

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Inženierekonomikas un vadības fakultāte
Starptautisko ekonomisko sakaru un muitas institūts
Starptautisko ekonomisko sakaru, transporta ekonomikas un loģistikas katedra

Māris Balodis

Doktora studiju programmas “Vadībzinātne un ekonomika” doktorants

**Energoapgādes nodrošinājuma optimizācijas modeļi
Latvijas ilgtspējīgai ekonomiskai attīstībai**

Promocijas darba kopsavilkums

Nozare: Vadībzinātne
Apakšnozare: Uzņēmējdarbības vadība

Zinātniskais vadītājs
Profesors *Dr. habil. oec.*
R. POČS

Zinātniskais konsultants
Asoc. profesors *Dr. oec.*
V. SKRIBANS

RTU Izdevniecība
Rīga 2016

Balodis M. Energoapgādes nodrošinājuma optimizācijas modeļi Latvijas ilgtspējīgai ekonomiskai attīstībai. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2016. – 52 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Inženierekonomikas un vadības fakultātes Starptautisko ekonomisko sakaru, transporta ekonomikas un logistikas katedras sēdes 2016. gada 15. jūnija lēmumu, protokols Nr. 22314-216.



Pētījumu atbalsta Valsts pētījumu programma 5.2. Tautsaimniecības transformācija, gudra izaugsme, pārvaldība un tiesiskais ietvars valsts un sabiedrības ilgtspējīgai attīstībai – jaunas pieejas ilgtspējīgas zināšanu sabiedrības veidošanai “EKOSOC-LV”.

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI
VADĪBZINĀTNES NOZARĒ UZŅĒMĒJDARBĪBAS VADĪBAS
APAKŠNOZARĒ RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs izstrādāts RTU Inženierekonomikas un vadības fakultātes Starptautisko ekonomisko sakaru, transporta ekonomikas un loģistikas katedrā. Promocijas darbs ekonomikas zinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2016. gada 9. decembrī plkst. 12.00, Kalnciema ielā 6, 309. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Dzintra Atstāja, Dr. oec., asociētais profesors,
Banku augsskola

Ineta Geipele, Dr. oec., asociētais profesors,
Rīgas Tehniskā Universitāte

Bronius Neverauskas, Dr. oec., profesors
Kauņas Tehnoloģiskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

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

Māris Balodis (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā un satur ievadu, 4 daļas, secinājumus un priekšlikumus, bibliogrāfisko sarakstu, 8 pielikumus, 62 attēlus, 26 tabulas, kopā 177 lappuses. Bibliogrāfiskajā sarakstā ir 130 nosaukumi.

Ar promocijas darbu un tā kopsavilkumu var iepazīties Rīgas Tehniskās universitātes Zinātniskajā bibliotēkā Āzenes ielā 10.

Atsauksmes par promocijas darbu sūtīt:
Promocijas padomes RTU P-09 sekretāram
Profesoram Dr. oec. Konstantīnam Didenko,
Rīgas Tehniskā universitāte,
Kalnciema iela 6, Rīga, LV-1048, Latvija.
e-pasts: rue@rtu.lv
fax. +371 67089490

SATURS

DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS	5
DARBA GALVENĀS ZINĀTNISKĀS IZSTRĀDNES	16
1. LATVIJAS ENERGOAPGĀDES SISTĒMAS RAKSTUROJUMS	16
2. ENERĢĒTISKO SISTĒMU MODEĻI.....	24
3. LATVIJAS ENERĢOSISTĒMAS ATTĪSTĪBAS MODELIS	34
4. MODELĒŠANAS REZULTĀTU ANALĪZE.....	42
SECINĀJUMI	47
PRIEKŠLIKUMI	49
KOPSAVILKUMĀ IZMANTOTIE AVOTI UN LITERATŪRA	51

DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte

Ekonomikas attīstībai nepieciešami ievērojami energoresursi. No ekonomikas attīstības, tās struktūras izmaiņām un izmantotajām tehnoloģijām ir atkarīgs pieprasījums pēc energoresursiem.

Lai nodrošinātu pietiekamu un nepārtrauktu enerģijas piegādi, ievērojot drošas apgādes sistēmas un vides prasības, jāizmanto mūsdienīgi energoapgādes sistēmas vadības, prognozēšanas un plānošanas līdzekļi. Šo līdzekļu vidū īpašu vietu ieņem dažāda tipa modeļi. Energosistēmas modeļi ir svarīgi instrumenti, lai varētu analizēt, prognozēt, plānot, optimāli regulēt sarežģītas mijiedarbības starp enerģētiku un vidi, tehnoloģiju izmaiņām un enerģijas patēriņu.

Pēdējos desmit gados energoapgādes noteiktie mērķi un pasākumi nav bijuši atbilstoši reālajām tehnoloģiju iespējām, izmaksām un energoresursu cenu konjunktūrai. Tas ir negatīvi ietekmējis Eiropas Savienības valstu ekonomisko attīstību. Tiek meklēti risinājumi sabalansētai attīstībai un energoresursu cenu mazināšanai, vienlaicīgi ievērojot ietekmes uz vidi faktoros. Komplicēts uzdevums ir stiprināt enerģētikas sektora konkurētspēju, nemainot iepriekš pieņemto klimata pārmaiņu samazināšanas stratēģiju.

Pašlaik pastāv dažādi viedokļi par atjaunīgo energoresursu (AER) izmantošanas mērķiem un atbalsta shēmām. Grūti prognozējamo ražošanas resursu sabalansēšanai un rezervēšanai ir nepieciešami attiecīgi ģenerējoši avoti. ES dalībvalstis meklē risinājumus, kā nodrošināt investīcijas fosilā kurināmā elektrostacijās, lai tās varētu nodrošināt AER elektrostacijām balansēšanas un rezervēšanas pakalpojumus.

Vienlaicīgi attīstās elektroenerģijas tirgus organizācija un paplašinās tirgus zonas. Latvijā un visā Baltijas reģionā, realizējot jaunus pārvades tīkla savienojumus ar Somiju, Zviedriju un Poliju, palielinās elektroenerģijas importa un eksporta iespējas. Tas nosaka arī lielākas tirgus cenu svārstības reģionā. Realizējot AER projektus ar mainīgu un grūti prognozējamu izstrādi, šīs svārstības pastiprinās. Tas savukārt nosaka nepieciešamību mainīt tehnoloģiskos procesus energosistēmas vadībā un jaudu ražošanas portfeļa sastāvu.

Daudzus no šiem problēmjaudājumiem var risināt ar matemātiskās modelēšanas instrumentārija palīdzību. Tā, izmantojot energosistēmas modeļus, var risināt jautājumus par vides ietekmi uz enerģijas piegādes struktūru un izmaksām, elektroenerģijas tirgus paplašināšanas ietekmi uz ilgtermiņa jaudu attīstību, optimālo ražošanas jaudu un kurināmā piegādes infrastruktūras attīstību atkarībā no resursu cenu konjunktūras un pieprasījuma.

Tāpēc arī pēdējos gados kopējais pieejamo un lietojamo modeļu skaits ir ievērojami pieaudzis, un rodas jautājumi, kurš modelis ir vairāk piemērots konkrētam mērķim vai situācijai.

