

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Ginta CIMDIŅA
Vides zinātnes programmas doktorante

**ENERĢIJAS RAŽOŠANAS MĒROGOŠANA:
NO ENERGOAVOTA LĪDZ VALSTS LĪMENIM**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
profesore *Dr. habil. sc. ing.*
DAGNIJA BLUMBERGA

RTU Izdevniecība
Rīga 2016

Cimdiņa G. Enerģijas ražošanas mērogošana: no energoavota līdz valsts līmenim. Promocijas darba kopsavilkums. – R.: RTU Izdevniecība, 2016. – 40 lpp.

Iespiests saskaņā ar Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta 2016. gada 5. janvāra lēmumu, protokols Nr. 2.

ISBN 978-9934-10-792-4

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU
DOKTORA GRĀDA VIDES ZINĀTNĒ IEGŪŠANAI
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda (*Dr. sc. ing.*) vides zinātnē iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2016. gada plkst Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 115. telpā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Dr. hab. chem. doktors Māris Kļaviņš,
Latvijas Universitāte

Dr. sc. ing. Edgars Vīgants,
Rīgas Tehniskā universitāte

Dr. sc. ing. Andres Siirde,
Tallinas Tehnoloģiju universitāte

APSTIPRINĀJUMS

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

Ginta Cimdiņa..... (Paraksts)

Datums

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 26 zīmējumi un ilustrācijas, piecas tabulas, 169 lappuses un 13 pielikumu. Promocijas darba literatūras sarakstā ir 62 nosaukumi.

SATURA RĀDĪTĀJS

Promocijas darba aktualitāte.....	6
Promocijas darba mērķis un uzdevumi.....	6
Promocijas darba hipotēze.....	6
Pētniecības metode.....	6
Promocijas darba zinātniskā novitāte.....	7
Promocijas darba praktiskā nozīme.....	8
Promocijas darba struktūra un apraksts.....	8
Promocijas darba pārskats: enerģijas ražošanas mērogošana — no energoavota līdz valsts līmenim.....	9
Īss izmantoto risinājumu apraksts.....	9
Kombinētā siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošanas stacija kā pētījuma joma.....	10
Centralizētās siltumapgādes tīkls kā pētījuma joma.....	11
Pašvaldības enerģētikas plāns kā pētījuma joma.....	12
Zemu oglekļa emisiju stratēģija kā pētījuma joma.....	12
Izmantotās literatūras pārskats.....	13
Aprobācija.....	13
Prezentācijas starptautiskajās zinātniskajās konferencēs.....	13
Publikācijas.....	15
1. PĒTĪJUMA METODIKA.....	17
1.1. Koģenerācijas stacija kā pētījuma joma.....	17
1.1.1. Enerģijas analīze.....	17
1.1.2. Ekserģijas analīze.....	17
1.1.3. Emerģijas analīze.....	17
1.1.4. Korelācijas analīze.....	17
1.1.5. Regresijas analīze.....	18
1.2. Centralizētās siltumapgādes tīkls kā pētījuma joma.....	18
1.2.1. Multikritēriju analīzes novērtējuma metodika.....	18
1.2.2. Alternatīvo darbības režīmu modelis.....	19
1.2.3. Vispārīgais centralizētās siltumapgādes sistēmas modelis.....	19
1.3. Pašvaldības enerģētikas plāns kā pētījuma joma.....	19
1.3.1. Laika rindu prognozēšanas metode.....	20
1.3.2. Klimata pārmaiņu indikatora aprēķināšana.....	20
1.4. Zemu oglekļa emisiju stratēģija kā pētījuma joma.....	20
1.4.1. Scenāriju vērtēšanas algoritms.....	20
1.4.2. Sistēmas arhetips «Uzmanības novēršana».....	21
1.4.3. Četru soļu pārvaldības sistēma.....	22
1.4.4. Zaļās enerģijas stratēģijas metodika.....	22
2. PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN TO ANALĪZE.....	23
2.1. Kombinētā siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošanas stacija kā pētījuma joma.....	23
2.1.1. Enerģijas un ekserģijas analīzes rezultāti.....	23
2.1.2. Emerģijas analīzes rezultāti.....	24
2.1.3. Korelācijas analīzes rezultāti.....	26

2.1.4. Regresijas analīzes rezultāti	27
2.2. Centralizētās siltumapgādes tīkls kā pētījuma joma	28
2.2.1. Multikritēriju lēmumu analīzes rezultāti	28
2.2.2. Alternatīvas ražošanas slodzes moduļa piemērošanas rezultāti	29
2.2.3. Centralizētās siltumapgādes sistēmas tipveida modeļa izmantošanas rezultāti	29
2.3. Pašvaldības enerģētikas plāns kā pētījuma joma	30
2.3.1. Laika rindu analīzes rezultāti	30
2.3.2. Klimata pārmaiņu indikatora aprēķinu rezultāti	31
2.4. Zema oglekļa emisijas līmeņa stratēģija	32
2.4.1. Scenāriju vērtēšanas algoritma rezultāti	32
2.4.2. «Uzmanības novēršanas» arhetipa rezultāti	33
2.4.3. Četru soļu pārvaldības sistēmas piemērošanas rezultāti	33
2.5. Zaļās enerģijas stratēģijas rezultāti	34
Secinājumi	36
Kombinētā siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošana	36
Centralizētais siltumapgādes tīkls	37
Pašvaldības enerģētikas plāns	38
Zema oglekļa dioksīda emisiju stratēģija	39

Promocijas darba aktualitāte

Enerģijas izmantošana ir vitāli svarīgs mūsdienu un nākotnes sabiedrības strukturālais elements. Ilgtspējīgas attīstības nodrošināšanas kontekstā enerģijas sistēmas ir vienlīdz nozīmīgs komponents ūdens pieejamībai un pārtikas drošībai.

Enerģijas sistēmas pamatā ir dažādi elementi, kuru izejas punkts ir spēkstacija. Šie elementi ir savienoti ar enerģijas sadales tīkliem, kas ir reģionālo enerģētikas plānu daļa, kas saplūstot savukārt veido valsts enerģētikas sektoru.

Lai sasniegtu valsts enerģētikas sektora efektivitāti un ilgtspēju, ikvienam sistēmas elementam ikvienā darbības brīdī ir jāfunkcionē maksimāli lietderīgi. Izstrādātais pētījums ir balstīts uz mērogošanas (*scaling-up*) risinājumu piemērošanu kā veidu maksimālās efektivitātes nodrošināšanai un iespējamo risinājumu izvērtēšanai.

Izmantotās pieejas pamatā ir četru darbības segmentu izpēte: spēkstacija, enerģijas sadales tīkls, reģionālais (pašvaldības) enerģētikas plāns un zema enerģijas patēriņa stratēģija.

Promocijas darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir pārnest un aprobēt mērogošanas (*scaling-up*) metodikas piemērošanu no vienas spēkstacijas līdz valsts enerģētikas sektora mērogam.

Izvirzītā mērķa sasniegšanai ir noteikti šādi uzdevumi:

1. veikt kombinētās siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošanas stacijas izpēti, izmantojot enerģijas, ekserģijas, emerģijas, regresijas un korelācijas metodes;
2. veikt centralizētās siltumapgādes tīkla izpēti, izmantojot multikritēriju analīzes novērtējuma metodi, un modelēt centralizētās siltumapgādes tīkla nākotnes attīstības scenārijus;
3. veikt pašvaldību enerģētikas plānu izpēti, izmantojot laika rindu prognozēšanas metodi un klimata pārmaiņu indikatoru;
4. pētīt zemu oglekļa emisiju stratēģiju, izmantojot «uzmanības novēršanas» arhetipu, un piedāvāt metodiku zemu oglekļa emisiju stratēģijas izveidošanai.

Promocijas darba hipotēze

Zemu oglekļa emisiju stratēģijas sasniegšanai ir nepieciešams izmantot mērogošanas metodiku, nodrošinot, ka ikviens enerģētikas sistēmas elements konkrētajā laika posmā funkcionē ar maksimālu efektivitāti.

Pētniecības metode

Hipotēzes pārbaudei izmantotas pētniecības metodes dotas 1. attēlā.



1. attēls. Izmantotā metodika inovatīvas prakses mērogošanai (*scaling-up*) enerģētikas sektorā, izmantojot četrus darbības segmentus

Sākuma punkts mērogošanas stratēģijas piemērošanai ir kombinētā siltumenerģijas un elektroenerģijas spēkstacija un tās darbība; nākamais solis ir centralizētās siltumapgādes tīkls, kam seko pašvaldības enerģētikas plāns, visbeidzot novedot pie zemu oglekļa emisiju stratēģijas.

Ikvienu no darbā aprakstītajām metodēm tika piemērota konkrētai darbības jomai, tomēr tas neizslēdz atsevišķu metožu piemērošanu arī citos sistēmas līmeņos.

Lai gan izstrādātā stratēģija primāri ir paredzēta energosistēmām un enerģētikas sektoram, jānorāda, ka tās izmantošana nav ierobežota un izstrādātais risinājums var tikt piemērots arī citās tautsaimniecības nozarēs. Piedāvātais risinājums ir vienlīdz piemērojams gan zinātniskās izpētes mērķiem, gan politikas izstrādes procesiem.

Promocijas darba zinātniskā novitāte

Promocijas darba autore, izmantojot mērogošanas metodiku, ir izstrādājusi kompleksu pētījumu par zemu oglekļa emisiju sabiedrības sasniegšanas iespējām enerģētikas sektorā. Darba zinātniskā novitāte ir balstīta uz dažādos vadības līmeņos piemēroto metodiku daudzveidību kopīga mērķa — zemu oglekļa emisiju sabiedrības — sasniegšanai.

Balstoties uz darba autores zināšanām, mērogošanas metodika, šī darba ietvaros, tiek pirmo reizi izmantota visos energosistēmas līmeņos — no vienas spēkstacijas līdz valsts enerģētikas sektoram kopumā. Metodikas novitāte ir balstīta uz tās izmantošanu četru atsevišķu darbības segmentu pētīšanā: kombinētā siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošanas stacija, centralizētās siltumapgādes tīkls, pašvaldības enerģētikas plāns un zemu oglekļa emisiju stratēģija. Promocijas darbā apskatītas vairākas metodikas, kas var tikt piemērotas attiecībā uz katru no definētajiem segmentiem, lai ilustrētu izmantoto mērogošanas stratēģiju.

Mērogošanas ietvaros darbā tiek demonstrēts 14 dažādu, enerģētikas sektorā izmantojamo, metodiku pielietojums. Sākotnēji tiek izveidota un aprakstīta pati mērogošanas metodika, kam seko pētījuma segmentu apraksts ar pārējo darbā ietvertu metožu palīdzību: 1) kombinētās siltumenerģijas un elektroenerģijas spēkstacijas darbība tiek pētīta, izmantojot enerģijas, ekserģijas, emerģijas, regresijas un korelācijas

metodes; 2) centralizētais siltumapgādes tīkls tiek apskatīts ar multikritēriju analīzes novērtējuma metodes un nākotnes attīstības scenāriju modelēšanas palīdzību; 3) pašvaldības enerģētikas plāna izpēti tiek veikta, izmantojot laika rindu prognozēšanas metodi un klimata pārmaiņu indikatoru; 4) zemu oglekļa emisiju stratēģija tiek pētīta, izmantojot «uzmanības novēršanas» arhetipu un izstrādātos algoritmus zemu oglekļa emisiju stratēģijas sasniegšanai. Piedāvātā metodika ir validēta dažādu problēmsituāciju risināšanai Latvijas Republikā un tiek prezentēta šajā promocijas darbā.

Promocijas darba praktiskā nozīme

Pētniecības darbs energosistēmu jomā ir vitāli svarīgs, lai nodrošinātu operatīvu pāreju uz zema enerģijas patēriņa sabiedrību. Piedāvātajam mērogošanas risinājumam ir plašas izmantošanas iespējas, sākot no lokāla līmeņa beidzot ar valsts energosistēmas mērogu.

Izstrādātais pētījums nodrošina nelielā mērogā izstrādātu un pārbaudītu veiksmīgu, inovatīvus risinājumus pārnesi plašākā mērogā, tādējādi radot inovatīvu risinājumu mērogošanas efektu.

Promocijas darbā apskatīto darbības jomu kontekstā kombinēto siltumenerģijas un elektroenerģijas spēkstaciju operatoriem tiek sniegtas iespējas izzināt risinājumus enerģijas ražošanas efektivitātes palielināšanai, un izmantot matemātiskus modeļus, kas ļauj identificēt tos darbības aspektus, kuros ir iespējami uzlabojumi. Centralizētās siltumapgādes tīklu operatori un īpašnieki var modelēt dažādus attīstības scenārijus un pārveidot lēmuma pieņemšanas procesu. Pašvaldībām tiek piedāvāti prognozēšanas instrumenti un aprēķinu metode klimata pārmaiņu samazināšanas potenciāla izvērtēšanai, izmantojot dažādas alternatīvas. Visbeidzot, valsts pārvaldes darbinieki var izmantot «uzmanības novēršanas» arhetipu un dažādus algoritmus iespējamo kavējošo faktoru identificēšanai un noteiktā mērķa — zemu oglekļa emisiju sabiedrības — sasniegšanai.

Piedāvātais risinājums primāri var tikt izmantots energosistēmām un enerģētikas sektoram, tomēr netiek izslēgta tā izmantošana arī citās tautsaimniecības nozarēs. Turklāt piedāvātā metodika ir piemērota gan zinātniskās izpētes mērķiem, gan politikas izstrādes procesiem.

Promocijas darba struktūra un apraksts

Promocijas darba pamatā ir 13 tematiski vienotas zinātniskās publikācijas, kas ir publicētas dažādos zinātniskajos žurnālos, ir pieejamas zinātniskajās informācijas krātuvēs un ietvertas starptautiskās datubāzēs. Šo publikāciju mērķis ir pārnest un aprobēt mērogošanas (*scaling-up*) metodikā izmantoto struktūru no vienas spēkstacijas valsts energosistēmas līmenī.

Promocijas darbam ir ievads un trīs nodaļas.

1. Literatūras pārskats.
2. Pētījumā izmantotā metodika.
3. Pētījuma rezultāti un to izvērtējums.

Darba ievads definē tā mērķi un uzdevumus, apraksta darba struktūru un sniedz īsu pārskatu par promocijas darba aprobāciju (publikācijas un līdzdalība starptautiskajās zinātniskajās konferencēs).

Pirmā nodaļa izklāsta pētījumos risinātos jautājumus attiecībā uz katru no četriem definētajiem pētījuma segmentiem. Otrā nodaļa apraksta metodiku, kas tiek izmantota mērogošanas struktūrā, savukārt izvēlēto metožu izmantošanas rezultāti ir apkopoti darba trešajā nodaļā. Iegūtie secinājumi ir apkopoti darba noslēgumā.

