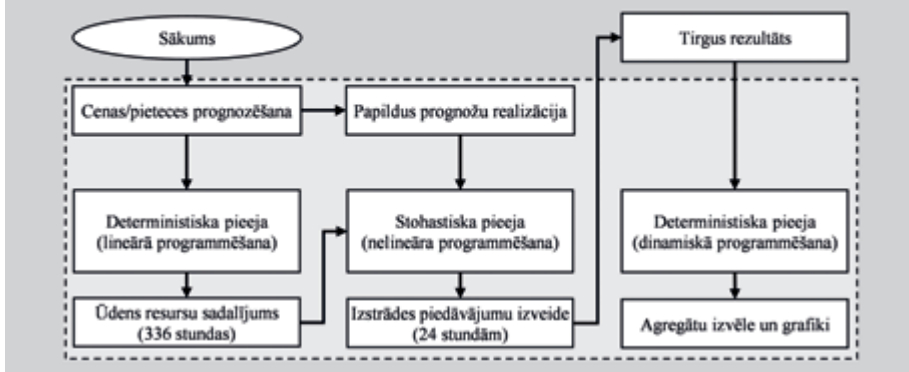
Pētījuma pirmā daļa veltīta elektroenerģijas akumulācijas jautājumiem, tostarp izstrādājot aprēķinu modeli akumulācijas stacijas darbības nākamās dienas tirgū optimizācijai un veicot ar to dažādas gadījumizpēti. Viens aprēķinu piemērs parādīts 1. attēlā. Tajā redzams, kā mainās hidroakumulācijas elektrostacijas (HAES) optimālais izstrādes grafiks pie dažāda rakstura elektroenerģijas tirgus cenas grafikiem. Režīms pa kreisi atbilst reālam cenu piemēram Latvijas un Lietuvas tirdzniecības apgabalos, bet abos pārējos cena ir modificēta, samazinot tās izkliedi, t. i., pieņemot lielāku attiecību starp minimālo un maksimālo cenu.

No attēla var viegli redzēt, ka samazināta cenu izklīde ievērojami pazemina akumulācijas stacijas darbības aktivitāti un līdz ar to, protams, arī tās spēju efektīvi gūt peļņu, izmantojot cenu svārstības. Izstrādātā elektroenerģijas akumulācijas optimizācijas modeļa priekšrocība ir tāda, ka tas izmantojams dažādu veidu akumulācijas staciju optimizācijai, ir tikai nepieciešams zināt to svarīgākos parametrus. Dažādos pētījumos šis modelis ir lietots arī, piemēram, tādām mazizplatītām vai attīstības stadijā esošām tehnoloģijām kā saspiesta gaisa akumulācija vai pilna cikla elektroenerģija–ūdeņradis–elektroenerģija sistēma. Tā kā šādas teorētiskas sistēmas kopējā efektivitāte, sapro-

Pie dažādiem cenu scenārijiem optimizētas HAES darbība (1. attēls)



Kopējā HES optimizācijas modeļa struktūra (2. attēls)



tams, ir salīdzinoši zema, tā nespēj konkurēt ar labi zināmu un plaši izplatīto hidroakumulāciju. Tomēr, attīstoties elektrolīzes un gāzturbīnu tehnoloģijām, nākotnē šāda sistēma var iegūt arī zināmu praktisku jēgu, it īpaši ņemot vērā Eiropā augošo popularitāti idejai par ūdeņraža kā nākotnes enerģesēja lomu.

Cita nozīmīga pētījuma daļa tapusi, piedaloties RTU Enerģētikas institūta komandas darbā, kas veltīts hidroelektrostaciju režīmu optimizācijas uzdevuma risināšanai sadarbībā ar AS "Latvenergo". Rezultātā izveidotā daudzpakāpju modeļa struktūra parādīta 2. attēlā. Tas sastāv no vairākiem apakšmodeļiem, katrā nākamajā solī palielinot aprēķinu precizitāti. Šis modelis ir ļoti noderīgs arī turpmāku pētījumu veikšanai, integrējot tā daļas lielāka mēroga modelēšanas uzdevumos.