Zinātniskajā literatūrā ir pieejami dažāda tipa modeļu raksturojumi un apraksti. Modeļus klasificē pēc to lietošanas veidiem, metodēm, lietošanas ģeogrāfiskā mēroga (reģions, valsts), reģionālās un valsts specifikas. Ir tā saucamie “augšupejošie” jeb inženiertehniskie un “lejupejošie” jeb makroekonomiskie modeļi. Tie aptver dažādas metožu grupas: stohastiskos un determinētos modeļus, aģentu un multiaģentu modeļus, faziloģikas un intervālu matemātiskās programmēšanas modeļus, izmaksu–izlaides tabulu modeļus u. c. Visbiežāk enerģijas pieprasījuma un piedāvājuma prognozēs Eiropas Savienības valstīs ir lietotas hibrīdās modelēšanas sistēmas. Makroekonomiskie enerģētiskie modeļi parasti attēlo ekonomiku kopumā valsts vai reģionālā līmenī. Tie ietver vispārīgus tehnoloģiskos aprakstus, bet nesniedz pietiekamas norādes par tehnoloģiskā progressa iespējām.

Latvijas elektroapgādes ilgtermiņa prognozēšanā, analīzē un scenāriju izstrādāšanā izmantotās optimizāciju metodes balstītas uz apjomīgu datu analīzi, detalizētu patēriņa un piegādes struktūru izvērtējumu dažādiem scenārijiem. Tomēr vairākos gadījumos ietekmējošo faktoru un ekonomiskās situācijas izmaiņas ir apsteigušas izvērtējumos veiktās korekcijas. Tas rada nepieciešamību konkrētos apstākļos vienlaicīgi lietot dažādas metodes un modeļus, bieži vien arī tādas, kuriem ir mazāka detalizācijas pakāpe un precizitāte, bet kuri ļauj operatīvāk veikt attīstības scenāriju optimizācijas rezultātu izvērtēšanu. Tas ir svarīgi gadījumos, kad īsos termiņos jāpieņem lēmumi par stratēģiskiem projektiem, kas būtiski ietekmē vairākas tautsaimniecības nozares vai energoapgādes nodrošinājuma pakalpojumus.

Energoapgādes sistēmu modelēšanas mērķis ir novērtēt šo energoapgādes sistēmu, galvenokārt analizējot informāciju par sakarībām starp energoapgādes svarīgākajiem elementiem, izmaksām un cenām. Literatūrā ir minēts liels skaits šo modeļu, aprakstot arī to risināšanas metodes, tomēr bieži dots nepilnīgs ieskats par to lietojamību. Tāpēc dažu šo modeļu lietderība politikas veidotājiem un infrastruktūras investoriem ir ne vienmēr pārrēdzama. Vairāku modeļu praktiskā izmantošana ir bijusi ierobežota, jo tie nespēj nodrošināt programmas struktūras pārskatīšanu un rezultātu aktualizēšanu pietiekami īsos termiņos.

Darba mērķis

Izstrādāt un aprobēt energoapgādes nodrošinājuma modeļus, fokusējoties uz enerģētikas ilgtermiņa plānošanas optimizāciju un Latvijas ilgtspējīgas attīstības nodrošināšanu no energoresursu izmantošanas viedokļa.

Darba uzdevumi

Darba mērķa sasniegšanai tika izvirzīti šādi uzdevumi.

1. Izanalizēt Latvijas energoapgādes sistēmu, tās specifiku, energoapgādes nodrošinājumu, energoapgādes tehnoloģiskos, ekonomiskos un vadības aspektus.
2. Izpētīt pasaulē lietojamo enerģētisko sistēmu modeļus, to lietošanas iespējas, modelēšanas metodes, datorprogrammas, algoritmus, to izmantošanas veidus enerģētisko sistēmu attīstības plānošanā un prognozēšanā, analīzē un darbības efektivitātes noteikšanā.
3. Izstrādāt modeļus, to modifikācijas un algoritmus aprēķinu veikšanai Latvijas konkrētajai situācijai.
4. Apkopot nepieciešamo statistisko, normatīvo, ekspertu un citu informāciju modeļu realizācijai.
5. Veikt aprēķinus ar modeļu palīdzību, izstrādājot attīstības scenārijus un imitējot dažādu faktoru iedarbību, resursu, jaudu un citas izmaiņas.

Pētījuma objekts

Par pētījuma objektu ir izvēlēta Latvijas energoapgādes sistēma, kas ietver savstarpēji saistītus elektroapgādes nodrošinājuma un centralizētās siltumapgādes sistēmas elementus valstī. Promocijas darbā izstrādātā modeļa aprobācijas procesā pētījuma objekts tika sašaurināts uz centralizētas siltumapgādes un koģenerācijas objektu kopumu.

Pētījuma priekšmets

Pētījuma priekšmets ir energoapgādes analīzes, plānošanas, prognozēšanas, optimizēšanas modeļi un to lietošanas iespējas ilgtermiņa energoresursu nodrošinājuma noteikšanai.

Darba metodoloģiskais pamats

Pētījuma teorētisko un metodoloģisko pamatu veido ārvalstu (*Herbst, A., Kemfert, C., Schade, W., Forrester, J. W., Kremers, E. Timilsina, R. G., Wallace, S. W., Fleten, S. E., Zeng,*

Y., Schulz, V., Stehfest, H., Bernal-Agustín, J. L. Martinsen, D. u. c.) un Latvijas autoru (Žīgurs A., Kuņickis, M., Gerhards J., Sauhats, A., Junghāns, G., Linkevičs, O. u. c.) zinātniskie darbi, teorētiskās un praktiskās atziņas energoapgādes sistēmu attīstības modelēšanas jomā.

Pētījuma informatīvā bāze

Darbā izmantota Latvijas Republikas Centrālās statistikas pārvaldes informācija, AS *Latvenego* publicētā un nepublicētā informācija, *Eurostat* datu bāzes dati, Pasaules Enerģijas padomes informatīvie materiāli, Latvijas un ārvalstu pētniecības un valsts iestāžu ziņojumi, publikācijas un materiāli. Likumdošanas un institucionālā regulējuma atspoguļošanai darbā izmantoti tādi informācijas avoti kā Eiropas Savienības un Latvijas valsts normatīvie akti, attīstības plānošanas dokumenti, attīstības politikas dokumenti u. c.

Izmantoti zinātnisko konferenču un semināru materiāli, zinātniskā literatūra, kas pieejama *Web of Science*, *Scopus*, *ScienceDirect*, *Ebrary* un citās elektroniskajās datu bāzēs.

Pētījumā izmantotās metodes

Darbā analizētas un izmantotas vispārējās teorētiskās pētīšanas metodes, t. sk. indukcijas un dedukcijas, analīzes un sistēzes, sistēmiskās pieejas metodes, kā arī konkrētās metodes, piemēram, matemātiskās modelēšanas, sistēmdinamikas, korelācijas un regresijas, scenāriju analīzes, stratēģisko lēmumu pieņemšanas, klasifikācijas, bilances un ekspertu vērtējumu, kontentanalīzes metodes.

Pētījuma zinātniskā novitāte

Promocijas darba zinātniskā novitāte ir šāda.