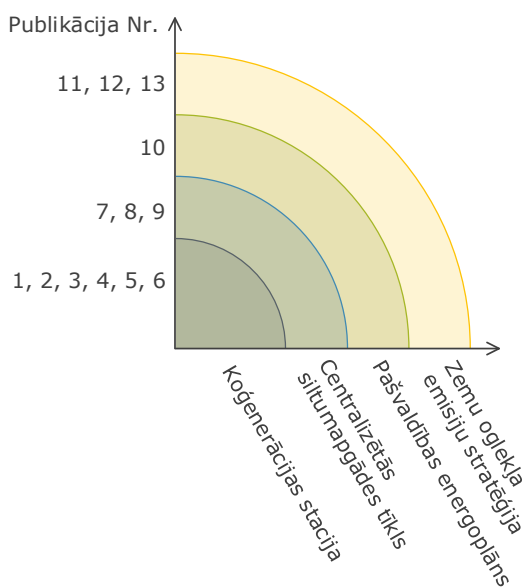
Promocijas darba pārskats: enerģijas ražošanas mērogošana — no energoavota līdz valsts līmenim

Īss izmantoto risinājumu apraksts

Eiropas Savienības centieni mazināt klimata pārmaiņu ietekmi ir vērsti divos virzienos: atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšana un energoefektivitātes uzlabošana. Izvēlētie virzieni ir skaidri pamanāmi arī enerģijas ražošanas sistēmās.

Promocijas darbā energosistēmas tiek apskatītas no mērogošanas perspektīvas, sākotnēji piemērojot siltumenerģijas ražošanas stacijām vietējā mērogā, pārejot sadales tīkla, pašvaldības un visbeidzot valsts energosistēmas līmenī, skat. 2. attēlu.

Neskatoties uz to, ka pētītos segmentus vieno kopīgs mērķis — zema oglekļa dioksīda emisijas līmeņa stratēģija, katrs no šiem segmentiem pilda konkrētu funkciju un tiek pētīts, izmantojot tam visatbilstošāko metodiku. Tomēr jāatceras, ka šie elementi ir savstarpēji saistīti, tāpēc neatbilstoša vienas komponentes darbība atstās ietekmi uz visu sistēmu kopumā.



2. attēls. Publikācijas par mērogošanas metodiku (pilns publikācijas nosaukums atbilst 1. tabulā norādītajai numerācijai)

1. tabula. Darbā izmantotās zinātniskās publikācijas, kas izstrādātas, lai pētītu mērogošanas struktūras piemērošanu no vienas spēkstacijas valsts enerģētikas sektora mērogā.

Pētījuma joma	Nr.	Publikācijas nosaukums
Kombinētā siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošanas stacija	1	Biomases koģenerācijas ilgtspējīga attīstība Latvijā.
	2	Biomases koģenerācijas stacijas efektivitātes modelēšana.
	3	Koksnes kurināmā koģenerācijas stacijas enerģijas un ekserģijas analīze. Gadījuma izpēte.
	4	Enerģijas ražošanas enerģijas analīzes apskats.
	5	Biomases koģenerācijas stacijas enerģijas analīze. Gadījuma izpēte.
	6	Koksnes kurināmā koģenerācijas stacijas darbības analīze.
Centralizētās siltumapgādes tīkls	7	Atjaunojamo enerģijas avotu ilgtspējīga attīstība. Biomases koģenerācijas stacija.
	8	Centralizētās siltumapgādes sistēmas attīstīšana — koģenerācija pret galalietotāja energoefektivitāti.
	9	Latvijas centralizētās siltumapgādes sistēmas loma ilgtspējīgas enerģijas piegādes nodrošināšanā.
Pašvaldības enerģētikas plāns	10	Koksnes kurināmā izmantošanas pilnveidošana Rīgā.
Zema oglekļa dioksīda emisijas stratēģija	11	Bioenerģijas attīstības potenciāls Latvijā: nākotnes tendenču izvērtējums.
	12	Atkarība no dabasgāzes un koksnes enerģijas loma mūsdienu un nākotnes Latvijā.
	13	Latvijas Zaļās enerģijas stratēģija 2050. gadam: virzība uz zema oglekļa dioksīda emisijas līmeņa sabiedrību.

Promocijas darbā autore izmanto atsauces uz minētajām 13 publikācijām atbilstoši 1. tabulā ietvertajai numerācijai, attiecīgi: Nr. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 un 13.

Koģenerācijas stacija kā pētījuma joma

Īstermiņā spēkstaciju ilgtspējīgas izmantošanas nodrošināšanai fosilo kurināmo var nomainīt pret biomasu. Šobrīd bioenerģijas izmantošanas īpatsvars pasaulē ir aptuveni 10 % no kopējām primārās enerģijas piegādēm, kas paredz ievērojamu potenciālu bioresursu izmantošanas palielināšanai¹.

Ilgttermiņā klimata mērķu sasniegšana ir ilgtspējīgu enerģijas ražošanas sistēmu attīstīšanā, kas nozīmē koģenerācijas vai kombinētās elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanas veicināšanu. Tā kā Baltijas jūras reģionā ir augsts

¹ Haberl H, Beringer T, Bhattacharya S. C, Erb K. H, Hoogwijk M. The global technical potential of bio-energy in 2050 considering sustainability constraints, *Curr Opin Environ Sustain*, 2010; 2(5–6): 394–403.

koģenerācijas potenciāls², publikācija Nr. 1 pēta biomasas koģenerācijas spēkstaciju ilgtspējīgu attīstību Latvijas Republikā.

Tomēr iecerētā mērķa sasniegšanai ar koģenerācijas spēkstaciju izbūvi un atjaunojamo energoresursu izmantošanu būs par maz — darbības rādītāju analīze ir vēl viens būtisks faktors. Publikācijā Nr. 2 ar kvantitatīvo vienādojumu palīdzību tiek analizēti būtiski biomasas koģenerācijas stacijas darbības rādītāji. Biomasas koģenerācijas stacijas var tikt izvērtētas, izmantojot indikatorus. Konvencionālās enerģijas un masas plūsmas novērtēšanas metodes un ekonomiskā analīze nenodrošina pilnvērtīgu novērtējumu. Šajā gadījumā enerģijas un enerģijas analīze varētu kalpot kā integrāla novērtējuma metode³, tādēļ publikācija Nr. 3 piedāvā koģenerācijas stacijas ekserģijas analīzi, kas demonstrē būtiskus ekserģijas destrukcijas punktus un var tikt izmantota darbības uzlabošanai. Biomasas koģenerācijas stacijas enerģijas analīze ir dota publikācijā Nr. 4 un gadījuma izpētes rezultāti ir doti publikācijā Nr. 5.

Elektroenerģijas tirgus liberalizācijas apstākļos elektroenerģijas cena ir laikā atkarīgs lielums, radot spēkstacijai ekonomiski izdevīgu piedāvājumu ar nosacījumu, ka spēkstacija spēj nodrošināt dinamisku darbību, ģenerējot mainīgu elektroenerģijas apjomu⁴. Izrietoši, publikācija Nr. 6 analizē biomasas koģenerācijas stacijas darbību dinamiskos tirgus apstākļos.

Centralizētās siltumapgādes tīkls kā pētījuma joma

Pāreja no atsevišķa, lokāla mēroga augstas efektivitātes un ilgtspējīga enerģijas piegādes risinājuma uz piegādes nodrošināšanu pašvaldības mērogā var būt saistīta ar dažādu izaicinājumu pārvarēšanu. Pirmkārt, ir jāizdara izvēle starp dažāda izmēra un jaudas koģenerācijas stacijām. Otrkārt, ir jānosaka investīciju prioritātes, t. i., vai ieguldījums energoefektivitātē veicams spēkstacijas, sadales tīkla vai enerģijas galapatērētāju līmenī. Šajā kontekstā nepieciešama arī analīze biomasas koģenerācijas risinājumu integrācijai centralizētās siltumapgādes sistēmā.

Atbilstoša izmēra un jaudas koģenerācijas stacijas problemātika centralizētās siltumapgādes sistēmas kontekstā ir apskatīta vairākos pētījumos. Publikācija Nr. 7 apskata divas radikāli pretējas pieejas koģenerācijas stacijā uzstādītās jaudas izvēlei: 1) atbilstība centralizētās siltumapgādes sistēmas bāzes slodzei; 2) atbilstība centralizētās siltumapgādes sistēmas optimālajai gada siltumslodzei.

Turklāt energoresursu efektīva izmantošana spēkstacijās ir cieši saistīta ar gala enerģijas patēriņu. Ievērojot, ka energoefektivitātes pasākumu ieviešana rada enerģijas pieprasījuma samazinājuma, ir nepieciešama spēkstaciju (jo īpaši centralizētās siltumapgādes gadījumā) reorganizācija, ņemot vērā slodzes sadales pārvietošanu un atjaunojamo energoresursu integrāciju⁵. Tādējādi publikācijas Nr. 8 mērķis ir atrast optimālo risinājumu gadījumā, kad siltumslodze centralizētajā siltumapgādes tīklā samazinās.

² Çakir U, Çomakli K, Yüksel F. The role of cogeneration systems in sustainability of energy, *Energ Convers Manage*, 2012; 63: 196–202.

³ Brown M. T, Ulgiati S. Emergy analysis and environmental accounting, *Ency Energy*, 2004: 329–354.

⁴ Mitra S, Sun L, Grossmann I.E. Optimal scheduling of industrial combined heat and power plants under time-sensitive electricity prices, *Energy*, 2013; 54: 194–211.

⁵ Gładysz P, Ziębik A. Complex analysis of the optimal coefficient of the share of cogeneration in district heating systems, *Energy*, 2013; 62: 12–22.

Biomasa īpatsvara pieaugums centralizētās siltumapgādes sistēmās būtu viens no ekonomiski optimāliem īstermiņa risinājumiem valsts enerģijas bilances nosvēršanai par labu atjaunojamo energoresursu izmantošanai, lai gan ilgtermiņā nepieciešams apsvērt neregulāro atjaunojamās enerģijas tehnoloģiju integrāciju plašākā mērogā. Tomēr jāņem vērā, ka ilgtermiņa risinājums prasa elastīgus patērētājus, kas spēj pielāgot enerģijas patēriņu enerģijas piegādēm no šiem avotiem. Centralizētās siltumapgādes sistēmas zināmā mērā spēj kalpot kā elastīgs patērētājs un piedāvāt risinājumus situācijās, kad atjaunojamo energoresursu piegādes un pieprasījums nav līdzsvarā, tāpēc publikācijas Nr. 9 mērķis ir noteikt apmēru, kādā centralizētā siltumapgādes sistēma spēj darboties kā elastīgs patērētājs Latvijas energosistēmā.

Pašvaldības energoplāns kā pētījuma joma

Gadījumā, ja enerģijas ieguvei tiek izmantota biomasas, visbiežāk resursu ilgtspējība ir viens no apsveramo jautājumu sarakstā ietvertajiem uzdevumiem. Meži klāj aptuveni 50 % Latvijas teritorijas. Laikā, kad kopējais koksnes krājas apjoms veido aptuveni 631 miljonus m³, vidējais mežistrādes apjoms gadā ir 12 milj. kubikmetru⁶. Saskaņā ar Dubrovskā⁷ pētījumu, Latvijā pieejamais biomasas potenciāls ir aptuveni 25–30 TWh gadā, un ikgadējais ciršanas apjoms atbilst ilgtspējīgas attīstības pamatprincipiem. Jāatzīmē, ka biomasas cena Latvijā ir aptuveni divas reizes zemāka nekā dabasgāzes cena. Neskatoties uz minētajiem faktoriem, Latvija nav atrodama valstu ar augstu biomasas īpatsvaru enerģijas bilancē sarakstā.

Šis fakts ļauj secināt, ka spēkstaciju operatori un centralizētās siltumapgādes tīkli paši nespēj nodrošināt pienācīgu un operatīvu nozares pāreju uz ilgtspējīgu risinājumu piemērošanu. Sākotnējā attīstības posmā pašvaldības atbalstam ir vitāli svarīga loma. Tādēļ, publikācija Nr. 10 analizē koksnes kurināmā izmantošanu Rīgas pašvaldības centralizētajā siltumapgādes sistēmā. Pētījums sniedz prognozes par koksnes kurināmā īpatsvaru pašvaldības siltumenerģijas bilancē. Veiktā pētījuma pamatā ir hipotēze, ka līdz 2020. gadam 25 % Rīgas pašvaldības kopējā siltumenerģijas patēriņa nodrošinās biomasas.

Zemu oglekļa emisiju stratēģija kā pētījuma joma

Lai definētu Latvijas nacionālo virzienu pārejai uz zemu oglekļa emisiju stratēģiju, ir nepieciešams noteikt dažādu izmantojamo resursu potenciālu. Ievērojot šo nepieciešamību, publikācijas Nr. 11 mērķis ir izstrādāt risinājumus Latvijas pārejai uz zemu oglekļa emisiju stratēģiju, identificējot dažādu resursu potenciālu. Šī stratēģija tiek apskatīta no tehnoloģiskajiem, vides un ekonomiskajiem aspektiem.

Pāreja no fosilā kurināmā uz atjaunojamās enerģijas ekonomiku ir sarežģīts process, kam nepieciešama ilgtermiņa attīstības stratēģija un pārdomāti ieviešanas mehānismi. Publikācija Nr. 12 ir veltīta Latvijas atkarības no fosilā kurināmā importa ierobežošanas stratēģiju analīzei kopsakarā ar ES vadošo dalībvalstu pieaugošo vēlni padarīt enerģijas ieguves sektoru videi draudzīgāku.

⁶ CSB, Latvijas Centrālās statistikas pārvaldes datubāze.

⁷ Dubrovskis D. Meža resursi Latvijā, Latvijas zaļās enerģijas 5. forums, 2011. gada 7. septembris, Rīga, Latvija

Pašlaik Zviedrija⁸ un Dānija⁹ ir noteikušas mērķi: 100 % enerģijas ieguve no atjaunojamajiem enerģijas avotiem līdz 2050. gadam. Ir veikti vairāki pētījumi arī par pāreju uz 100 % atjaunojamajiem enerģijas avotiem pašvaldību un pilsētu līmenī. Lai gan gadījumu izpētes rezultātā nav iegūta vienota metodika, veiktie pētījumi piedāvā nākotnes energosistēmu vīziju, kas paredz iespēju samazināt fosilo kurināmo patēriņu. Izrietoši, publikācija Nr. 13 piedāvā metodiku Latvijas zaļās enerģijas stratēģijas 2050 izstrādei.

Izmantotās literatūras pārskats

Balstoties uz veikto literatūras avotu izvērtējumu, iespējams secināt, ka, lai virzītos uz zemu oglekļa emisiju sabiedrību, nepieciešams, lai sistēmas komponentes — pašvaldība, centralizētās siltumapgādes tīkls un spēkstacija — funkcionētu vienota mērķa sasniegšanai. Tādēļ, promocijas darbs apskata mērogošanas risinājumu piemērošanu valsts enerģijas sektorā. Balstoties uz autores zināšanām, šis ir pirmais šāda veida pētījums enerģētikas nozarē. Promocijas darba centrālais uzdevums ir piedāvāt dažādas metodikas, kas ir izmantojamas dažādās mērogošanas risinājumu piemērošanas jomās.