Savukārt, pētījums par elektroenerģijas cenu ietekmējošajiem faktoriem un Rīgas termoelektro centrāļu ietekmi uz elektroenerģijas vairumtirgus cenu Latvijā tika veikts Ekonomikas ministrijas uzdevumā 2017. gada sākumā. Arī šī uzdevuma risinājums balstījās uz dažādu aprēķinu moduļu izveidi un apvienošanu. Šajā pētījumā izmantotā modeļa kopējā struktūra parādīta 3. attēlā. Kopā ar kolēģiem secināts, ka šīm lielajām koģenerācijas stacijām ir diezgan izteikta ietekme uz elektroenerģijas nākamās dienas tirgus cenu Latvijas tirdzniecības apgabalā, it sevišķi, ierobežojot īpaši augstu cenu pārmēru biežu iestāšanos tad, kad krietni ierobežota tirdzniecības caurlaides spēja, piemēram, *NordBalt* starpsavienojumā. Tomēr pētījumā arī tika secināts, ka ir iespējams samazināt šīm stacijām izmaksātā valsts atbalsta apjomu.

Koģenerācijas staciju piedāvājumi elektroenerģijas tirgū viskonkurētspējīgākie, protams, ir tad, kad ir pietiekams siltumenerģijas pieprasījums darbībai augsti efektīvā koģenerācijā. Tomēr sekmīgai darbībai tirgū nepieciešamas pēc iespējas precīzākas siltumslodzes prognozes. Šim jautājumam veltīta promocijas darba pēdējā nodaļa, izveidojot prognozēšanas modeli un testējot dažādas tā modifikācijas. Piemērs dažiem

no iegūtajiem rezultātiem dots 4. attēlā (ar KŪ šajā attēlā atzīmēta karstā ūdens komponentes atsevišķa iekļaušana modelī). Tomēr vislabākos prognozēšanas rezultātus varēja iegūt tad, ja modeļa parametru izvēle notiek automātiski.

Gūtās atziņas un secinājumi

Svarīgākās no promocijas darbā gūtajām atziņām ir šādas.

- Elektroenerģijas tirgus apstākļi *Nord Pool* tirgus Latvijas un Lietuvas tirdzniecības apgabalos ir pietiekami, lai varētu rentabli ekspluatēt jau esošās lielapjoma

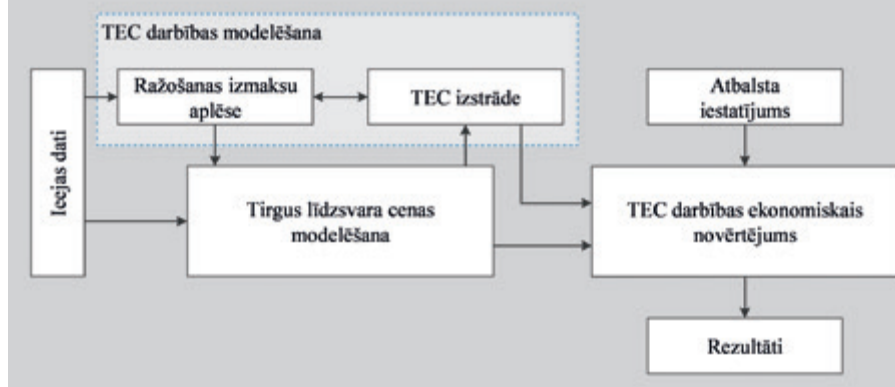
enerģijas akumulācijas iekārtas, bet, lai būtu iespējams būtēt jaunās iekārtas, papildus cenu arbitražai ir jāņem vērā arī citas ieņēmumu plūsmas.

- Tika konstatēts, ka saskaņota vēja elektrostaciju un akumulācijas iekārtu dalība nākamās dienas tirgū ir izdevīga gan vēja enerģijas tirgotājiem, gan akumulācijas staciju operatoriem. Turklāt tas sniedz papildu ieguvumus videi un sabiedrībai, izvairoties no vēja enerģijas ierobežošanas un maksimāli izmantojot pieejamo atjaunīgo enerģiju.

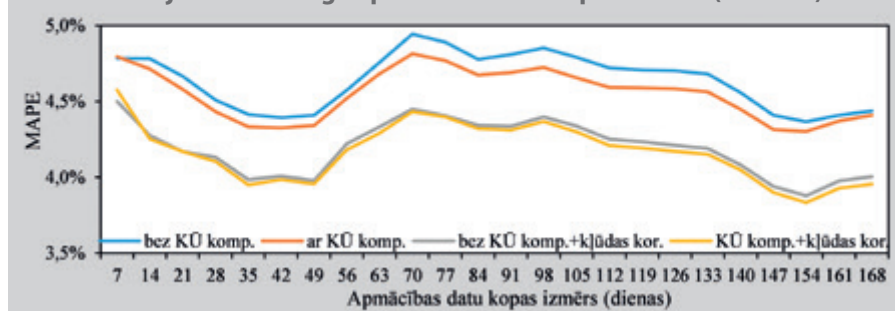
- Tika konstatēts, ka dinamiskā programmēšana ir efektīva pieeja, lai optimizētu hidroelektrostaciju agregātu izvēli. Attiecīgi šāda opcija tika iestrādāta vairākposmu HES režīmu plānošanas optimizācijas modelī.