1. Kritiski izvērtēti pašlaik pasaulē lietotie modeļi enerģētikas attīstības plānošanai un vadības procesu nodrošināšanai, noteikti to ierobežojumi un izmantošanas iespējas Latvijas apstākļos.
2. Izanalizēti Latvijā lietotie energoapgādes plānošanas modeļi un savstarpēji salīdzināta to lietošana, iegūtie prognožu rezultāti, to atbilstība esošai situācijai.
3. Izstrādāti energoapgādes nodrošinājuma sistēmdinamikas, optimizācijas un statistiskie modeļi un algoritmi, ņemot vērā Latvijas un reģiona enerģētikas procesu aktualitātes.
4. Izstrādāti principi un priekšlikumi:
 - elektroapgādes un centralizētās siltumapgādes mijiedarbības analīzei un ietekmei uz valsts energoapgādes efektivitātes un nodrošinājuma rādītājiem;

- līdz šim lietoto optimizācijas metožu uzlabošanai enerģētikas nozarē, novērtējot AER integrāciju elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanā.
5. Papildus reģionāla mēroga analīzes rezultātā iegūti elektroenerģijas ražošanas jaudu attīstības scenāriju rādītāji pie noteiktas ārējo faktoru nosacījumu konjunktūras (ES likumdošana, importa resursu cena, kaimiņvalstu kompāniju rīcība kopīgajā tirgus reģionā).

Pētījuma rezultātu aprobācijas un praktiskais lietojums

Promocijas darba rezultātiem ir gan teorētiska nozīme, gan arī praktiskas izmantošanas iespējas reģionālās energoapgādes nozares plānošanas un energoefektivitātes mērķu sasniegšanas vadības uzlabošanā.

Par promocijas darba pētījuma rezultātiem ziņots starptautiskās zinātniskās konferencēs Latvijā un ārvalstīs:

- 2016. gada 6.–8. jūnijā konferencē Florencē (Itālija) “16th IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering”;
- 2016. gada 12.–13. maijā konferencē Viļņā (Lietuvā) “9th International Scientific Conference on Business and Management”;
- 2015. gada 11.–13. maijā konferencē Rīgā (Latvija) “IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG)”;
- 2015. gada 6.–9. maijā konferencē Rīgā (Latvija) “REHVA Annual Meeting and the Conference on Advanced HVAC and Natural Gas Technologies”;
- 2015. gada 14.–16. oktobrī 56. RTU starptautiskajā konferencē Rīgā (Latvija) “Scientific Conference on Economics and Entrepreneurship”;
- 2014. gada 14. oktobrī konferencē Rīgā (Latvija) “55th International Scientific Conference on Power and electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)”.

Pētījuma rezultāti ir aprobēti AS *Latvenergo*, izstrādājot ilgtermiņa attīstības programmas un vidēja termiņa stratēģiju.

Pētījuma rezultāti ir izmantoti, izstrādājot praktiskus priekšlikumus par elektrobilanču prognozēm Ekonomikas ministrijas gatavotajam dokumentam “Latvijas Enerģētikas ilgtermiņa stratēģija 2030 – konkurētspējīga enerģētika sabiedrībai” (2012. g.) un “Enerģētikas attīstības pamatnostādnes 2014.–2020. gadam” (2014. g.). Promocijas autora

izpētes dati ir izmantoti analīzē “Analyses of Energy Supply Options and Security of Energy Supply in the Baltic States” (IAEA, 2007. g.).

Promocijas darba rezultāti ir izmantoti, piedaloties projektā par AS *Latvenergo* HES un TEC darbības optimizāciju kopā ar RTU speciālistiem, kā arī Valsts pētījumu programmas 5.2. “EKOSOC-LV” apakšprojektā 5.2.1. “Izpētīt Latvijas uzņēmumu konkurētspēju ārējos tirgos un sniegt priekšlikumus tās stiprināšanai” (LR Izglītības un zinātnes ministrijas reģistrācijas Nr. 02.2-09/13).

Hipotēze

Dažāda hibrīda tipa modeļu inovatīva izmantošana enerģētikā ļauj kompleksi un pietiekami precīzi optimizēt energoresursu izmantošanu gan atsevišķā teritoriālā veidojumā (pilsētā), gan reģionālā mērogā ilgspējīgas attīstības nodrošināšanai.

Tēzes

1. Izstādātais modelēšanas instrumentārijs ir pamats optimālai resursu vadībai energoapgādē un tās ilgtspējīgai attīstībai, ievērojot ES efektivitātes, atjaunīgo energoresursu izmantošanas un apgādes drošuma normatīvos dokumentus.
2. Adekvāta modeļa izstrāde un ieviešana sniedz iespēju uzlabot energoapgādes optimizācijas rezultātus.
3. Lai nodrošinātu energoapgādes uzņēmumu efektīvu un ilgtspējīgu darbību, iespējams izveidot efektīvu apakšnozaru lēmumu pieņemšanas mehānismu, izmantojot modelēšanas rezultātus.

Publikācijas

Promocijas darba autora izpētes rezultāti ir publicēti 25 zinātniskās publikācijās, tajā skaitā 11 vispāratzītos recenzējamos starptautiski atzītos zinātniskos izdevumos.

Publikācijas zinātniskajos žurnālos

1. Balodis, M., Skribans, V., Ivanova, P. Development of a System Dynamics Model for Evaluation of the Impact of Integration of Renewable Energy Sources on the Operational Efficiency of Energy Supply Facilities: Theoretical Background. *Ekonomika un uzņēmējdarbība*. Rīga, Nr. 28, 2016, 4.–12. lpp. ISSN 2256-0386. e-ISSN 2256-0394. Pieejams: doi:10.1515/eb-2016-0001

2. Kuņickis, M., Balodis, M., Sarma, U., Cers, A., Linkevics, O. Efficient Use of Cogeneration and Fuel Diversification, *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, Fizikālās enerģētikas institūts, Rīga, Nr. 6, Vol. 52, 2015, pp. 38–47. ISSN 0868-8257
3. Balodis, M., Gavars, V., Andersons, J. Analytical Treatment of Forecasts of Electric Energy Consumption in Latvia, *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, Fizikālās enerģētikas institūts, Rīga, Nr. 3, Vol. 51, 2014, pp. 3–14. ISSN 0868-8257

Publikācijas starptautisku zinātnisko konferenču pilna teksta rakstu krājumos

4. Skribans, V., Balodis, M. Development of the Latvian Energy Sector Competitiveness System Dynamic Model. In: 2016 9th International Scientific Conference on Business and Management: Proceedings, Vilnius, Lithuania, 12–13 May 2016. Vilnius: VGTU Press, pp. 1–10. eISSN 2029-929X, eISBN 978-609-457-921-9.
5. Ivanova, P., Sauhats, A., Linkevics, O., Balodis, M. Combined Heat and Power Plants Towards Efficient and Flexible Operation. 16 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, Florence, Italy, 7–10 June 2016. 6 pp.
6. Kuņickis, M., Balodis, M., Linkevičs, O., Ivanova, P. Flexibility Options of Riga CHP-2 Plant Operation under Conditions of Open Electricity Market. No: 2015 IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), Latvija, Rīga, 11.–13. maijs, 2015. Rīga: Riga Technical University, 2015, 548.–553. lpp. ISBN 978-1-4799-9978-1. Pieejams: doi:10.1109/PowerEng.2015.7266375
7. Žīgurs, Ā., Kuņickis, M., Linkevičs, O., Stuklis, I., Ivanova, P., Balodis, M. Evaluation of Exhaust Gas Condensing Economizer Installation at Riga CHP Plants. In: Proceedings of REHVA Annual Conference 2015, Latvia, Rīga, 6–9 May 2015. Rīga: RTU Press, 2015, pp. 149–154. ISBN 978-9934-10-685-9. e-ISBN 978-9934-10-717-7. Available from: doi:10.7250/rehvaconf.2015.021
8. Sauhats, A., Linkevičs, O., Varfolomejeva, R., Žalostība, D., Kuņickis, M., Balodis, M. Towards Smart Control and Optimization of the Small-Scale Power System. In: 2015 IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives: Proceedings, Latvia, Rīga, 11–13 May 2015. Rīga: RTU, 2015, pp. 440–446. ISBN 978-1-4799-9978-1.