Aprobācija

Promocijas darba rezultāti ir prezentēti 10 starptautiskajās zinātniskajās konferencēs, (seši *SCOPUS* datubāzē un seši *ISI Web of Science* datubāzē) ir publicēti 14 pilna teksta rakstu (10 *SCOPUS* datubāzē un deviņi *ISI Web of Science* datubāzē) un divu kopsavilkumu veidā starptautiskos zinātniskos žurnālos un konferenču materiālos.

Prezentācijas starptautiskajās zinātniskajās konferencēs

1. Cimdiņa G., Prodanuks T., Veidenbergs I., Blumberga D. Sustainable Development of Biomass CHP in Latvia // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2015, 2015. gada 14.–16. oktobris, Rīga, Latvija.
2. Prodanuks T., Cimdiņa G., Veidenbergs I., Blumberga D., Kārkliņa K., Baranenko D. Emery Analysis of Biomass CHP. Case Study // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2015, 2015. gada 14.–16. oktobris, Rīga, Latvija.
3. Kārkliņa K., Cimdiņa G., Veidenbergs I., Blumberga D. Energy and Exergy Analysis of Wood-Based CHP. Case study // International Scientific Conference

⁸ Joelsson J, Gustavsson L. Swedish biomass strategies to reduce CO₂ emission and oil use in an EU context, *Energy*, 2012; 43: 448–468.

⁹ Parajuli R. Looking into the Danish energy system: Lesson to be learned by other communities, *Renew Sustain Energy Rev*, 2012; 16: 2191–2199.

- of Environmental and Climate Technologies CONECT 2015, 2015. gada 14.–16. oktobris, Rīga, Latvija.
4. Cimdiņa G., Prodanuks T., Veidenbergs I., Blumberga D. Review-Based Energy Analysis of Energy Production // Environment. Technology. Resources: Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference, 2015. gada 18.–20. jūnijs Rēzekne, Latvija.
 5. Cimdiņa G., Blumberga D., Veidenbergs I. Analysis of Wood Fuel CHP Operational Experience // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2014, 2014. gada 14.–16. oktobris, Rīga, Latvija.
 6. Cimdiņa G., Blumberga D., Veidenbergs I. Why Wood Fuel CHP is a Sustainable Solution. Analysis of Operation Experience // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2014, 2014. gada 14.–16. oktobris, Rīga, Latvija.
 7. Blumberga D., Cimdiņa G., Timma L., Blumberga A., Rošā M. Green Energy Strategy 2050 for Latvia: a Pathway Towards a Low Carbon Society // 17th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2014, 2014. gada 23.–27. augusts, Prāga, Čehija.
 8. Cimdiņa G., Slisane Dz., Ziemele J., Vītoliņš V., Vigants G., Blumberga D. Sustainable Development of Renewable Energy Resources. Biomass Cogeneration Plant // The 9th International Conference «Environmental Engineering», 2014. gada 22.–23. maijs, Viļņa, Lietuva.
 9. Cimdiņa G., Veidenbergs I., Kamenders A., Ziemele J., Pakere I., Blumberga A., Blumberga D. Modelling of Biomass Cogeneration Plant Efficiency // 5th International Conference «Biosystems Engineering 2014», 2014. gada 8.–9. maijs, Tartu, Igaunija.
 10. Ziemele J., Pakere I., Talcis N., Cimdiņa G., Vigants G., Veidenbergs I., Blumberga D. Analysis of Wood Fuel Use Development in Riga // 5th International Conference «Biosystems Engineering 2014», 2014. gada 8.–9. maijs, Tartu, Igaunija.
 11. Cimdiņa G., Blumberga A., Veidenbergs I., Blumberga D., Barisa A. The Natural Gas Addiction and Wood Energy Role in Latvia Today and Future // Recent Advances in Mechanics, Fluids, Heat, Elasticity and Electromagnetic Fields: the 2013 International Conference on Mechanics, Fluids, Heat, Elasticity and Electromagnetic Fields (MFHEEF 2013), 2013. gada 28.–30. septembris, Venēcija, Itālija.

12. Barisa A., Cimdiņa G., Romagnoli F., Blumberga D. Potential for Bioenergy Development in Latvia: Future Trend Analysis // 4th International Conference «Biosystems Engineering 2013», 2013. gada 9.–10. maijs, Tartu, Igaunija.
13. Cimdiņa G., Blumberga D. Jelgavas biomasas koģenerācijas stacijas siltumnīcefekta gāzu samazinājuma prognoze // Latvijas Universitātes 71. zinātniskā konference «Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne.», 2013. gada 1. februāris, Rīga, Latvija.
14. Blumberga D., Bazbauers G., Blumberga A., Cimdiņa G., Rochas C.. Development of District Heating Systems – Cogeneration versus Energy Efficiency of End User // The 13th International Symposium on District Heating and Cooling, 2012. gada 3.–4. septembris, Kopenhāgena Dānija.

Publikācijas

1. Cimdiņa G., Prodanuks T., Veidenbergs I., Blumberga D. Sustainable Development of Biomass CHP in Latvia // Energy Procedia (ISSN: 1876-6102) – 2016. gads, *Article in Press*.
2. Prodanuks T., Cimdiņa G., Veidenbergs I., Blumberga D., Karklina K., Baranenko D. Energy Analysis of Biomass CHP. Case Study // Energy Procedia (ISSN: 1876-6102) – 2016. gads, *Article in Press*.
3. Kārklīņa K., Cimdiņa G., Veidenbergs I., Blumberga D. Energy and Exergy Analysis of Wood-Based CHP. Case study // Energy Procedia (ISSN: 1876-6102) – 2016. gads, *Article in Press*.
4. Cimdiņa G., Timma L., Veidenbergs I., Blumberga D. Methodologies Used for Scaling-up from a Single Energy Production Unit to State Energy Sector // Environmental and Climate Technologies (ISSN 1691-5208) – 2015 – 15. sējums – lpp. 5-21. doi:10.1515/rtuect-2015-0002.
5. Cimdiņa G., Prodanuks T., Veidenbergs I., Blumberga D. Review-Based Energy Analysis of Energy Production // Environment. Technology. Resources: Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference (ISSN: 2256-070X) – 2015 – 2. sējums – lpp. 85–90.
6. Cimdiņa G., Blumberga D., Veidenbergs I. Analysis of Wood Fuel CHP Operational Experience // Energy Procedia (ISSN: 1876-6102) – 2015 – 72. sējums – lpp. 263–269. DOI:10.1016/j.egypro.2015.06.038.
7. Cimdiņa G., Blumberga D., Veidenbergs I. Why Wood Fuel CHP is a Sustainable Solution. Analysis of Operation Experience // Abstract Book of the Riga Technical University 55th International Scientific Conference: Subsection: Environmental and Climate Technologies (ISBN: 978-9934-10-612-5) – 2014 – lpp. 63–64.

8. Blumberga D., Cimdiņa G., Timma L., Blumberga A., Rošā M. Green Energy Strategy 2050 for Latvia: a Pathway Towards a Low Carbon Society // Chemical Engineering Transactions (ISSN 2283-9216) – 2014 – 39. sējums – lpp. 1507-1512. DOI: 10.3303/CET1439252.
9. Cimdiņa G., Slisane Dz., Ziemele J., Vītoliņš V., Vigants G., Blumberga D. Sustainable Development of Renewable Energy Resources. Biomass Cogeneration Plant // Proceedings of the 9th International Conference «Environmental Engineering» (eISSN 2029-7092; eISBN 978-609-457-640-9) – 2014 – rakstu krājums: vide 2014. 256 – lpp. 1–7. DOI: 10.3846/enviro.2014.256.
10. Cimdiņa G., Veidenbergs I., Kamenders A., Ziemele J., Pakere I., Blumberga A., Blumberga D. Modelling of Biomass Cogeneration Plant Efficiency // Agronomy Research (ISSN: 1406894X) – 2014 – 12. sējums 2. daļa – lpp. 455–468.
11. Ziemele J., Pakere I., Talcis N., Cimdiņa G., Vīgants G., Veidenbergs I., Blumberga D. Analysis of Wood Fuel Use Development in Rīga // Agronomy Research (ISSN: 1406894X) – 2014 – 12. sējums 2. daļa – lpp. 645–654.
12. Cimdiņa G., Blumberga A., Veidenbergs I., Blumberga D., Barisa A. The Natural Gas Addiction and Wood Energy Role in Latvia Today and Future // Proceedings of the 2013 International Conference on Mechanics, Fluids, Heat, Elasticity and Electromagnetic Fields (MFHEEF 2013) (ISBN: 978-1618-04-209-5) – 2013 – lpp. 147–152. 2014. gada 14.–16. oktobris, Rīga, Latvija.
13. Barisa A., Cimdiņa G., Romagnoli F., Blumberga D. Potential for Bioenergy Development in Latvia: Future Trend Analysis // Agronomy Research (ISSN: 1406894X) – 2013 – 11. sējums 2. daļa – lpp. 275–282.
14. Cimdiņa G., Blumberga D. Jelgavas biomasas koģenerācijas stacijas siltumnīcefekta gāzu samazinājuma prognoze // Referātu tēzes, Latvijas Universitātes 71. zinātniskā konference «Ģeogrāfija. Ģeoloģija. Vides zinātne.», (ISBN: 978-9984-45-650-8) – 2013 – lpp. 67–69.
15. Blumberga D., Bazbauers G., Blumberga A., Cimdiņa G., Rochas C. Development of District Heating Systems – Cogeneration versus Energy Efficiency of End User // Proceedings of the 13th International Symposium on District Heating and Cooling – 2012 – lpp. 17–24.
16. Bazbauers G., Cimdiņa G. The Role of the Latvian District Heating System in the Development of Sustainable Energy Supply // Environmental and Climate Technologies (ISSN 1691-5208) – 2011 – 7. sējums – lpp. 27–31. DOI: 10.2478/v10145-011-0024-0

1. PĒTĪJUMA METODIKA

1.1. Koģenerācijas stacija kā pētījuma joma

Darbā tiek piedāvāta metodika koģenerācijas stacijas dažādu indikatīvo vērtību iegūšanai, kam seko statistiskās analīzes modelis – regresijas un korelācijas analīze.

1.1.1. Enerģijas analīze

Enerģijas analīze tiek izmantota enerģijas pārveidošanas lietderības koeficienta novērtēšanai. Analīzes galvenais mērķis ir iegūt informāciju par dažādu spēkstacijas komponentu efektivitāti un zudumiem pie dažādiem darbības režīmiem. Iegūtā informācija var tikt izmantota, lai identificētu neoptimālus darbības režīmus un veiktu uzlabojumus. Detalizētākam izklāstam skat. publikāciju Nr. 1 un Nr. 3, kur tiek izmantota šī metodika.

1.1.2. Ekserģijas analīze

Ekserģijas analīze parāda ekserģijas degradācijas punktus sistēmā un ļauj veikt enerģijas kvalitātes izmaiņu kvantitatīvo novērtējumu. Ekserģijas analīzes galvenais mērķis ir identificēt koģenerācijas stacijas darbības «bremzējošos elementus» un veikt iespējamus uzlabojumus ekserģijas degradācijas samazināšanai. Detalizētākam izklāstam skat. publikāciju Nr. 1 un Nr. 3, kurā tiek izmantota šī metodika.

1.1.3. Emerģijas analīze

Emerģija ir noteikta veida enerģijas (ekserģijas) pieejamība, kas tiek tieši vai netieši izlietota transformācijās produkta vai pakalpojuma iegūšanai. Sistēmas analīzes mērķim un salīdzinošajai analīzei ar citām sistēmām tiek izmantoti vairāki emerģijas raksturlielumi: emerģijas ilgtspējas indekss, vides ilgtspējas indekss, emerģijas atdeves koeficients un vides slodzes koeficients. Detalizētākam izklāstam skat. publikāciju Nr. 4 un Nr. 5.

Emerģijas analīze ir attīstības stadijā, tāpēc ierobežotā datu pieejamība dažādām plūsmām var būt par iemeslu metodes ierobežotajam pielietojuma un rezultātu nenoteiktībai. Neskatoties uz augstāk minēto, emerģijas analīze ir konkurētspējīgs instruments sistēmas veiktspējas novērtējuma komplekso rādītāju kontekstā.

1.1.4. Korelācijas analīze

Korelācijas analīzes mērķis ir noteikt sakarības ciešumu starp atkarīgo mainīgo lielumu un analizēto neatkarīgo mainīgo lielumu, kas raksturo koģenerācijas stacijas darbību. Vienfaktora matemātiskā modeļa gadījumā aprēķiniem tiek izmantots Pīrsona (*Pearson*) vienādojums, skat. vienādojums (1.). Sīkāku informāciju par šīs metodikas izmantošanu skat. publikācijā Nr. 2.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^h \frac{[n_i - G(n_i)]^2}{G(n_i)} = \sum_{i=1}^h \frac{[n_i - ng_i]^2}{ng_i} \quad (1.)$$

Atbilstoši Pīrsona kritēriālam vērtēšanai X^2 ir novēroto lielumu kvadrātiskā novirze no sagaidāmās vērtības, $G(n_i)$, kur $i = 1, 2, \dots, h$, kas salīdzināta ar sagaidāmo vērtību apgriezto lielumu, kur n_i ir elementu skaits un g_i ir novērojumu parametri.

Regresijas vienādojums tika pārbaudīts, izmantojot šādus rādītājus: autokorelācija, multikolinearitāte un heteroskedasticitēte.

Korelācijas analīzes rezultāti var tikt turpmāk izmantoti kā informatīvais pamats citām metodikām.

1.1.5. Regresijas analīze

Regresijas analīze skaidro stohastiskās saiknes nozīmi, izmantojot funkcionālas sakarības. Regresijas analīzes izmantošanas mērķis ir iegūt empīrisku vienādojumu, kas piedāvā koģenerācijas stacijā izmantotā konkrēta kurināmā patēriņa izmaiņu kvantitatīvu aprakstu atkarībā no statistiski nozīmīgiem spēkstacijas darbības rādītājiem, kā rezultātā iegūtais vienādojums kalpotu par pamatu koģenerācijas stacijas konkrēta kurināmā veida patēriņa prognozēšanai un novērtēšanai. Sīkāku informāciju par konkrētās metodikas izmantošanu skat. publikācijā Nr. 2.

Regresijas vienādojuma piemērotības novērtējums tiek veikts ar dispersijas analīzes palīdzību, izmantojot Fišera kritēriju.

1.2. Centralizētās siltumapgādes tīkls kā pētījuma joma

Tiek piedāvāta metodika alternatīvo risinājumu salīdzināšanai, kam seko alternatīvo darbības režīmu modelis un centralizētās siltumapgādes modelis, kurā integrēta atjaunojamo energoresursu izmantošana.