- Turklāt HES režīmu plānošanas optimizācijas rika funkcionalitāte tika papildināta, lai būtu iespējama daudzkritēri-

TEC ietekmes uz cenu aplēses modeļa kopējā struktūra (3. attēls)



Prognozēšanas precizitāte pie dažādām modeļa modifikācijām un mainīga apmācības datu kopas izmēra (4. attēls)



ju pieeja (konkrētajā gadījumā – spēja ņemt vērā arī agregātu palaišanas skaitu līdztekus galvenajam mērķim peļņas maksimizēšanai).

- Papildus modeļa praktiskai pielietojamībai HES režīmu plānošanā to var izmantot arī pētniecības nolūkos, iekļaujot lielākos energosistēmu modeļos vai, izmantojot dažas modifikācijas, novērtējot rezervju nodrošināšanas iespējas, vēja enerģijas balansēšanu vai ūdens vērtību.

- Rīgas TEC ir ļoti liela nozīme Latvijas energosistēmā attiecībā uz efektīvas elektroenerģijas vairumtirdzniecības tirgus darbības nodrošināšanu, ierobežojot pārmērīgus cenu kāpumus. Tas ir īpaši svarīgi tad, kad ir ierobežota spēja importēt salīdzinoši lētāko elektroenerģiju no Skandināvijas. Tomēr, lai nodrošinātu konkurētspēju, ir nepieciešams pietiekams siltumenerģijas pieprasījums, kas dod iespēju darboties koģenerācijas režīmā.

- Tomēr tirgus situācija šīs analīzes veikšanas laikā nebūtu bijusi labvēlīga rentabīlai koģenerācijas staciju darbībai *Nord Pool* tirgū bez noteikta jaudas maksājumu līmeņa. Taču tika identificētas iespējas samazināt atbalsta apjomu.

- Multiplā regresija ir efektīvs paņēmieni siltumslodzes prognozēšanai. Viena no tās galvenajām priekšrocībām ir nēcīgais skaitļošanas laiks, kas nepieciešams, lai veiktu prognozes, nezaudējot daudz precizitātes ziņā. Turklāt prognozēšanas modeli var uzlabot ar dažiem pārveidojumiem, no kuriem visdaudzsolācākais ir tāds, kurā no prognozes tiek atņemta vidējā modeļa kļūda pa diennakts stundām.

Nedrīkst aizmirst, ka visi pieminētie pētījumi tika veikti ciešā sadarbībā ar Enerģētikas institūta kolēģiem – Romānu Petričenko, Zani Broku, Dmitriju Soboļevski un citiem. Tāpat jāizceļ zinātniskā darba vadītāju prof. A. Sauhata un asoc. prof. O. Linkeviča ieguldījums pētniecības attīstībā.

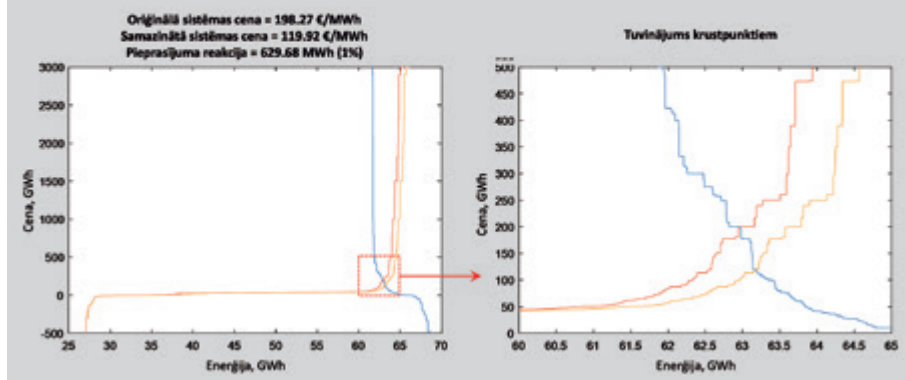
Turpmākie pētījumi

Jāatzīmē, ka promocijas darba pabeigšana un veiksmīga aizstāvēšana nebūtu bijusi iespējama bez valsts pētījumu programmas “Enerģētika” atbalsta. Tās projekta “Inovātas viedo tīklu tehnoloģijas un to attīstība (INGRIDO)” ietvaros turpinās arī vairāku šeit pieminēto pētījumu virzienu tālāka attīstība. Piemēram, notiek tikko pieminētā siltumslodzes prognozēšanas modeļa uzlabošana un testēšana, jo tas ir svarīgs etaps energosistēmas un tās komponentu elastīguma palielināšanas iespēju novērtējumā.