9. Sauhats, A., Varfolomejeva, R., Linkevičs, O., Petričenko, R., Kuņickis, M., Balodis, M. Analysis and Prediction of Electricity Consumption Using Smart Meter Data. In: 2015 IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG): Proceedings, Latvia, Riga, 11–13 May 2015. Riga: Riga Technical University, 2015, pp. 17–22. ISBN 978-1-4673-7203-9. e-ISBN 978-1-4799-9978-1. e-ISSN 2155-5532. Available from: doi:10.1109/PowerEng.2015.7266290
10. Balodis, M., Ekmanis, J., Žīgurs, Ā., Kuņickis, M., Zeltiņš, N., Gavars, V. The Latvian Electricity Supply Trilemma. No: The 12th WEC Central & Eastern Europe Regional Energy Forum (FOREN 2014) „Tomorrow's Energy: from Vision to Reality”, Rumania, Bucharest, 22.–26. jūnijs, 2014. Bucharest: World Energy Council (WEC), Romanian National Committee, 2014, 1.–8. lpp.
11. Linkevičs, O., Mahņitko, A., Mjadjuta, K., Balodis, M. Modelling of Wind, Hydroelectric and Thermal Power Plant Coordinated Dispatch in Latvian Power System. In: 2014 55th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON): Proceedings, Latvia, Riga, 14 October 2014. Riga: RTU Press, 2014, pp. 167–171. ISBN 978-1-4799-7460-3. e-ISBN 978-1-4799-7462-7. Available from: doi:10.1109/RTUCON.2014.6998218

Publikācijas citos zinātniskajos izdevumos

1. Balodis M., Krickis O., Ivanova P.; N-Ergie siltuma akumulācijas realizācija Nirnbergas centralizētajā siltumapgādē; *Enerģija un Pasaule* Nr. 3 (98), 2016, 40.–44. lpp.
2. Balodis, M., Linkevičs, O., Ivanova, P., Gavars, V. Latvijas primāro energoresursu patēriņš: vēsturiskās izmaiņas un prognozes. *Enerģija un Pasaule*, 2015, Nr. 5, 15.–19. lpp. ISSN 1407-5911.
3. Kuņickis, M., Balodis, M., Ķiene, S. ENTSO-E jaunie tīkla kodeksi un jaunas prasības ģeneratoriem, *Enerģija un Pasaule*, Nr. 3 (92), 2015, 36.–39. lpp
4. Balodis, M., Počs, R., Kuņickis, M. Elektroapgādes attīstības optimizācija ilgtspējīgai valsts ekonomiskai attīstībai. *Enerģija un Pasaule*, 2015, Nr. 1, 30.–35. lpp. ISSN 1407-5911.
5. Linkevičs, O., Balodis, M., Ivanova, P. Stokholmas siltumapgādes sistēmas attīstības tendences. *Enerģija un Pasaule*, 2014, Nr. 3, 52.–61. lpp. ISSN 1407-5911.
6. Kuņickis, M., Balodis, M., Linkevičs, O., Stuklis, I. ES enerģētikas politikas krustceļš. *Enerģija un Pasaule*, 2014, februāris – marts, 19.–23. lpp. ISSN 1407-5911.

7. Balodis, M., Stuklis, I., Vesperis, E. Eiropas Parlamenta un Padomes energoefektivitātes direktīvas 2012/27/ES ieviešana. *Enerģija un Pasaule*, 2014, aprīlis – maijs, Nr. 2, 10.–13. lpp. ISSN 1407-5911.
8. Kuņickis, M., Balodis, M. AER – energoapgādes ieguvumi un problēmas. *Enerģija un Pasaule*, 2013, oktobris – novembris, Nr. 5, 32.–36. lpp. ISSN 1407-5911.
9. Balodis, M., Vesperis, E. Elektroenerģētika topošajā Eiropas Savienības Energoefektivitātes direktīvā. *Enerģija un Pasaule*, 2011, decembris – janvāris, Nr. 6, 44.–48. lpp. ISSN 1407-5911.
10. Balodis M., Gavars V., Linkevičs O. Elektrības patēriņš strauji pieaug. *Enerģija un Pasaule*, Nr. 4 (45), Rīgā, 2007, 54.–56. lpp.
11. Balodis M., Gavars V., Linkevičs O. ES Direktīva par elektroenerģijas piegādes drošumu un investīcijām tā nodrošināšanai. *Enerģija un Pasaule*, Nr. 1 (36), Rīga, 2006, 16.–18. lpp.
12. Linkevičs O., Klāvs G., Gavars V., Balodis M., Andersons J. Baltijas valstu energoresursu apgāde līdz 2025. gadam. *Enerģija un Pasaule*, Nr. 4 (33), Rīga, 2005, 32.–35. lpp.
13. Balodis M., Gavars V. Latvenergo energosistēma nākošajos desmit gados. *Enerģētika un Sabiedrība*, Rīga, 2003, Nr. 25, 6.–8. lpp.
14. Gavars V., Andersons J., Balodis M. Latvijas elektroenerģētika Eiropas skatījumā. *Enerģētika un Sabiedrība*, 2003, Nr. 25, 42.–44. lpp.

Iesniegts publicēšanai

1. Zeltiņš, N., Kuņickis, M., Balodis, M., Sarma, U., Linkevičs, O. Latvian energy trilemma index in the light of contradiction between the energy efficiency and renewable energy targets. 23rd World Energy Council „Embracing New Frontiers”, Istanbul, Turkey, 9–13 October 2016 (iesniegts konferencei).

Apbalvojumi uz zinātniskā izcilība

1. Sertifikāts (No. BM/16137) par dalību 9. starptautiskajā zinātniskajā konferencē “Business and Management’ 2016” plenārsēdē ar referātu “Development of the Latvian energy sector competitiveness system dynamic model”, 2016. g. 12.–13. maijs, Viļņa, Lietuva.

Promocijas darba apjoms un struktūra

Promocijas darbs ir pastāvīgs oriģināls zinātnisks pētījums, kas izstrādāts un uzrakstīts latviešu valodā. Darba kopējais apjoms, neskaitot pielikumus, ir 150 lappuses.

Darbs sastāv no ievada, četrām nodaļām, secinājumiem un priekšlikumiem, izmantotās literatūras un avotu saraksta, 8 pielikumiem. Darbā ir iekļauti 67 attēli un 26 tabulas, kas paskaidro un ilustrē pētījuma saturu.