1.2.1. Multikritēriju analīzes novērtējuma metodika

Šī metodika tika izstrādāta, lai ļautu salīdzināt dažādus alternatīvos risinājumus, kuros tiek analizēta primāro energoresursu izmantošanas efektivitāte. Multikritēriju analīzē tiek izmantoti šādi kritēriji: energoefektivitāte, darbības izmaksas, ieguldījumu izmaksas, slodzes koeficients. Sīkāku informāciju par metodikas izmantošanu skat. publikācijā Nr. 7.

Ierosinātā metodika balstās uz *TOPSIS* (primaritātes kārtības metode pēc līdzības ideālajam risinājumam) modeli. Lai izmantotu *TOPSIS* analīzi, nepieciešama datu sakārtošana — lēmuma pieņemšanas matricas normalizētās un svērtās matricas formā, skat. vienādojuma matricu (2.).

$$\begin{matrix}
 & w_1 b_1 & w_2 b_2 & \dots & w_j b_j & \dots & w_n b_n \\
 A_1 & \left[\begin{matrix} w_1 b_{11}^k & w_2 b_{12}^k & \dots & w_j b_{1j}^k & \dots & w_n b_{1n}^k \\
 A_2 & w_1 b_{21}^k & w_2 b_{22}^k & \dots & w_j b_{2j}^k & \dots & w_n b_{2n}^k \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\
 A_i & w_1 b_{i1}^k & w_2 b_{i2}^k & \dots & w_j b_{ij}^k & \dots & w_n b_{in}^k \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \dots & \vdots \\
 A_n & w_1 b_{n1}^k & w_2 b_{n2}^k & \dots & w_j b_{nj}^k & \dots & w_n b_{nm}^k \end{matrix} \right. & (2.)
 \end{matrix}$$

Vērtēšanas kritēriji n ir doti kā x_j un m alternatīvas kā A_i . Normalizētie dati tiek svērti, reizinot datus ar kritērija svēro vērtību w_j .

Pēc normalizācijas tiek definēti pozitīvie un negatīvie ideālie risinājumi, kam seko katras alternatīvas atdalīšanas vērtības no vispārējiem pozitīvajiem un negatīvajiem ideālajiem risinājumiem aprēķins. Pēdējais aprēķinu solis ir alternatīvu izvērtējums.

1.2.2. Alternatīvo darbības režīmu modelis

Siltumapgādes sistēmu ilgtspējīga attīstība ir atkarīga no darbības režīmu pilnveidošanas, kas paredz nepieciešamību analizēt situāciju, kurā siltumenerģijas patēriņš tiek samazināts energoefektivitātes pasākumu ieviešanas vai klimata pārmaiņu rezultātā. Tādēļ, koģenerācijas stacijas alternatīvo darbības režīmu modelis tiek piedāvāts, paredzot spēkstacijas slodzes samazināšanos.

Izstrādātajā modelī tiek pieņemts, ka siltumslodzi nākotnē nodrošinās konkurējošās spēkstacijas un šo spēkstaciju darbību noteiks trīs tehniskie parametri: koģenerācijas stacijas elektroenerģijas un siltumenerģijas izstrādes attiecības koeficients, efektivitāte un atjaunojamo energoresursu īpatsvars enerģijas bilanci. Nepieciešams šos trīs parametru vērtības paaugstināt visa gada garumā. Sīkāku informāciju par konkrētās metodikas izmantošanu skat. publikācijā Nr. 8.

Visas alternatīvas ir pamatotas no ekonomikas, vides un klimata pārmaiņu aspektu viedokļa un atbilst pamatprasībām, t. i., darbībai koģenerācijas režīmā.

1.2.3. Vispārīgais centralizētās siltumapgādes sistēmas modelis

Ilgspējīga centralizētās siltumapgādes sistēma nozīmē pieaugošu atjaunojamo energoresursu integrāciju sistēmā. Tomēr jāatceras, ka tādiem atjaunojamajiem enerģijas avotiem kā vēja un saules enerģija ir neregulāras dabas raksturs, tādēļ nepieciešams risināt saistītos optimizācijas jautājumus.

Šīs modelēšanas problēmas risināšanai tika izmantots Alborgas Universitātes, Dānijā izstrādātais energosistēmas analīzes modelis «*Energy PLAN*». Izstrādātā vispārīgā modeļa mērķis ir pētīt centralizētās siltumapgādes sistēmas nozīmi ilgtspējīgāku energosistēmu attīstīšanā, jo īpaši integrējot vēja spēkstacijas. Sīkāku informāciju par konkrētās metodikas izmantošanu skat. publikācijā Nr. 9.

Modelis paredz laika kavējumu pirms lieljaudas vēja spēkstaciju pievienošanas energosistēmai un energoefektivitātes pasākumu rezultātā — centralizētās siltumapgādes patēriņa samazinājumu. Pretēja tendence sagaidāma attiecībā uz elektroenerģijas patēriņu — vienlaikus ar ekonomikas izaugsmi, visdrīzāk, pieaugs arī elektroenerģijas patēriņš. Modelī tiek apskatīta arī siltumenerģijas akumulācijas loma, t. i., vēja spēkstacijās iegūtās elektroenerģijas pārpalikuma akumulācija siltumenerģijas formā izmantojot siltumsūkņiem un papildus koģenerācijas stacijas jaudas izmantošana, aizstājot kondensācijas režīmu gadījumā, ja šāda iespēja rodas.

1.3. Pašvaldības energoplāns kā pētījuma joma

Darbs apskata laika rindu prognozēšanas metodi un klimata pārmaiņu indikatoru metodikas izmantošanu pašvaldības energoplāna līmenī.

1.3.1. Laika rindu prognozēšanas metode

Lai izteiktu prognozes ar laika rindu modeļu palīdzību, tika izmantots *ARIMA* modelis. Izvēlētais periods — 1 mēnesis, sezonālitate — 12 mēneši. Modelis tika izmantots siltumenerģijas apjoma prognozēšanai pašvaldības līmenī. Sīkāku informāciju par izmantoto metodiku skat. publikācijā Nr. 10.

Izmantotais modelis vispārīgi var tikt izteikts kā autoregresīvs operators β , kas darbojas datu vērtības laika indeksā. Izmantojot šo operatoru, modelis iegūst vienādojumā (3.) norādīto formu:

$$\begin{aligned} & (1 - \beta - \beta^2 - \dots - \beta^p)(1 - \beta^s - \beta^{2s} - \dots - \beta^{ps}) \cdot \\ & \cdot (1 - \beta)^d (1 - \beta^s)^D (Y_{t-\mu}) = \quad , \\ & = (1 - \beta - \beta^2 - \dots - \beta^q)(1 - \beta^s - \beta^{2s} - \dots - \beta^{qs}) \alpha_t \end{aligned} \quad (3.)$$

kur a_t ir gadījuma kļūda vai trieciens sistēmai laikā t un μ atspoguļo procesa vidējo lielumu nemainīgām sērijām. Prognožu modeļa testēšanai tiek piedāvāts izmantot atlikumu autokorelācijas funkciju ar ticamības intervālu 95 %, kur atlikumu autokorelācija pie laika nobīdes k mēra korelācijas ciešumu starp atlikumiem k intervāla attālumā. Laika nobīdes k autokorelācija tiek aprēķināta, izmantojot šādu vienādojumu (4.):

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (e_t - \bar{e})(e_{t+k} - \bar{e})}{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}, \quad (4.)$$

kur t ir laika periods, e_t ir viens periods «uz priekšu» prognozētajam, n ir izlases apjoms (novērojumu skaits, kas tiek izmantots, lai iegūtu modeli) $t + k$ ir prognozēšanas laiks.

1.3.2. Klimata pārmaiņu indikatora aprēķināšana

Tiek ierosināta novērsto siltumnīcas efekta gāzu emisiju indikatora (t CO₂ gadā) izmantošana modelī. Sīkāku informāciju par metodikas izmantošanu skat. publikācijā Nr. 10.

1.4. Zemu oglekļa emisiju stratēģija kā pētījuma joma

Tiek izmantoti: scenāriju vērtēšanas algoritms, “uzmanības novēršanas” arhetips, četru soļu pārvaldības sistēmas pieeja un zaļās enerģijas stratēģijas metodika.

1.4.1. Scenāriju vērtēšanas algoritms

Lai definētu Latvijas nacionālo virzienu zemu oglekļa emisiju sabiedrības sasniegšanai, tika modelēts dažādu resursu potenciāls. Novērtējuma pamatā ir vēsturiskie dati, zinātniskā literatūra un indikatori. Vērtējums tika balstīts uz tehnoloģiskajiem, ekonomiskajiem un vides aspektiem. Sīkāku informāciju par šīs metodikas izmantošanu skat. publikācijā Nr. 11.

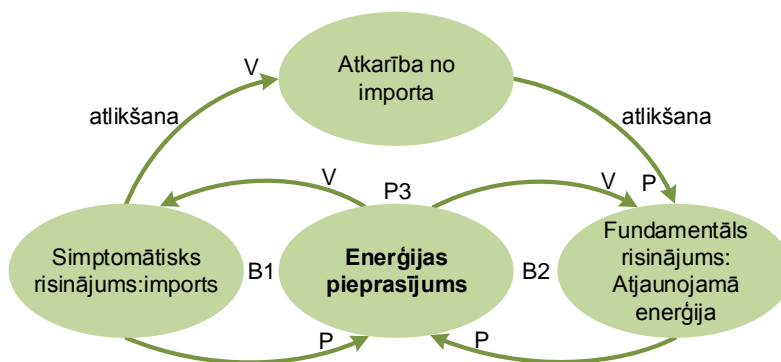
Algoritma pirmajā solī tiek noteikta aktuālā biomasas pieejamība enerģijas ražošanai reģionā. Šādi aprēķini tiek veikti, balstoties uz aktuālajiem zemes izmantošanas, biomasas ieguves, mežistrādes un lauksaimniecības atlikumu pieejamības datiem un nākotnes tendencēm.

Nākamajā posmā tiek noteikts katra scenārija tehnoloģiskais potenciāls, ņemot vērā pieejamās biomasas pārveides tehnoloģijas un pieprasījumu pēc enerģijas. Lai nonāktu pie labākā iespējamā scenārija, tiek veikts no biomasas iegūtās enerģijas un no dabasgāzes iegūtās enerģijas tarifu salīdzinājums; šādam scenārijam ir jābūt savietojamam ar nacionālajā atjaunojamo energoresursu stratēģijā definētajiem mērķiem.

1.4.2. Sistēmas arhetips «Uzmanības novēršana»

Ir grūti izvērtēt ilgtermiņa mērķus, ja nākas saskarties ar īstermiņa problēmu — enerģijas patēriņa pieaugumu. Kārdinājums atrisināt šo problēmu, izmantojot vienkāršāko risinājumu — importēt lielāku enerģijas apjomu, ir liels. Jo vairāk uzmanības tiek pievērsts īstermiņa risinājumam, jo mazāk pūļu tiek veltīts ilgtermiņa mērķu sasniegšanai — atjaunojamo energoresursu izmantošanai.

Šo problēmu no sistēmiskās domāšanas aspekta ir aprakstījis Sendžs (*Senge*)¹⁰, izmantojot «Uzmanības novēršanas» arhetipu. Sistēmas arhetipa shematiska ilustrācija ir piedāvāta tālāk redzamajā 3. attēlā.



3. attēls. Sistēmas arhetips «Uzmanības novēršana» (P — pretēji vērsti procesi, V — vienā virzienā vērsti process, B1, B2, P3 — balansējošās cilpas)

Izmantotais arhetips atspoguļo enerģētikas sektora atkarības un īstermiņa plānošanas ietekmi uz enerģijas sektorā pastāvošo situāciju ilgtermiņā. Sistēmas arhetipa pamatideja ir: gadījumā, ja kaut reizi tiek izmantots simptomātisks vai īstermiņa risinājums, fundamentāla vai ilgtermiņa risinājuma ieviešana tiek atlikta. Sīkāku informāciju par metodikas izmantošanu skat. publikācijā Nr. 12.

Īstermiņa risinājuma, kas kavē ilgtermiņa risinājuma ieviešanu, ilustrēšanai tiek piedāvāta situācija, kas paredz tūlītēju nepieciešamību renovēt pašvaldības centralizētās siltumapgādes tīklu, un šāda renovācija tiek īstenota nekavējoties,

¹⁰ Senge P. The Fifth Discipline. The Art and Practice of the Learning Organization, *Doubleday Business 1st Ed.*, 1990; 432.

neapsverot papildu ieguldījumus un to, ka vienlaicīga pāreja uz atjaunojamo energoresursu izmantošanu ilgtermiņā sniegtu labākus rezultātus, lai gan radītu pašvaldībai augstākus finanšu un tehniskos ieguldījumus īstermiņā.

1.4.3. Četru soļu pārvaldības sistēma

Lai realizētu tautsaimniecības pāreju no fosilo uz atjaunojamo enerģijas avotu izmantošanu, ir nepieciešams definēt virzienus, mērķus un šādas pārejas pamatā esošos principus.

Modulis Nr. 1. Kurss un virzieni — nosaka veidu, kā sasniegt valsts apņemšanos un identificēt prioritāros sektorus.

- Kurss 1: Pāreja uz energoefektīvāku patēriņu un atjaunojamo energoresursu izmantošanu.
- Kurss 2: Jaunu risinājumu integrēšana enerģētikas sektorā un transporta sistēmā.
- Kurss 3: Izpēte, attīstība, demonstrēšana.

Modulis Nr. 2. Principi — sastāv no ekonomikas, vides, klimata sociālekonomiskajiem un vadības aspektiem. Šie principi ietver īstenoto pasākumu rentabilitāti, ietekmes uz valsts finansējumu samazināšanu, konkurētspējas atjaunošanu, pielāgošanās spēju, pilnvērtīgu starptautiskās sadarbības izmantošanu, energoapgādes drošumu nodrošināšanu, siltumapgādes centralizācijas principa atbalstīšanu, energosistēmas pielāgotiesspēju, tirgus modeli, biznesa modeli, pakāpenisku pieeju, ilgtspējīgas attīstības modeli, līmeņatzīmes modeli un novērtēšanas modeli.

Modulis Nr. 3. Aprēķini — moduļa pamatā ir tehnoloģiju apguves un izmaksu līknes, kas apkopo un izceļ nepieciešamību pēc elastīgas stratēģijas, kas piedāvā tehnoloģiskās attīstības iespējas. Ar enerģijas piegādes drošību un klimata pārmaiņu ietekmi saistītās problēmas var tikt risinātas dažādos veidos.

Modulis Nr. 4. Scenārija izvēle — to ietekmē vairāki faktori: dažādu atjaunojamo energoresursu īpatsvars, tehnoloģiskie parametri, ekonomiskie rādītāji u.tml. Laika posmā līdz 2020. gadam galvenajam uzsvaram ir jābūt liktam uz pilnvērtīgāku biomasas izmantošanu, neignorējot vēja enerģijas izmantošanu pēc 2020. gada un saules enerģijas izmantošanu primāri daudzdzīvokļu namos, lai nodrošinātu karstā ūdens apgādi. Sīkāku informāciju par izmantoto metodiku skat. publikācijā Nr. 12.