Šajā projektā gan ir arī vairāki citi nozīmīgi izpētes jautājumi. Viens no tādiem, piemēram, ir pieprasījuma reakcijas agregatoru iekļaušanās elektroenerģijas tirgos. Arī tā risināšanā ir nozīmīga dažādu tirgu modelēšana. Tā, piemēram, 5. attēlā parādīts, kā varētu mainīties *Nord Pool* sistēmas cena maksimumcenas stundā, ja nākamās dienas tirgū piedalās agregatori, kuru pieprasījuma samazināšanas spējas apjoms vienāds ar 1% no kopējā enerģijas apjoma tirgū. Sīkāku ieskatu agregatoru jautājumā sniegsim kādā no nākamajiem “Enerģijas un Pasaules” numuriem.

Savukārt, vēl viens nozīmīgs pētījums, pie kura šobrīd notiek aktīvs darbs, ir programmas “Apvārsnis 2020” inovāciju projekts INTERFACE sadarbībā ar 42 partneriem no 16 Eiropas Savie-

Nord Pool sistēmas cenas samazinājums, ja tirgū maksimumcenas laikā piedalās neatkarīgie agregatori ar 1% pieprasījuma reakcijas apjomu (5. attēls)



nības valstīm. No Latvijas projektā iesaistīta arī AS “Augstsprieguma tīkls”. Tajā tiek pilotēti dažādi jauni palīgpakalpojumu veidi (piemēram, pārslodzes vadība), kā arī meklēti risinājumi aktīvākai izkļaidēto elastīguma resursu iesaistei sistēmas palīgpakalpojumu sniegšanā.

Izmantotā literatūra

Vairāk informācijas par promocijas darbību (<https://ortus.rtu.lv/science/lv/publications/31253>) iekļautajiem pētījumiem iespējams atrast zinātniskajās publikācijās:

Baltputnis, K., Sauhats, A., Linkevičs, O., Petričenko, R., Varfolomejeva, R., Broka, Z. Modeling of Water Utilization in Hydroelectric Power Plants on the Daugava River. In: 2015 56th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), Latvia, Riga, 14 October, 2015. Riga: Riga Technical University, 2015, pp. 47–52.

Baltputnis, K., Sauhats, A., Linkevičs, O. Potential for Energy Storage in Latvian and Lithuanian Price Area in the Nord Pool Spot. In: IRES 2016: 10th International Renewable Energy Storage Conference: Proceedings, Germany, Düsseldorf, 15–17 March, 2016. Bonn: Eurosolar, 2016, pp. 1–10.

Sauhats, A., Petričenko, R., Baltputnis, K., Broka, Z., Varfolomejeva, R. A Multi-Objective Stochastic Approach to Hydroelectric Power Generation Scheduling. In: 2016 Power Systems Computation Conference (PSCC 2016), Italy, Genoa, 20–24 June, 2016. Piscataway, NJ: IEEE, 2016, pp. 56–62.

Baltputnis, K., Broka, Z., Sauhats, A., Petričenko, R. Short-Term Optimization of Storage Power Plant Operation under Market Conditions. In: 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC 2016), Italy, Florence, 7–10 June, 2016. Piscataway, NJ: IEEE, 2016, pp. 250–255.

Baltputnis, K., Broka, Z., Sauhats, A. Assessing the Value of Subsidizing Large CHP Plants. In: 2018 15th International Conference on the European Energy Market (EEM 2018), Poland, Lodz, 27–29 June, 2018. Piscataway: IEEE, 2018, pp. 488–492.

Baltputnis, K., Petričenko, R., Soboļevskis, D. Heating Demand Forecasting with Multiple Regression: Model Setup and Case Study. In: 2018 IEEE 6th Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE 2018), Lithuania, Vilnius, 8–10 November, 2018. Piscataway, NJ: IEEE, 2018, pp. 91–95. **E&P**

Kārlis Baltputnis

Šo pētījumu līdzfinansē Latvijas Republikas Ekonomikas ministrija, projekts “Inovātas viedo tīklu tehnoloģijas un to optimizācija (INGRIDO)”, projekta Nr. VPP-EM-IN-FRA-2018/1-0006.