Promocijas darbam ir šāds saturs:

APZĪMĒJUMI UN SAĪSINĀJUMI

IEVADS

1. LATVIJAS ENERGOAPGĀDES SISTĒMAS RAKSTUROJUMS

1.1. Primāro energoresursu analīze

1.1.1. Latvijas primāro energoresursu patēriņa struktūras analīze

1.1.2. Latvijas primārie energoresursi siltumenerģijas ražošanai

1.1.3. Latvijas primārie energoresursi elektroenerģijas ražošanai

1.1.4. Primāro energoresursu patēriņš tautsaimniecības sektoros

1.2. Elektroapgādes nodrošinājums Latvijā

1.3. Baltijas jūras valstu elektroapgāde

1.4. Elektriķu ģenerējošo tehnoloģiju ražošanas izmaksas un energoresursu cenas

2. ENERĢĒTISKO SISTĒMU MODEĻI

2.1. Enerģētisko sistēmu modeļu attīstība

2.2. Optimizācijas modeļi

2.3. Enerģētisko sistēmu modeļu klasifikācija

2.4. Enerģētisko sistēmu modeļu salīdzinājums

2.5. Latvijas un Baltijas jūras valstu elektroenerģijas ražošanas jaudu attīstības optimizācijā lietotie modeļi

2.6. Modeļu tālākas pilnveidošanas iespējas

3. LATVIJAS ENERGOSISTĒMAS ATTĪSTĪBAS MODELIS

3.1. Galvenie modeļa bloki un apakšbloki

3.1.1. Centralizētās siltumapgādes bloks

3.1.2. Elektroapgādes bloks

3.1.3. Modeļa elektroenerģijas patēriņa bloks

3.1.4. TEC elektroenerģijas ražošanas bloks

3.1.5. Elektroenerģijas tirgus bloks

3.2. Energoapgādes objektu efektivitātes izvērtēšanas algoritms

4. MODELĒŠANAS REZULTĀTU ANALĪZE

4.1. Elektroenerģijas patēriņš

4.2. Siltumenerģijas pieprasījums un ražošana (TEC)

4.3. Elektroenerģijas tirgus prognoze

SECINĀJUMI

PRIEKŠLIKUMI

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

PIELIKUMI

Darba 1. nodaļā „Latvijas energoapgādes sistēmas raksturojums” sniegts Latvijas energoapgādes sistēmas apskats, detalizētāk izvērtējot primāro energoresursu patēriņa struktūru, resursu piegādes infrastruktūru, aktuālās izmaiņas reģionālajā elektroenerģijas tirgū un centralizētās siltumapgādes sistēmas aspektus.

Darba 2. nodaļā „Enerģētisko sistēmu modeļi” ietver optimizācijas metožu un dažādu pasaulē pazīstamāko enerģētisko sistēmu modeļu teorētisko analīzi, kā arī lietoto optimizācijas modeļu priekšrocību un trūkumu izvērtējumu, ņemot vērā risināmo problēmu un uzdevumu daudzveidību. Pētījumā izvērtējums tiek veikts, ņemot vērā kontentanalīzes rezultātus. Sniegtas modeļu tālākas pilnveidošanas iespējas.

Darba 3. nodaļā „Latvijas energosistēmas attīstības modelis” izstrādāts energoapgādes efektivitātes novērtēšanas algoritms un tam atbilstošs hibrīda tipa modelis ar vairākiem apakšblokiem, balstoties uz analīzē izvirzītajiem priekšlikumiem un lietojot ekonometrisko un sistēmdinamikas metodi.

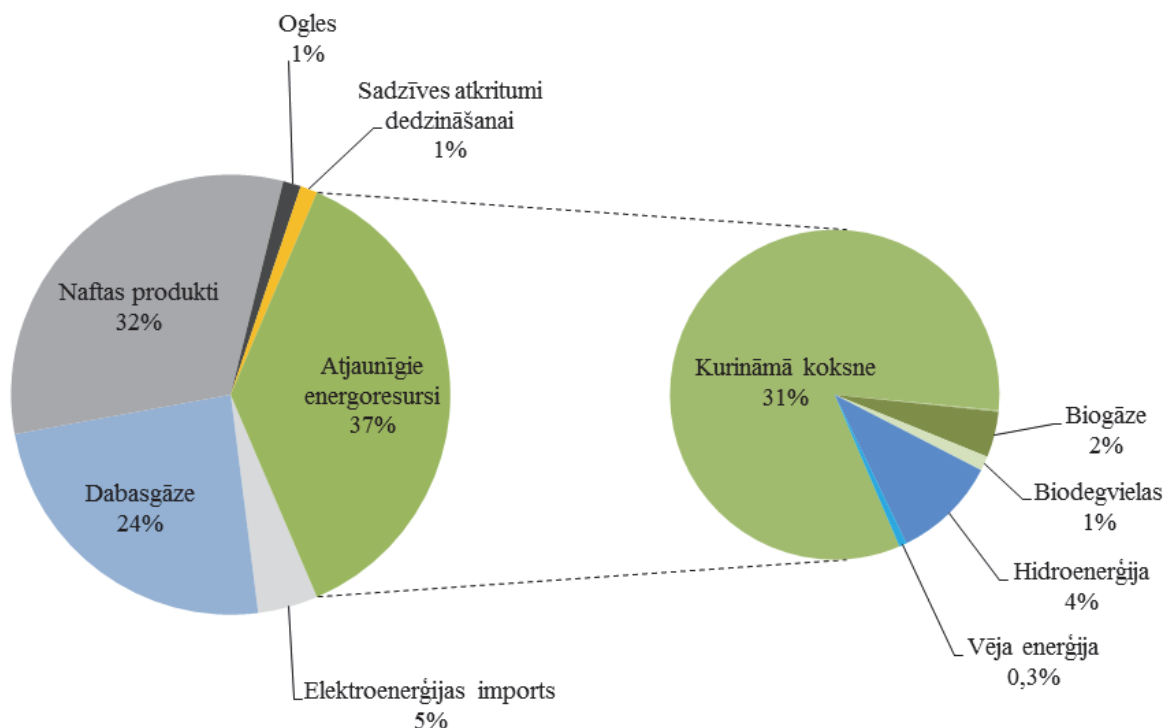
Darba 4. nodaļā „Modelēšanas rezultātu analīze” veikta izstrādātā hibrīda modeļa aprobācija, sastādītas pieprasījuma prognozes, analizēta kompleksu faktoru ietekme uz kopējās energoapgādes sistēmas efektivitāti, elektroapgādes bilanci un galapatērētāju ieguvumiem/ zaudējumiem. Vērtēta kurināmā diversifikācija centralizētajā siltumapgādē, tās ietekme uz koģenerācijas izmantošanu un ražošanas efektivitāti. Analizēti un salīdzināti Latvijā praktiski lietoto ilgtermiņa plānošanas enerģētisko modeļu rezultāti.

DARBA GALVENĀS ZINĀTNISKĀS IZSTRĀDNES

1. LATVIJAS ENERGOAPGĀDES SISTĒMAS RAKSTUROJUMS

Pirmajā nodaļā ir 28 lappuses, 18 attēls un 14 tabulas.

Autors ir veicis Latvijas primāro energoresursu patēriņa struktūras analīzi. Autors ir apkopojis datus par primārās enerģijas vēsturisko patēriņu, izmantojot Centrālās statistikas pārvaldes un citu uzņēmumu sniegto informāciju. 1. attēlā ir sniegts detalizēts primāro energoresursu patēriņš. Šis patēriņš Latvijā ir salīdzināts ar citu valstu datiem.