1.4.4. Zaļās enerģijas stratēģijas metodika

Šīs metodikas pamatā ir pastāvošās situācijas un enerģijas pieprasījuma analīze, lai noteiktu enerģijas ražošanas un patēriņa potenciālu. Sīkāku informāciju par izmantoto metodiku skat. publikācijā Nr. 13.

Piedāvātā stratēģija aptver vismaz trīs paralēlos virzienus: (1) pāreja uz energoefektīvu patēriņu un atjaunojamo energoresursu izmantošanu; (2) jaunu risinājumu integrēšana enerģētikas sektorā un transporta sistēmā; (3) zaļās enerģijas piegādes sistēmu attīstīšana ar izpētes un demonstrēšanas palīdzību.

2. PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN TO ANALĪZE

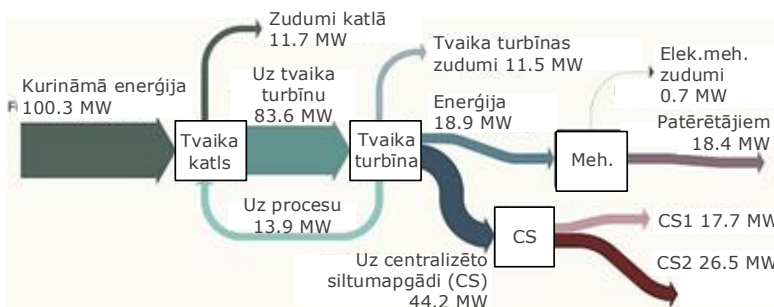
Šī nodaļa apkopo mērogošanas metodikas piemērošanas rezultātus koģenerācijas stacijas, centralizētās siltumapgādes tīkla, pašvaldības enerģētikas plāna un zemu oglekļa emisiju stratēģijas mērogā.

2.1. Koģenerācijas stacija kā pētījuma joma

Tiek sniegti enerģijas, ekserģijas un emerģijas analīzes rezultāti, kam seko koģenerācijas stacijas korelācijas un regresijas analīze.

2.1.1. Enerģijas un ekserģijas analīzes rezultāti

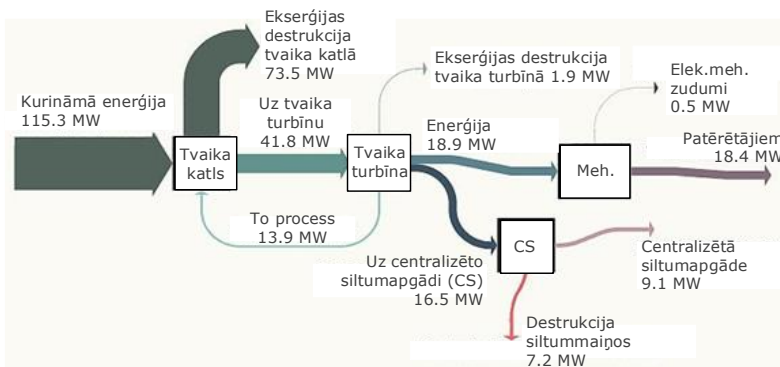
Lai novērtētu koģenerācijas stacijas procesu neapgriežamību, tika izmantotas enerģijas un ekserģijas analīzes metodes. Detalizēta enerģijas zudumu ilustrācija dota Sankeja (*Sankey*) diagrammā, skat. 4. attēlu.



4. attēls. Sankeja (*Sankey*) diagramma enerģijas plūsmām koģenerācijas stacijā

Iegūtā Sankeja diagramma ilustrē koģenerācijas stacijas efektivitāti un zudumus. Detalizēta ekserģijas zudumu ilustrācija ir dota Grasmāna (*Grassmann*) diagrammā, skat. 5. attēlu. Ekserģijas analīzes rezultāti uzrāda, ka 64 % no procesu neapgriežamības notiek tvaika katlā. Salīdzinot enerģijas un ekserģijas analīzes rezultātus iegūst, ka enerģijas zudumi tvaika katlā, kas ir saistīti ar siltuma zudumiem ar dūmgāzēm un citiem zudumiem kurtuvē, ir pielīdzināmi zudumiem tvaika turbīnā (4. attēls), bet to vērtības ir relatīvi mazas salīdzinot ekserģijas destruktiju (5. attēls).

Atbilstoši iegūtajiem rezultātiem koģenerācijas stacijas ergo-efektivitāte ir 62 % un ekserģētiskā efektivitāte 24 %. Šī atšķirība ir izskaidrojama ar to, ka pievadītās enerģijas un ekserģijas vērtības ir līdzīgas (pievadīta tiek augstvērtīga enerģija), savukārt izejas plūsmai, kas sastāv no saražotās siltumenerģijas un elektroenerģijas, ir atšķirīgas ekserģētiskās īpašības, kas rada atšķirīgus rezultātus Sīkaku informāciju skat. publikācijā Nr. 1 un Nr. 3. Iegūtie rezultāti var tikt izmantoti turpmāk, lai identificētu darbību «bremzējošos» faktorus un veiktu uzlabojumus.



5. attēls. Grasmana (*Grassmann*) diagramma ekserģijas plūsmām koģenerācijas stacijā

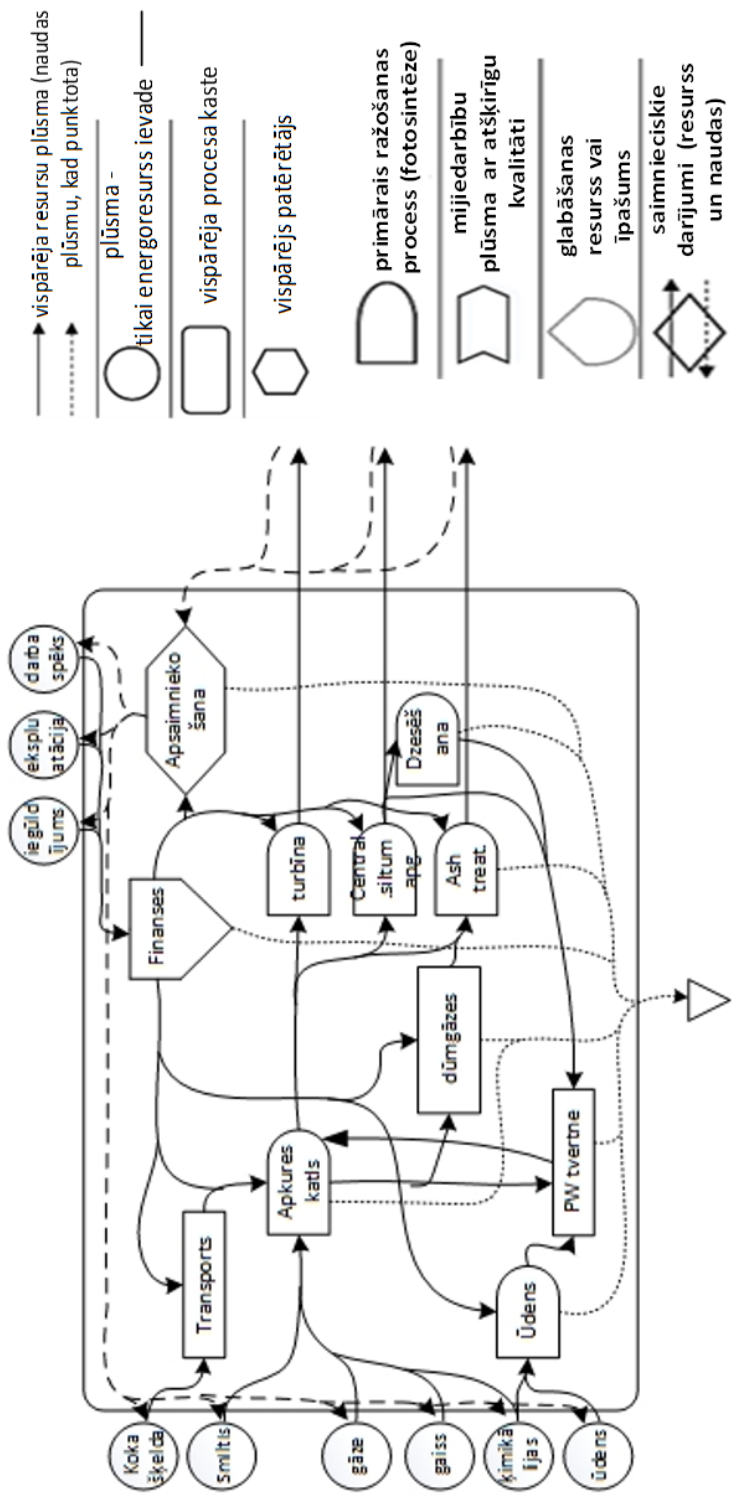
2.1.2. Emerģijas analīzes rezultāti

Kā jau norādīts paragrāfā 2.1.1, iegūtie enerģijas un ekserģijas analīzes rezultāti ir atšķirīgi, tādēļ ka tiek iegūtas atšķirīgas izejas plūsmas (siltumenerģija vai elektroenerģija); tomēr šādu atšķirību pamatā var būt arī dažādu ražošanas procesu un tehnoloģiju salīdzināšana. Lai veiktā analīze būtu pilnvērtīgāka, tika izmantota emerģijas analīze. Publikācija Nr. 4 piedāvā koģenerācijas stacijas emerģijas analīzes vispārīgo struktūru, savukārt publikācija Nr. 5 apraksta biomasas koģenerācijas stacijas gadījuma izpēti. Vispirms tika izveidota koģenerācijas stacijas emerģijas plūsmas diagramma, skat. 6. attēlu. Ārpus četrstūra (skat. 6. attēlu) ir norādītas visas ieejošās plūsmas, četrstūra iekšpusē atspoguļotas visas sistēmas komponentes un to savstarpējās plūsmas, kam seko, trīs ar melnām bultām iezīmētas, izejas plūsmas: elektroenerģija, siltumenerģija un pelni. Pēc tam pētītās sistēmas emerģijas rādītāji tika apkopoti tabulā ar mērķi savienot visas sistēmas komponentes un izmantot iegūtās vērtības turpmākajai analīzei, skat. 2. tabulu.

2. tabula. Emerģijas rādītāju salīdzinājums¹¹, kur *ED* — emerģijas plūsmas blīvums, *EYR* — emerģijas atdeves koeficients, *ELR* — vides slodzes koeficients, *ESI* — emerģijas ilgtspējas indekss, *R* — atjaunojamo energoresursu īpatsvars

Gadījuma izpēte (nominālā jauda, MW)	<i>ED</i> , seJ/m ²	<i>EYR</i>	<i>ELR</i>	<i>ESI</i>	<i>R</i> , %
Biomases koģenerācijas stacija (77)	$3,89 \cdot 10^{16}$	2,11	0,92	2,29	52,0
Vēja spēkstacija (2.5)	$1,19 \cdot 10^{12}$	7,47	0,15	48,3	86,6
Ģeotermālā spēkstacija (20)	$1,56 \cdot 10^{14}$	4,81	0,44	11,0	69,7
Hidroelektrostacija (81)	$1,59 \cdot 10^{13}$	7,65	0,45	16,9	68,8
Ģeotermālā spēkstacija (171)	$2,61 \cdot 10^{15}$	6,60	18,1	0,56	7,8
Fosilo kurināmo spēkstacija (1280)	$2,48 \cdot 10^{15}$	4,21	14,2	0,30	6,6

¹¹ Sha S, Hurme M. Emery evaluation of combined heat and power plant processes, *Appl Therm Eng*, 2012; 43: 67–74.



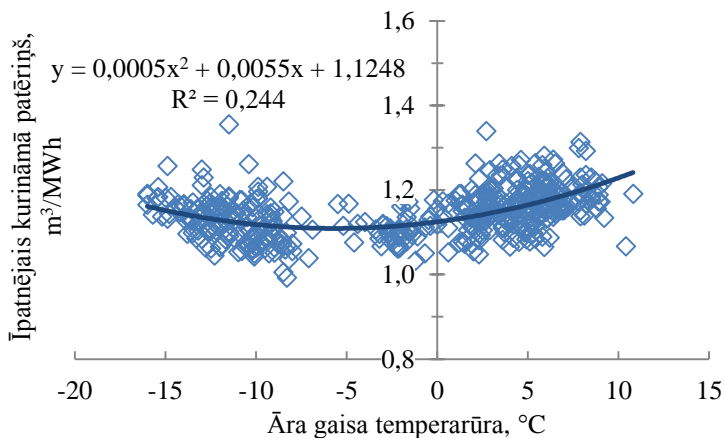
6. attēls. Emerģijas plūsmas diagramma apskatītājai biomasas koģenerācijas stacijai

Doto parametru interpretācija ir šāda: gadījumā, ja vides slodzes koeficients ELR ir tuvu nullei, ražošanas ietekme uz vidi tiek samazināta. Gadījumā, ja emerģijas ilgtspējas indekss ESI ir < 1 , pētītā sistēma nav ilgtspējīga¹². Sīkāku informāciju skat. publikācijā Nr. 1 un Nr. 3.

2.1.3. Korelācijas analīzes rezultāti

Korelācijas analīzes mērķis ir noteikt kāda ir saite starp koģenerācijas stacijas darbību raksturojošo atkarīgo mainīgo lielumu un analizētajiem neatkarīgajiem mainīgajiem lielumiem.

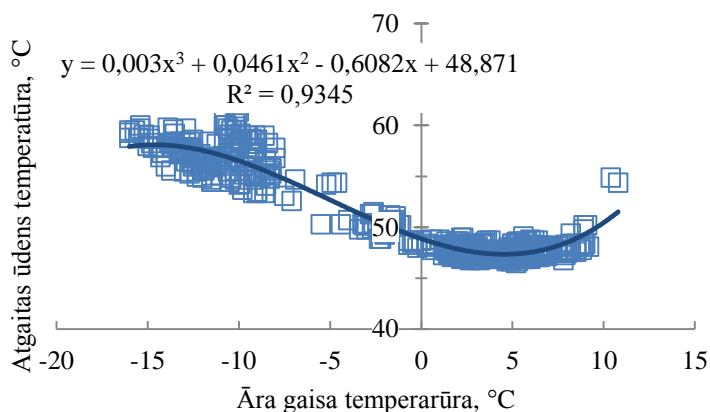
Tika pētīta īpatnējā kurināmā patēriņa saistība ar āra gaisa temperatūru, skat. 7. attēlu. Tā kā pastāv datu dispersija, iegūtā korelācijas koeficienta vērtība ir salīdzinoši zema, kas ļauj nonākt pie secinājuma par citu faktoru būtisku ietekmi. Citu faktoru ietekme var tikt noteikta, izmantojot daudzfaktoru regresijas analīzi. Tika pētītas arī atgaitas ūdens temperatūras izmaiņas kā funkcija atkarībā no āra gaisa temperatūras, skat. 8. attēlu. Atbilstoši attēlam abu lielumu savstarpējā korelācija ir ļoti laba. Analīzes rezultātā iegūtā vērtība $R^2 = 93\%$. Mainīgo lielumu savstarpējā ietekme ir nelineāra.