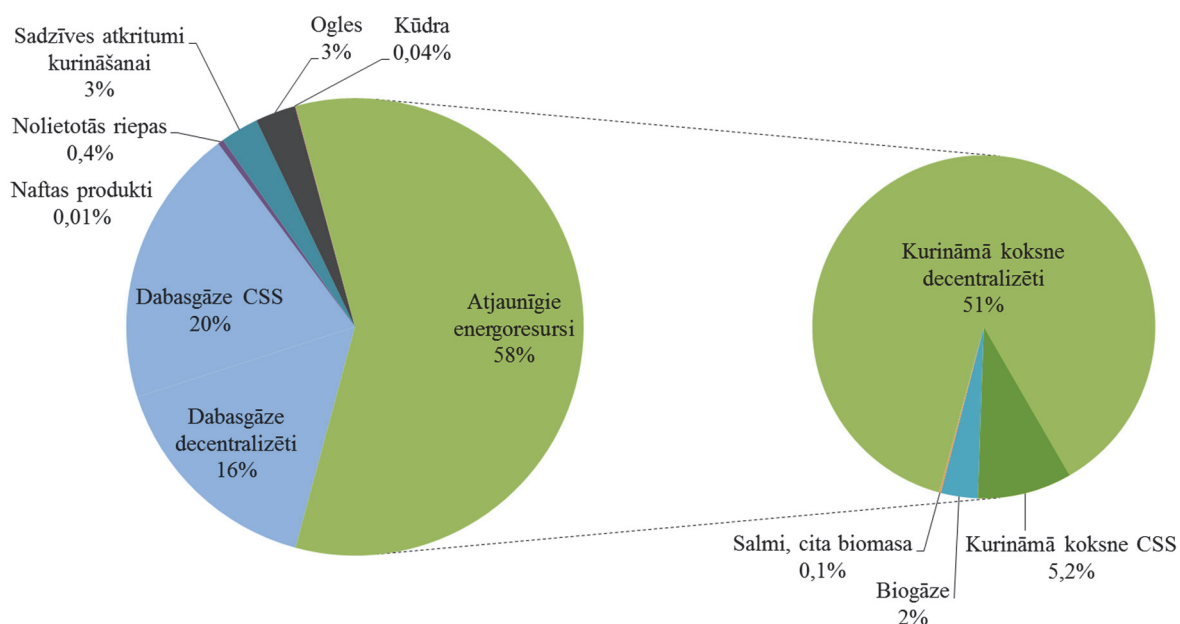
1. att. Primāro energoresursu patēriņš Latvijā 2014. gadā [1].

Enerģijas patēriņu būtiski ietekmē pārveidošanas sektors – tā tehnoloģiskā attīstība un efektivitāte, pārveidojot primāros resursus enerģijas veidos, ko var izmantot gala patērētāji.

Atjaunīgie energoresursi (AER) visvairāk tiek izmantoti decentralizētajā siltumapgādē privātmāju un nelielu objektu apkurei. Savukārt dabaszgāzes lielais īpatsvars elektrības ražošanai ir izskaidrojams ar šī kurināmā lielo sadegšanas temperatūru, kas ļauj Karno ciklā iegūt augstu lietderības koeficientu un ražot starptautiskajā tirgū konkurētspējīgu elektroenerģiju.

Primāro energoresursu patēriņš Latvijā pēdējo desmit gadu laikā praktiski nav mainījies – 2004. gadā tas bija 188,7 PJ, bet 2014. gadā bija 188,1 PJ.

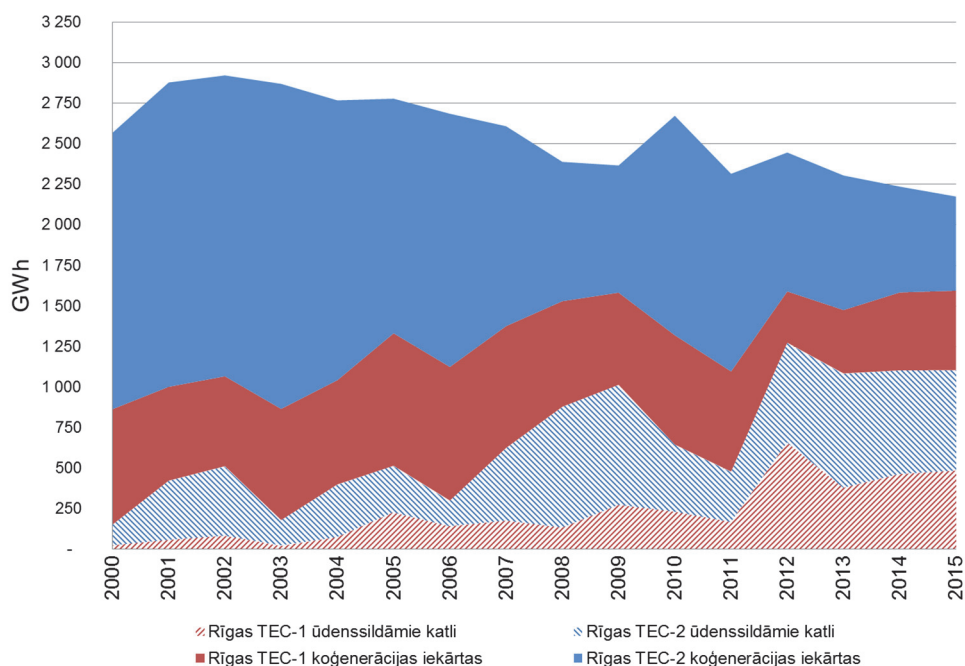
Lielākā daļa (58 %) siltumenerģijas ir iegūta no AER (2. attēls) un pārējais no fosilā energoresursa ar mazākajiem kaitīgajiem izmešiem – dabasgāzes.



2. att. Energoresursu patēriņš 2014. gada siltumenerģijas galapatēriņā 86,5 PJ (24,0 TW·h) [1].

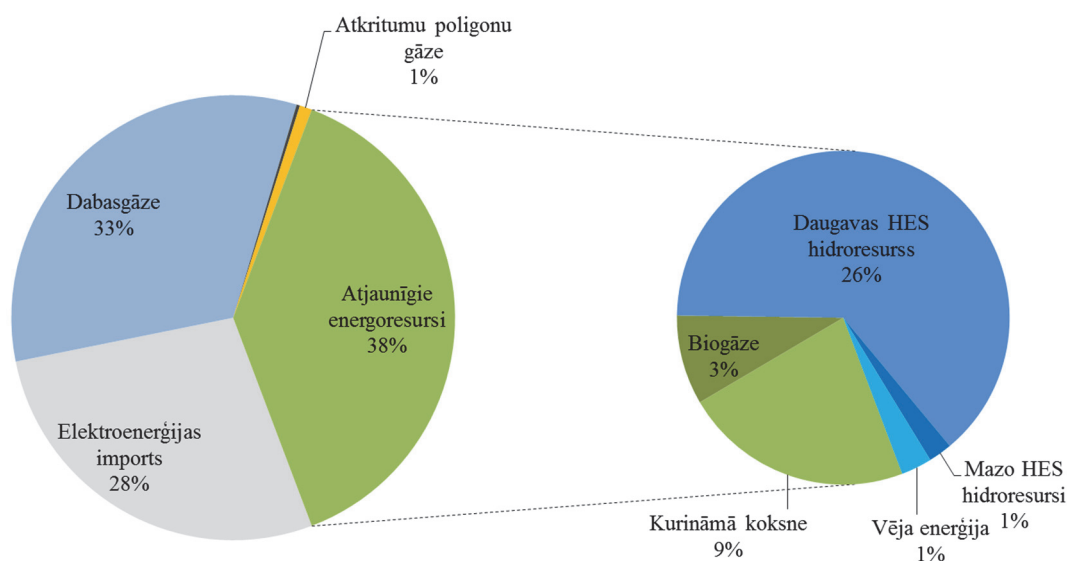
Siltumapgāde Latvijā tiek nodrošināta, izmantojot centralizētu siltumapgādi (CSS) (25 %) un decentralizētu siltumapgādi (75 %), ieskaitot lokālu un individuālu siltumapgādi. Lokālās siltumcentrāles (SC) un katlumājas (KM) nodrošina apmēram 5 % siltumenerģijas lietotāju siltumapgādi. Siltumenerģijas ražošanai Latvijā 2014. gadā darbojās 311 katlumāja (kopējā siltumenerģijas izstrāde 1,54 TWh) un 134 koģenerācijas stacijas (siltumenerģijas izstrāde 5,05 TWh). No tām AS *Latvenergo* ražotnēs 2014. gadā iegūta un nodota CSS vajadzībām 2,24 TWh siltumenerģijas. Rīgas CSS lielāko siltumapgādes avotu uzstādītās siltuma jaudas kopumā 2014. gadā bija 2596 MWth. AS *Rīgas siltums* 2013./2014. finanšu gadā piegādāja 2,7 TWh jeb 76 % no Rīgā nepieciešamās siltumenerģijas. Siltumenerģijas ražošanas apjomu dinamika Rīgas TEC-1 un TEC-2 ir atspoguļota 3. attēlā.

No 3. attēla var secināt, ka Rīgas TEC elastīgi var mainīt tehnoloģiskos procesus, siltumenerģiju ražojot koģenerācijas ciklā vai ūdenssildāmos katlos, atkarībā no ārējiem faktoriem (dabasgāzes cena, ārējais temperatūra, elektrības tirgus cenas radīta iespēja ražot elektroenerģiju koģenerācijas režīmā u. c.).



3. att. Siltumenerģijas ražošana Rīgas TEC (sagatavoja autors, balstoties uz [2]).

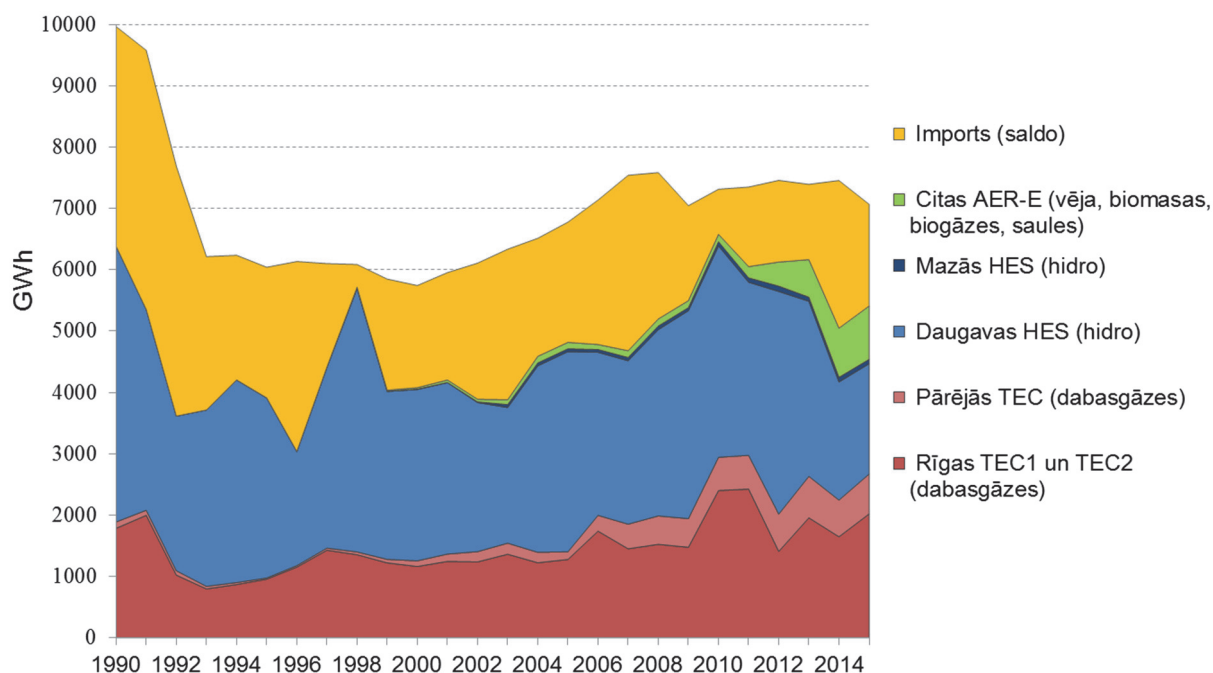
Latvijā lielākā daļa vietējās elektroenerģijas galapatēriņā ir saražota no atjaunīgiem resursiem (4. att.). Fosilo resursu daļa elektroenerģijas galapatēriņā 2014. gadā bija 33 % (2,18 TWh).



4. att. Energoresursu patēriņš elektroenerģijas galapatēriņā 2014. gadā 6,58 TW·h [1].

Būtisks energoresursu patēriņš ir rūpniecība, kā arī citas tautsaimniecības nozares. Dabāsgāzes patēriņš rūpniecībā un būvniecībā ir 11 %. Transporta sektora vajadzībām tika izmantoti 75 % no importētajiem naftas produktiem. Lai samazinātu vides piesārņojumu (īpaši pilsētās) un nākotnē būtiski samazinātu vai pat vietām aizstātu esošo iekšdedzes dzinēju transporta līdzekļu izmantošanu, Latvijā tiks attīstīts elektrotransports pēc izstrādātā “Elektromobilitātes attīstības plāna 2014.–2016. gadam”.

Elektroapgādes nodrošināšanai Latvijā 2014. gadā darbojās 390 elektrostacijas. Galvenokārt elektroapgādi nodrošina AS *Latvenergo* elektrostaciju komplekss (skat. 5. att.).



5. att. Elektroenerģijas vēsturiskais pieprasījums un ražošana Latvijā [20], [21].

Lielāko elektrības apjomu ražo Daugavas HES kaskāde, bet tās saražotais elektrības apjoms mainās atkarībā no ūdens caurplūdes. Daugavas hidroelektrostacijas galvenokārt nodrošina ģenerāciju diennakts maksimālās slodzes stundās. To ūdenskrātuviņu tilpums ir paredzēts nedēļas regulēšanai. Koģenerācijas staciju pieejamā jauda elektroenerģijas izstrādē ir atkarīga no pieprasītā siltuma daudzuma. Pārējo pieprasījumu nodrošina nelielās AER elektrostacijas, koģenerācijas elektrostacijas kondensācijas režīmā, kā arī elektrības imports. Elektroenerģijas ražošana Latvijā ir parādītā 1. tabulā.

1. tabula

Latvijas elektroapgādes nodrošinājums 2014. gadā [20], [21]

Elektrostacija	Uzstādītā jauda, MW	Pieejamā jauda, MW	Saražota elektrība, GWh
Rīgas termoelektrocentrāles	806	640	2335
Pārējās termoelektrocentrāles	120	110	594
Daugavas hidroelektrostacijas	1570	200	2809
Citas atjaunīgo energoresursu elektrostacijas	75	40	243

Astoņas lielākās elektrostacijas Latvijā 2014. gadā kopumā saražoja 3,7 TWh jeb 74 % no vietējās izstrādes. Elektrostacijas ar uzstādīto elektrisko jaudu mazāku par 4 MW Latvijā 2014. gadā kopumā saražoja 1,28 TWh elektroenerģijas jeb 26 % no vietējās izstrādes. Tās elektroenerģiju pārdod saskaņā ar MK 2010. gada noteikumiem Nr. 262 “Noteikumi par elektroenerģijas ražošanu, izmantojot atjaunojamos energoresursus, un cenu noteikšanas kārtību”.