7. attēls. Īpatnējā kurināmā patēriņa izmaiņas āra gaisa temperatūras ietekmē

Korelācijas analīzes rezultātā iegūtie dati ļauj veikt turpmāku daudzfaktoru regresijas analīzi, kuras rezultātā īpatnējais kurināmā patēriņš koģenerācijas stacijā b_{ch} (atkarīgais mainīgais lielums) var tikt aprakstīts, izmantojot četrus neatkarīgus faktorus: skat. vienādojumu (5.).

¹²Brown M. T. Ulgiati S. Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems, *J Clean Prod.*, 2002; 10: 321–334.



8. attēls. Atgaitas ūdens temperatūras izmaiņas, mainoties āra gaisa temperatūrai

$$b_{ch} = f\left(\frac{N_b}{B}; \frac{N_{el}}{B}; \frac{Q_{th}}{B}; T_{out}\right), \quad (5.)$$

kur N_b/B — tvaika katla efektivitāte, N_{el}/B — elektroenerģijas ieguves efektivitāte, Q_{th}/B — siltumenerģijas ieguves efektivitāte, T_{out} — āra gaisa temperatūra. Veiktā korelācijas analīze padara turpmāko regresijas analīzi daudz vienkāršāku, jo lielumi, ko ir nepieciešams ietvert daudzfaktoru regresijas vienādojumā, jau ir noteikti.

2.1.4. Regresijas analīzes rezultāti

Gadījuma izpētē tika iegūts regresijas vienādojums (6.), kas nosaka izmaiņas īpatnējā kurināmā patēriņā b_{ch} .

$$b_{ch} = 2.3 - 2.3 \cdot 10^{-2} \frac{N_b}{B} - 1.4 \frac{N_{el}}{B} - 1.3 \frac{Q_{th}}{B} - 3.9 \cdot 10^{-3} T_{out} \quad (6.)$$

Vienādojumam (6.) tika iegūts $R^2 = 99\%$ un F vērtība = 26392,0. Dispersijas analīzes vērtības ir apkopotas 3. tabulā. Tā kā Fišera tabulētais kritērijs $F_{tab} = 1,19$, attiecība $F > F_{tab}$ nozīmē, ka iegūtais vienādojums ir spēkā šādā diapazonā:

- N_b/B tvaika katla efektivitāte [0,89; 1,15] MWh/m³;
- N_{el}/B elektroenerģijas ieguves efektivitāte [0,21; 0,32] MWh/m³;
- Q_{th}/B siltumenerģijas ieguves efektivitāte [0,51; 0,69] MWh/m³;
- T_{out} āra gaisa temperatūra [+ 9,0; - 15,2] °C.

3. tabula. Dispersijas analīzes rezultāti

Koeficients	t-statistika	P-vērtība
Tvaika katla efektivitāte, b_1	- 3,2590	0,0012
Elektroenerģijas ieguves efektivitāte, b_2	- 88,061	< 0,0001
Siltumenerģijas ieguves efektivitāte, b_3	- 128,491	< 0,0001
Āra gaisa temperatūra, b_4	- 1,6221	0,1004
Konstante, b_0	530,37	< 0,0001

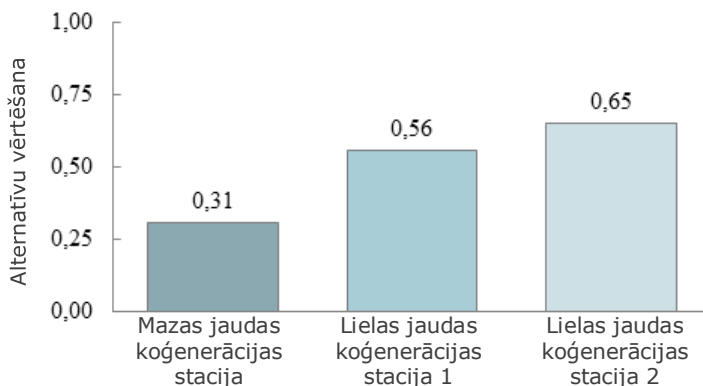
3. tabulā apkopotie rezultāti rāda, ka āra gaisa temperatūra var tikt izņemta no vienādojuma. Tomēr parametrs T_{out} ir būtisks koģenerācijas stacijā notiekošo fizikālo procesu kontekstā, un tāpēc šis lielums tiek saglabāts vienādojumā. Procentuālās atšķirības novērtējums rāda, ka īpatnējā kurināmā patēriņa procentuālās izmaiņas, salīdzinot ar patieso vērtību, ir 7,5 % robežās. Izmantotais modelis sniedz atbilstošu situācijas aprakstu. Sīkāku informāciju skat. publikācijā Nr. 2.

2.2. Centralizētās siltumapgādes tīkls kā pētījuma joma

Sākotnēji tiek veikts dažādu centralizētās siltumapgādes sistēmas alternatīvo risinājumu salīdzinājums, kam seko koģenerācijas stacijas alternatīvo darbības režīmu rezultāti gadījumā. Noslēgumā sniegts centralizētās siltumapgādes sistēmas vispārējais modelis, kurā integrēta atjaunojamo energoresursu izmantošana.

2.2.1. Multikritēriju analīzes novērtējuma rezultāti

Multikritēriju analīzes metodika tika izmantota dažādu alternatīvo risinājumu salīdzināšanai, analizējot Jelgavas centralizētās siltumapgādes tīkla attīstīšanas iespējas. Tika piedāvātas trīs dažādas šķeldas tvaika cikla koģenerācijas alternatīvas: 1) mazas jaudas koģenerācijas stacija; 2) lielas jaudas koģenerācijas stacija 1 kondensācijas režīmā; 3) lielas jaudas koģenerācijas stacija 2 koģenerācijas režīmā. Tika veikta datu normalizācija veicot paregrāfā 1.2.1. aprakstītās metodikas piemērošana; *TOPSIS* analīzes rezultāti ir doti 9. attēlā.



9. attēls. Izvēlēto alternatīvu vērtēšana

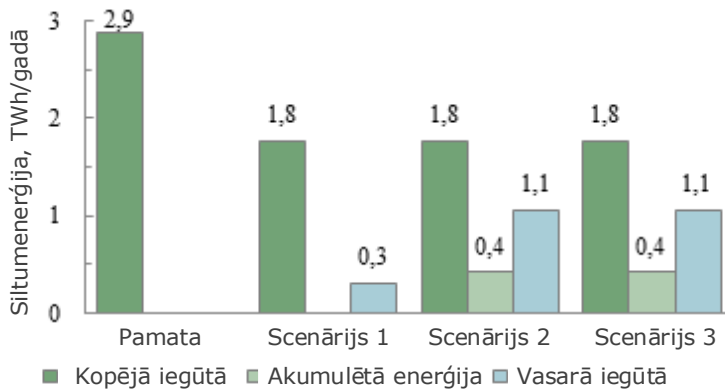
Lielas jaudas koģenerācijas stacija, kas darbojas koģenerācijas režīmā, piedāvā vislabāko scenāriju ar visaugstāko novērtējumu. Saskaņā ar veikto Jelgavas siltumapgādes sistēmas analīzi, lielas jaudas koģenerācijas stacijas darbība koģenerācijas režīmā ir labāka alternatīva nekā mazas jaudas koģenerācijas stacijas uzstādīšanai. Detalizētāku pamatojumu skat. publikācijā Nr. 7.

2.2.2. Alternatīvas darbības režīmu modeļa rezultāti

Koģenerācijas stacijas darbības režīmu modelis tika izstrādāts situācijai, kad samazinās siltumslodzes. Tika analizēti četri scenāriji: bāzes scenārijs, kurā koģenerācijas stacija turpina darboties ierastajā režīmā; (1) scenārijs, kurā koģenerācijas stacijas darbojas 3000 stundas gadā, un koģenerācijas jauda tiek izmantota efektīvi.

Nākamie divi scenāriji, zema pieprasījuma periodos, izmanto koģenerācijas stacijā iegūto siltumenerģijas pārpalikumu to akumulējot, kas vēlāk tiek izmantots, lai kompensētu iztrūkumu pīķa slodzes laikā, kad koģenerācijas stacijas jauda nav pietiekama. Scenārijs (2) nosaka, ka siltuma slodzi nodrošina Rīgas TEC 2/1, izmantojot siltumenerģijas akumulācijas sistēmas, un spēkstacija efektīvi darbojas 5000 stundas gadā. Scenārijā (3) dabasgāze Rīgas TEC 1 tiek aizstāta ar enerģētisko koksnī un ir uzstādītas siltuma akumulācijas sistēmas. Pārējās ar dabasgāzi darbinātās spēkstacijas atrodas dīkstāvē vai darbojas kondensācijas režīmā. Sīkāku informāciju skat. publikācijā Nr. 8.

Izstrādāto scenāriju salīdzinājums dots 10. attēlā.

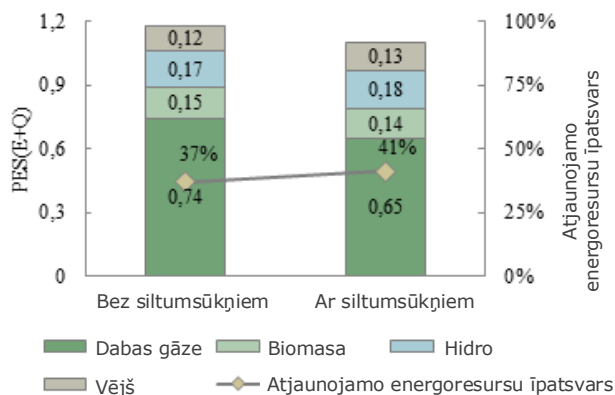


10. attēls. Siltumenerģijas ieguve un akumulācija

Scenārijs (3) ļauj pilnībā izmantot koģenerācijas stacijā uzstādīto jaudu. Rīgas TEC 2 jaunais energobloks var darboties mazāk nekā 3000 stundas gadā daļējā koģenerācijas režīmā, lai segtu pīķa slodzi tvaika katlu vietā. Arī scenārija (3) finansiālais novērtējums apliecina, ka šī scenārija izmantošana piedāvā zemākās elektroenerģijas izmaksas. Sīkāku informāciju skat. publikācijā Nr. 8.

2.2.3. Vispārējā centralizētās siltumapgādes sistēmas modeļa rezultāti

Tiek analizēts modelis, kur centralizētajā siltumapgādes sistēmā tiek integrēti atjaunojamie resursi. Siltumsūkņu izmantošana samazina elektroenerģijas ieguvu un tīro eksportu (11. attēls), jo sarūk koģenerācijā iegūtās enerģijas daudzums un pieaug vietējās elektroenerģijas apjoms.



11. attēls. Siltumsūkņu izmantošana samazina dabasgāzes īpatsvaru un palielina atjaunojamo energoresursu īpatsvaru siltumenerģijas (Q) un elektroenerģijas (E) ieguvē. Pateicoties koģenerācijas staciju un tvaika katlu aizstāšanai ar vēja elektrostacijām, samazinās kopējais primārās enerģijas patēriņš (PES) uz enerģijas vienību (siltumenerģija plus elektroenerģija). Biomasa ietver arī enerģētisko koksnī un biogāzi.

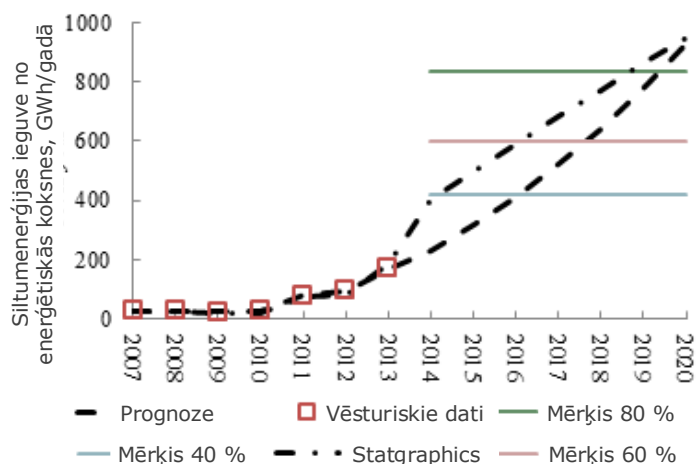
Siltumsūkņu izmantošana palielina abu atjaunojamo energoresursu — gan vēja elektrostaciju, gan hidroelektrostaciju — īpatsvaru. Ņemot vērā, ka enerģijas ieguve koģenerācijas stacijās tiek daļēji aizstāta ar vēja elektrotacijām un koģenerācijas stacijās lielā mērā tiek izmantota dabasgāze, atjaunojamo energoresursu īpatsvars kopējā iegūtajā enerģijas apjomā ir lielāks sistēmās, kas ir aprīkotas ar siltumsūkņiem. Ar siltumsūkņiem aprīkotās sistēmās dabasgāzes procentuālā daļa centralizētajā siltuma un elektroenerģijas ieguve sistēmā samazinās no 63 % uz 59 %, savukārt atjaunojamo energoresursu procentuālā daļa (biomasa ietverot šķeldu un biogāzi) pieaug (skat. publikāciju Nr. 9).

2.3. Pašvaldības energoplāns kā pētījuma joma

Šajā nodaļā tiek apskatīta laika rindu prognozēšanas metode un klimata pārmaiņu indikatora rezultāti pašvaldības energoplāna mērogā.

2.3.1. Laika rindu prognozēšanas metodes rezultāti

ARIMA (0,1,1)×(2,0,1)12 laika rindu prognozēšanas metode tika izstrādāta, izmantojot ikmēneša datus par siltumenerģiju, kas iegūta no enerģētiskās koksnī. Modelis rāda, ka var iegūt aptuveni 600 GWh siltumenerģijas aukstākajos mēnešos līdz 2020. gadam, skat. 12. attēlu.



12. attēls. Prognozēšanas modeļu rezultātu salīdzinājums, izmantojot regresijas analīzi un ARIMA laika rindu prognozēšanas metodi

Rezultāti demonstrē nelielas atšķirības izmantoto prognozēšanas modeļu starpā. Atbilstoši regresijas analīzei līdz 2016. gadam aptuveni 40 % no kopējā siltumenerģijas daudzuma iespējams iegūt izmantojot šķeldu. *Statgraphics* modelis (laika rindas) savukārt demonstrē, ka identisks šķeldas īpatsvars siltumenerģijas bilancē (40 %) var tikt sasniegts līdz 2015. gadam. Atbilstoši abiem modeļiem fosilā kurināmā izmantošanas pilnīga izslēgšana ir iespējama līdz 2020. gadam, ja tiks izvirzīti daudz ambiciozāki mērķi. Sīkāku informāciju skat. publikācijā Nr. 10.

2.3.2. Klimata pārmaiņu indikatora aprēķinu rezultāti

Kopā ar *ARIMA* modeli tika izmantots novērsto siltumnīcas efekta gāzu emisiju indikators. Enerģētiskās koksnes izmantošana dod iespēju būtiski samazināt CO₂ emisijas apjomu. 13 gadu laikā (no 2007.–2020. gadam) novērsto CO₂ emisiju apjoms tika aprēķināts, pieņemot, ka nozare veiks dabasgāzes aizstāšanu. Informācija par dažādu scenāriju piemērošanas rezultātā iespējamo kopējo CO₂ emisiju samazinājumu ir apkopota 4. tabulā.

4. tabula. Novērsto CO₂ emisiju apjoms, izmantojot dažādus scenārijus

Scenārijs	Novērstās CO ₂ emisijas, 1000 t	Saražotā siltumenerģija, GWh
Vēsturiskie dati no 2007.–2013. g.	99	439
Mērķis 40 % (2007–2020)	576	2568
Mērķis 60 % (2007–2020)	782	3484
Mērķis 80 % (2007–2020)	959	4275

Saskaņā ar 4. tabulā atspoguļotajiem datiem, aizstājot katlus, kas tiek darbināti ar dabasgāzi ar katliem, kas darbojas, izmantojot koksnes kurināmo, laika posmā no 2007. līdz 2013. gadam tika novērstas aptuveni 100 tūkstošu tonnas CO₂ emisiju. Gandrīz desmitkārtīgs siltumnīcas efekta gāzu samazinājums tiek panākts, ja līdz 2020.

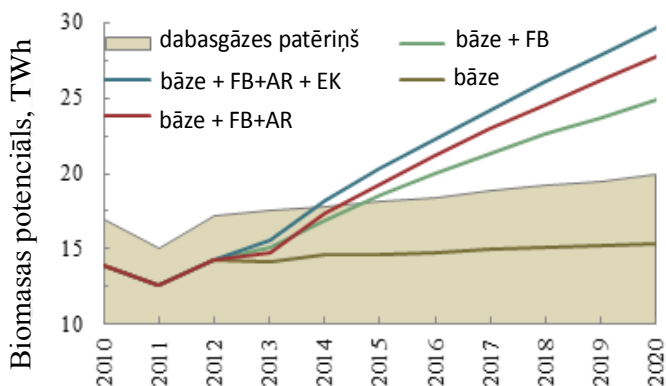
gadam būs sasniegts izvirzītais mērķis — 80 % siltumenerģijas tiek ražota, izmantojot koksnes kurināmo. Novērsto emisiju apjoms analizētajā laika posmā sasniegtu aptuveni miljons tonnu CO₂ gadījumā, ja 80 % siltumenerģijas tiktu iegūta no šķeldas. Sīkāku informāciju skat. publikācijā Nr. 10.

2.4. Zemu oglekļa emisiju stratēģija kā izpētes joma

Šajā nodaļā tiek apkopoti scenāriju vērtēšanas algoritma, «uzmanības novēršanas» arhetipa, četru soļu pārvaldības sistēmas pieejas un zaļās enerģijas stratēģijas metodikas izmantošanas rezultāti.

2.4.1. Scenāriju vērtēšanas algoritma rezultāti

Lai analizētu biomasas kurināmā potenciālu Latvijā, tika izstrādāti četri scenāriji: bāzes scenārijs; (1) scenārijs, kas paredz vietējo koksnes biomasas resursu izmantošanu; (2) scenārijs, kas pievieno enerģētisko kultūru audzēšanu uz pieejamās lauksaimniecībā izmantojamās zemes; (3) scenārijs, kas ietver pieejamo organisko atkritumu izmantošanu biogāzes ražošanā. Sīkāku informāciju skat. publikācijā Nr. 11. Scenāriju modelēšanas rezultāti ir apkopoti 13. attēlā.



13. attēls. Latvijas biomasas potenciāla novērtējums (bāzes — biomasas patēriņš „business kā parasti” scenārijā, FB — koksnes biomasas potenciāls, AR — lauksaimniecības augu atlikumu biomasas potenciāls, EC — enerģētisko kultūru biomasas potenciāls)

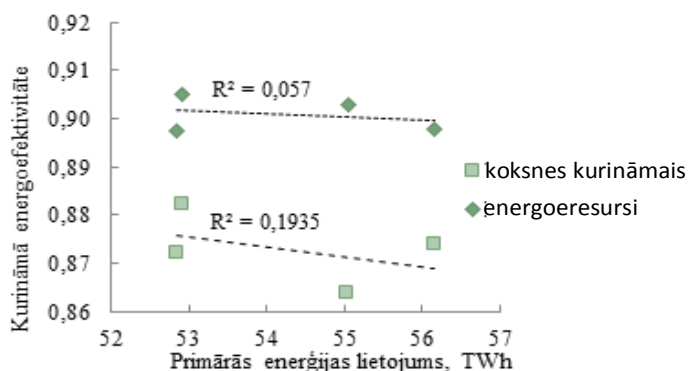
Bāzes scenārijā dominē dabaszgāze, savukārt citos scenārijos tiek pieļauta dabaszgāzes aizstāšana ar biomasu jau 2015. gadā. Lielākais biomasas potenciāls ir saistīts ar mežistrādes atlikumu un kokapstrādes blakusproduktu izmantošanu. Kopējais bioenerģijas potenciāls 2020. gadā būs divreiz lielāks nekā šī brīža biomasas izmantošanas apjoms.

2.4.2. «Uzmanības novēršanas» arhetipa rezultāti

Lai izprastu koksnes kurināmā izmantošanas ierobežojumus Latvijas enerģētikas sektorā un izstrādātu pamatscenāriju nākotnes vīzijai, tika analizēti statistikas dati četrus gadus garumā.

Atbilstoši ikgadējā primārās enerģijas patēriņa un enerģijas gala patēriņa datiem maksimālā vērtība tika sasniegta 2010. gadā, kam sekoja kritums, lai gan, salīdzinot ar iepriekšējo gadu, 2011. gadā strauji (par 21,6 %) pieauga primārās enerģijas imports. Iemesli 2011. gadā novērotajam enerģijas patēriņa kritumam varētu būt vairāki. Visbiežāk norādītais iemesls, kas pamato šo tendenci, ir enerģētikas sektorā ieviestie energoefektivitātes uzlabojumi.

14. attēls ilustrē attiecību starp primārās enerģijas patēriņu un primārās enerģijas izmantošanas efektivitāti laika posmā no 2008. līdz 2011. gadam.



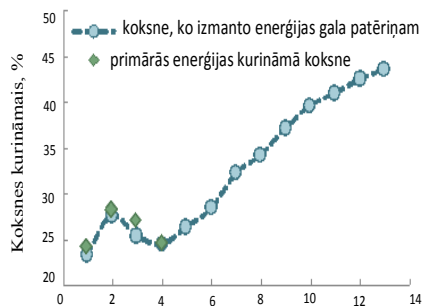
14. attēls. Primārās enerģijas patēriņa un kurināmā izmantošanas energoefektivitātes attiecība

14. attēlā atspoguļotie dati demonstrē vāju primārās enerģijas patēriņa un primārās enerģijas izmantošanas efektivitātes korelāciju. Iegūtie rezultāti norāda, ka primārās enerģijas patēriņa samazinājuma pamatā nav energoresursu efektīvāka izmantošana. Šāda tendence savukārt norāda, ka enerģijas sektors attīstās pretējā virzienā valsts iestāžu apgalvojumiem. Sīkāku informāciju skat. publikācijā Nr. 12.

2.4.3. Četrus soļu pārvaldības sistēmas piemērošanas rezultāti

15. attēls ilustrē koksnes kurināmā ražošanas apjoma prognozes, koksnes kurināmā daļu primārās enerģijas patēriņā un enerģijas galapatēriņā.

Dati ilustrē nākotnes attīstības scenāriju, paredzot koksnes kurināmā enerģijas patēriņa pakāpenisku pieaugumu. Pēdējo četrus gadus koksnes kurināmā īpatsvars primārās enerģijas patēriņā tika noteikts, izmantojot statistikas datus par vēsturisko koksnes enerģijas patēriņu.



15. attēls. Vēsturiskie dati un koksnes kurināmā īpatsvara prognozes

Atšķirības no koksnes kurināmā iegūtās primārās enerģijas īpatsvara un enerģijas galapatēriņa līknēs izskaidrojamas ar izmaiņām piegādes apjomos un koksnes kurināmā izmantošanas energoefektivitātē.

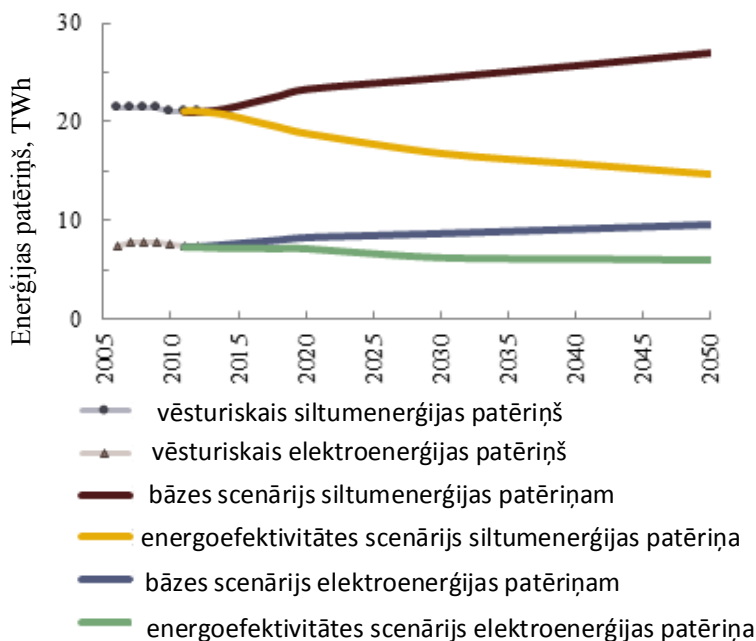
Koksnes kurināmā īpatsvara matemātiskā modelēšana ir balstīta uz zaļās izaugsmes aprēķinu datiem un koksnes kurināmā vēsturiskā īpatsvara novērtēšanas rezultātiem. Pakāpenisks «soli pa solim» pieaugums nākamajos gados ļaus sasniegt koksnes kurināmā procentuālo daļu 43 % apmērā no enerģijas galapatēriņa bilances Latvijā. Sīkāku informāciju skat. publikācijā Nr. 12.

2.4.4. Zaļās enerģijas stratēģijas rezultāti

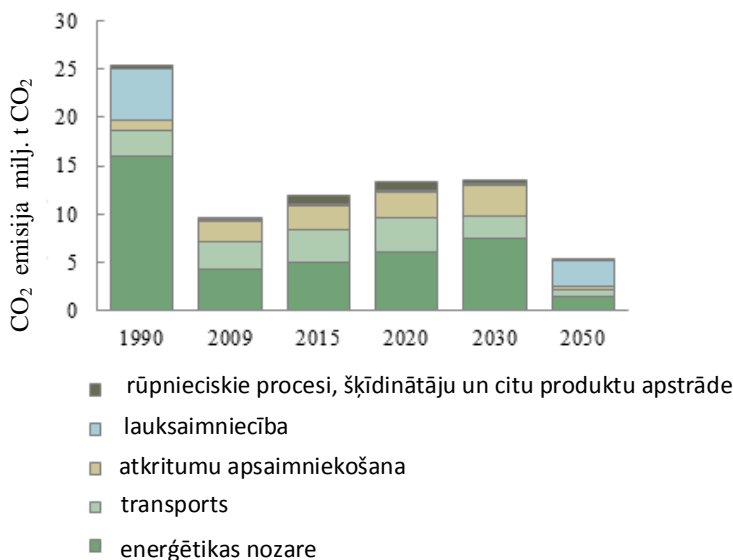
Pamatscenārijā prognozētais enerģijas pieprasījums palielina siltumenerģijas patēriņu līdz 2050. gadam, kamēr energoefektivitātes scenārijā palielinājums ir maznozīmīgs un pēc 2016. gada seko kritums (16. attēls).

Siltumenerģijas patēriņa samazinājums ir izskaidrojams ar visos sektoros, jo īpaši mājsaimniecību un pakalpojumu sektorā, ieviestajiem energoefektivitātes pasākumiem. Galīgā elektroenerģijas patēriņa pieaugums ir vērojams abos scenārijos. Energoefektivitātes scenārijā pieauguma temps mazinās ap 2015. gadu, un mājsaimniecību un pakalpojumu segmentā tiek sasniegts ES – 15 2004. gada vidējais patēriņa līmenis. Paredzams rūpnieciskā elektroenerģijas patēriņa pakāpenisks pieaugums līdz 2020. gadam.

SEG emisijas prognoze līdz 2050. gadam tiek ilustrēta 17. attēlā.



16. attēls. Kopējais elektroenerģijas un siltumenerģijas patēriņš pamata un energoefektivitātes scenārijiem.



17. attēls. Siltumnīcefekta gāzes emisijas vēsturiskie dati un prognozes dažādiem Latvijas zaļās enerģijas stratēģijas scenārijiem

Siltumnīcefekta gāzu emisijas samazinājums 2020. un 2050. gadā ir skaidrojams ar enerģijas sektora pāreju uz energoefektīvu galapatēriņu un atjaunojamo energoresursu izmantošanu. Fosilo kurināmo izmantošanas pakāpenisks samazinājums

laika posmā no 2013. līdz 2020. gadam, kā arī līdz 2050. gadam ļaus sasniegt siltumnīcefekta gāzu emisijas līmeni enerģijas sektorā — 20 % apmērā, salīdzinot ar 1990. gada rādītājiem. Sīkāku informāciju skat. publikācijā Nr. 13.

Secinājumi

Lai sasniegtu valsts enerģētikas sektora darbības efektivitāti un ilgtspēju, ikvienam enerģētikas sistēmas elementam ikvienā laika posmā ir jāfunkcionē maksimāli lietderīgi. Lai nodrošinātu maksimālu efektivitāti un izvērtētu iespējamus uzlabojumus, pētījumā izmantoti mērogošanas struktūras metodika, kas tika piemērota gadījuma izpētei — valsts enerģijas sektoram.

Izejas punkts mērogošanas risinājumu piemērošanai ir kombinētā siltumenerģijas un elektroenerģijas spēkstacija un tās darbība; nākamais solis ir centralizētais siltumapgādes tīkls, kam seko pašvaldības enerģētikas plāns, uz kuru balstās zema oglekļa izmešu līmeņa stratēģiju izveide.

Ierosinātajā struktūrā zemākā agregēšanas līmenī attīstīti un pārbaudīti veiksmīgi un inovatīvi risinājumi var tikt pārnesti augstākos līmeņos, uz kuru balstās inovatīvu risinājumu mērogošanas struktūras piemērošana.

Promocijas darba centrālais uzdevums ir ierosināt dažādas metodikas, kas ir izmantojamas atšķirīgos mērogošanas struktūras posmos. Darbā sniegts kopsavilkums par 12 dažādām metodikām, kas tiek izmantotas enerģētikas sektorā, sadalot tās pa dažādiem mērogošanas struktūras līmeņiem.

Katra no promocijas darbā piedāvātajām metodikām tiek piemērota konkrētam sektoram, tomēr nav izslēdzama atsevišķu metodiku piemērošana arī citos sistēmas līmeņos.

Lai gan izstrādātā struktūra primāri ir paredzēta energosistēmām un enerģētikas sektoram, jānorāda, ka tās izmantojums nav ierobežots un izstrādātais risinājums var tikt piemērots arī citās tautsaimniecības nozarēs. Turklāt piedāvātā struktūra ir piemērota gan zinātniskās izpētes mērķiem, gan politikas izstrādes procesam.

Katra konkrētā pētījuma segmenta specifiski secinājumi ir apkopoti turpmāk.

Kombinētā siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošana

Enerģijas un ekserģijas analīzes metodes tika izmantotas koģenerācijas stacijas destrukcijas rādītāju aprēķiniem. Enerģijas analīze tika piemērota enerģijas konversijas efektivitātes izvērtēšanai. Ekserģijas analīze tika izmantota, lai izvērtētu ekserģijas degradāciju sistēmā un veiktu enerģijas kvalitatīvo izmaiņu kvantitatīvo novērtējumu. Aprēķinu rezultātā iegūts koģenerācijas stacijas energoefektivitātes rādītājs 62 %, un ekserģētiskais rādītājs 24 %. Ekserģijas analīzes rezultātā iegūts destrukcijas rādītājs tvaika katlā 64 %. Analīze atklāj zudumus dažādās spēkstacijas daļās un pie atšķirīgiem

darbības režīmiem. Iegūtie rezultāti var tikt turpmāk izmantoti neoptimālu darba apstākļu identificēšanai un uzlabojumu ieviešanai.

Emerģijas analīze tika izmantota kā komplekss sistēmas darbības novērtēšanas rādītājs. Koģenerācijas stacijas analīzei un tās salīdzināšanai ar citām sistēmām tika veikti vairāku emerģijas rādītāju aprēķini: vides ilgtspējas indekss, emerģijas ilgtspējas indekss, emerģijas atdeves koeficients un vides slodzes koeficients. Analīzes rezultātā iegūta koģenerācijas stacijas emerģijas plūsmas diagramma, kas ilustrē visus sistēmas ievades, izvades un iekšējos komponentus, kā arī to savstarpējās plūsmas. Tika sagatavota apskatītās sistēmas emerģijas tabula, kurā visi sistēmas elementi ir savstarpēji skaitliski savienoti. Emerģijas analīzes rezultātā iegūts emerģijas ilgtspējas indekss — 2,29, emerģijas atdeves rādītājs — 2,11 un vides slodzes koeficients — 0,92.

Lai noteiktu saistību starp atkarīgo mainīgo vērtību un analizēto neatkarīgo mainīgo vērtību, kas raksturo koģenerācijas stacijas darbību, tika izmantota korelācijas analīze. Vienfaktora matemātiskā modeļa gadījumā aprēķiniem tiek izmantots Pīrsona (*Pearson*) vienādojums. Regresijas vienādojumi tika pārbaudīti, izmantojot šādus rādītājus: autokorelācija, multikolinearitāte un heteroskedasticitēte. Korelācijas analīzes rezultātā iegūtie dati ļauj veikt tālāku daudzfaktoru regresijas analīzi, kuras rezultātā konkrēta kurināmā veida patēriņš koģenerācijas stacijā var tikt aprakstīts, izmantojot četrus neatkarīgus faktorus: (1) tvaika katla efektivitāte; (2) elektroenerģijas ražošanas efektivitāte, (3) siltumenerģijas ražošanas efektivitāte, (4) āra gaisa temperatūra. Korelācijas analīzes rezultāti tiek turpmāk izmantoti kā pamats citu metodiku piemērošanai.

Lai iegūtu empīrisku vienādojumu konkrēta kurināmā veida patēriņa izmaiņu kvantitatīvai analīzei koģenerācijas stacijā atkarībā no statistiski nozīmīgiem spēkstacijas darbības rādītājiem, tika izmantota regresijas analīze. Analīzes rezultātā iegūts determinācijas koeficients $R^2 = 99\%$. Atbilstoši analīzes rezultātiem noteikta kurināmā veida patēriņa procentuālās izmaiņas, salīdzinot ar tā faktiskajām vērtībām, ir 7,5 % robežās. Regresijas vienādojuma piemērotības novērtējums veikts ar dispersijas analīzes palīdzību, izmantojot Fišera kritēriju. Testētās vērtības atbilst robežkritēriju prasībām, tāpēc secināts, ka iegūtais vienādojums ir adekvāts un piemērojams. Iegūtais vienādojums kalpo par pamatu konkrēta koģenerācijas stacijā izmantotā kurināmā veida patēriņa prognozēšanai un izvērtēšanai.

Centralizētais siltumapgādes tīkls

Dažādu alternatīvo risinājumu salīdzināšanai, analizējot Jelgavas centralizētās siltumapgādes tīkla energoresursu attīstīšanas iespējas, tika izmantota multikritēriju lēmumu analīzes metodika. Tiek piedāvātas trīs dažādas šķeldas tvaika cikla koģenerācijas alternatīvas: 1) mazas jaudas koģenerācijas stacija, *CHP*; 2) lieljaudas koģenerācijas stacija *CHP1* kondensācijas režīmā; 3) lieljaudas koģenerācijas stacija *CHP2* koģenerācijas režīmā. Multikritēriju analīze ir balstīta uz šādiem kritērijiem: energoefektivitāte, darbības izmaksas, ieguldījumu izmaksas, slodzes koeficients. Saskaņā ar iegūtajiem rezultātiem lieljaudas koģenerācijas stacija, kas darbojas koģenerācijas režīmā, piedāvā vislabāko scenāriju. Saskaņā ar veikto Jelgavas

siltumapgādes sistēmas analīzi koģenerācijas stacijas darbība koģenerācijas režīmā ir labāka alternatīva mazas jaudas koģenerācijas stacijas uzstādīšanai.

Tika modelēti koģenerācijas stacijas darbības režīmi, samazinoties siltumslodzei, un šajā kontekstā analizēti četri scenāriji: bāzes scenārijs, kurā koģenerācijas stacija turpina darboties ierastajā režīmā; (1) scenārijs, kurā koģenerācijas stacijas darbojas 3000 stundas gadā un koģenerācijas jauda tiek izmantota efektīvi, (2) scenārijs, kas ietver situāciju, kad siltuma slodzi nodrošina Rīgas TEC2/1, izmantojot siltumenerģijas akumulācijas sistēmas un spēkstacija spēj nodrošināt efektīvu darbību 5000 stundas gadā, (3) scenārijs, kurā dabasgāze Rīgas TEC1 tiek aizstāta ar koksnes kurināmo un ir uzstādītas siltuma akumulācijas sistēmas. Saskaņā ar iegūtajiem rezultātiem 3. scenārijs atļauj pilnīgu koģenerācijas stacijā uzstādītās jaudas izmantošanu. Scenāriju finansiālā novērtējuma rezultātā tika secināts, ka 3. scenārijā arī elektroenerģijas izmaksas ir viszemākās.

Tika izstrādāts modelis neregulāro atjaunojamo energoresursu integrēšanai centralizētajā siltumapgādes sistēmā, lai izvērtētu vēja spēkstaciju un siltumsūkņu integrēšanu. Atbilstoši iegūtajiem rezultātiem siltumsūkņu izmantošana pārpalikuma elektroenerģijas akumulācijai samazina elektroenerģijas ražošanu un tīro eksportu un palielina atjaunojamo energoresursu īpatsvaru. Ņemot vērā, ka enerģijas ražošana koģenerācijas stacijās tiek daļēji aizstāta ar vēja spēkstacijām un koģenerācijas stacijas lielā mērā tiek darbinātas ar dabasgāzi, atjaunojamo energoresursu īpatsvars kopējā saražotajā enerģijas (siltumenerģijas un elektroenerģija) apjomā ir lielāks sistēmās, kas ir aprīkotas ar siltumsūkņiem. Siltumsūkņu izmantošanas gadījumā dabasgāzes procentuālā daļa centralizētajā siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošanas sistēmā samazinās no 63 % uz 59 %.

Pašvaldības enerģētikas plāns

Siltumenerģijas apjoma prognozēšanai pašvaldības līmenī tika izmantots *ARIMA* laika rindas modelis. Atbilstoši iegūtajiem rezultātiem pastāv iespēja līdz 2020. gadam nodrošināt biomasas siltumenerģijas ražošanas apjomu aptuveni 600 GWh gada aukstākajos mēnešos. Tika veikta arī *ARIMA* modeļa salīdzināšana ar regresijas modeli. Modeļu izmantošanas rezultātā secināts, ka līdz 2020. gadam pašvaldības centralizētās siltumapgādes uzņēmums varētu gandrīz pilnībā izslēgt fosilā kurināmā izmantošanu, ja tiktu noteikti pretenciozāki mērķi.

Vienlaikus ar *ARIMA* modeli tiek piedāvāts izmantot novērstās siltumnīcefekta gāzu emisijas indikatoru. Novērstās CO₂ emisijas apjoma aprēķini par 13 gadu periodu (2007–2020) tika balstīti uz pieņēmumu, ka nozare veiks dabasgāzes aizvietošanu ar citu kurināmo. Atbilstoši iegūtajiem rezultātiem, izmantojot ar koksni darbināmas katlu mājas dabasgāzes katlu māju vietā, laika posmā no 2007. līdz 2013. gadam tika novērsta CO₂ emisija aptuveni 100 tūkstoši tonnu apmērā.

Sasniedzot izvirzīto mērķi — 80 % siltumenerģijas tiek saražota, izmantojot koksnes kurināmo, līdz 2020. gadam siltumnīcefekta gāzu emisija tiktu samazināta gandrīz

desmitkārt. Ja 80 % siltumenerģijas tiktu ražota, izmantojot šķeldu, novērstās emisijas apjoms analizētajā laika posmā sasniegtu aptuveni 1 miljons tonnu.

Zema oglekļa dioksīda emisiju stratēģija

Lai definētu Latvijas nacionālo virzienu pārejai uz zema oglekļa dioksīda emisijas stratēģiju, tika modelēts biomasas potenciāls. Latvijas biomasas kurināmā potenciāla analīzei tika izstrādāti četri scenāriji: bāzes scenārijs; (1) scenārijs, kas paredz vietējo koksnes biomasas resursu izmantošanu; (2) scenārijs, kas papildus paredz enerģētisko kultūru audzēšanu uz pieejamās lauksaimniecībā izmantojamās zemes; un (3) scenārijs, kas ietver pieejamo organisko atkritumu izmantošanu biogāzes ražošanā. Bāzes scenārijā dominē dabasgāze. Savukārt citos scenārijos ir iespējama dabasgāzes aizstāšana ar biomasu jau 2015. gadā. Lielākais biomasas potenciāls ir saistīts ar mežistrādes atlikumu un kokapstrādes blakusproduktu izmantošanu. Kopējais bioenerģijas potenciāls 2020. gadā būs divreiz lielāks nekā šā brīža biomasas izmantošanas apjoms.

No sistēmiskās domāšanas perspektīvas atkarība no enerģijas importa tika skaidrota ar «uzmanības novēršanas» arhetipa palīdzību. Šis arhetips raksturo enerģētikas sektora atkarības un īstermiņa plānošanas ietekmi uz enerģētikas sektorā pastāvošo situāciju ilgtermiņā. Sistēmas arhetipa pamatideja ir šāda: gadījumā, ja kaut reizi tiek izmantots simptomātisks vai īstermiņa risinājums, fundamentāla vai ilgtermiņa risinājuma ieviešana tiek atlikta. Piemēram, tūlītēja nepieciešamība modernizēt esošo pašvaldības centralizētās siltumapgādes tīklu, kas tiek īstenota nekavējoties, neapsverot papildu ieguldījumus un to, ka vienlaicīga pāreja uz atjaunojamo energoresursu izmantošanu ilgtermiņā sniegtu labākus rezultātus, lai gan radītu pašvaldībai augstākus finanšu un tehnoloģiskos ieguldījumus īstermiņā. Statistikas datu analīze demonstrē vāju korelāciju starp primārās enerģijas patēriņu un primārās enerģijas izmantošanas lietderību, un tā rezultātā iespējams secināt, ka primārās enerģijas patēriņa samazinājums nav enerģijas resursu efektīvākas izmantošanas rezultāts. Šāda tendence norāda, ka valsts iestāžu paziņojumi un enerģētikas sektora attīstība ir vērsti divos pretējos virzienos.

Zemas oglekļa dioksīda emisijas stratēģijas virzieni, mērķi un pamatprincipi tiek definēti, izmantojot četru soļu vadības sistēmu; 1) noteikt kursu un virzienus, 2) definēt principus, kas ietver vides, klimata sociālekonomiskos un vadības aspektus; 3) veikt aprēķinus, ņemot vērā apmācību un tehnoloģiju izmaksu līknes, 4) izvērtēt dažādus ietekmējošos faktorus. Piedāvātā vadības sistēma tika izmantota koksnes kurināmā īpatsvara Latvijā matemātiskajai modelēšanai. Saskaņā ar iegūtajiem rezultātiem pakāpenisks «soli pa solim» pieaugums nākamajos gados ļaus sasniegt koksnes kurināmā procentuālo īpatsvaru 43 % apmērā no enerģijas galapatēriņa bilances Latvijā.

Zaļās enerģijas stratēģijas modelī tika vērtēti trīs paralēlie virzieni: (1) pāreja uz energoefektīvu patēriņu un atjaunojamo energoresursu izmantošanu; (2) jaunu risinājumu integrēšana enerģētikas sektorā un transporta sistēmā; (3) zaļās enerģijas piegādes sistēmu attīstīšana ar izpēti un demonstrēšanas palīdzību. Atbilstoši

iegūtajiem rezultātiem pamatscenārijā prognozētais pieprasījums pēc enerģijas izraisīs pie siltumenerģijas patēriņa pieauguma līdz 2050. gadam, savukārt energoefektivitātes scenārijā šāds pieaugums ir minimāls, un pēc 2016. gada seko samazinājums. Fosilo kurināmo izmantošanas pakāpenisks samazinājums laika posmā no 2013. līdz 2020. gadam, kā arī līdz 2050. gadam ļaus sasniegt siltumnīcefekta gāzu emisijas līmeni enerģētikas sektorā 20 % apmērā no 1990. gada līmeņa. Siltumnīcefekta gāzu emisijas samazinājums 2020. un 2050. gadā ir skaidrojams ar enerģijas sektora pāreju uz energoefektīvu galapatēriņu un atjaunojamo energoresursu izmantošanu.