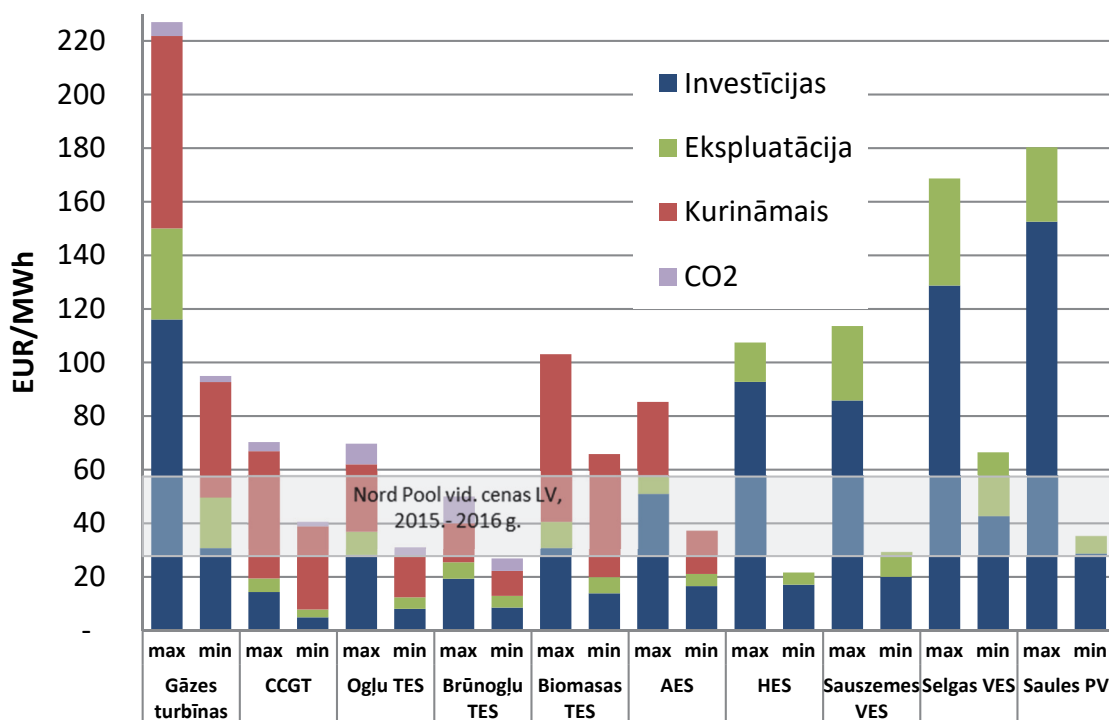
Latvijas elektroenerģētikas iespaids uz vidi ir minimāls. Latvijā ar atjaunīgiem energoresursiem un ar modernām koģenerācijas elektrostacijām, kuras izmanto kombinēto gāzes tvaika ciklu (CCGT), tiek saražoti ap 80 % no nepieciešamās elektrības.

Baltijas valstu (Igaunija, Latvija, Lietuva) kopējais elektroenerģijas patēriņš gadā ir apmēram 24 TWh. Baltijas elektroenerģijas slodzes maksimums ziemā ir ap 4600 MW, bet vidējais ap 2800 MW. Skandināvijā kopējais elektroenerģijas gada patēriņš ir ap 400 TWh, proti, 16 reizes lielāks nekā Baltijā [3]. Baltijas valstīs esošo elektrostaciju kopējā uzstādītā jauda ir ap 9300 MW. Lielākā daļa (ap 4000 MW) ir dabasgāzes elektrostacijas (galvenokārt Lietuvā), ap 2000 MW degslānekļa elektrostacijas Igaunijā un ap 1700 MW hidroelektrostacijas (lielākā daļa Latvijā).

2014. gadā Baltijas reģiona ārējā elektroenerģijas tirdzniecība bija 7 TWh, kas ir tuvu 30 % no kopējā Baltijas patēriņa. Šajā gadā tirdzniecības apjomi ar Skandināviju un Krieviju bija līdzvērtīgi.

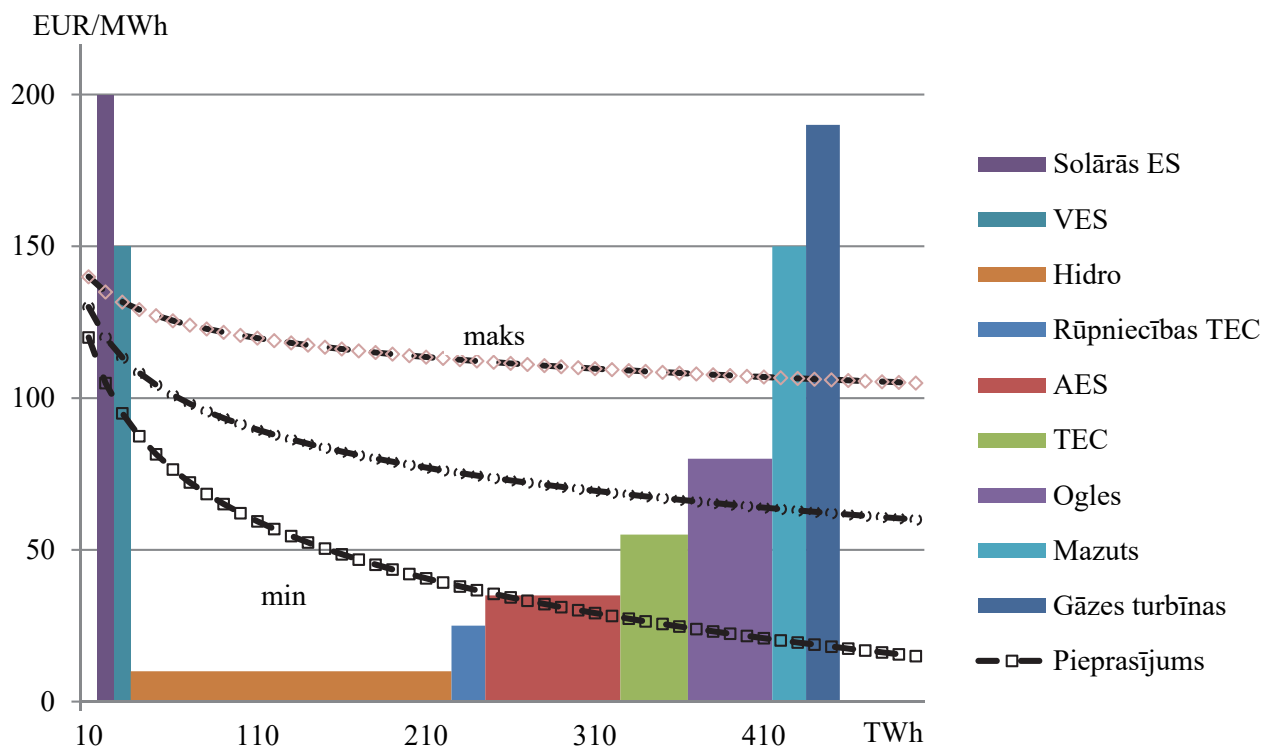
Promocijas darba autors ir veicis kvantitatīvu un kvalitatīvu elektroenerģijas ražošanas izmaksu salīdzinājumu. Ražošanas izmaksas un energoresursu cenas ir svarīgākie parametri, kuri nosaka tā vai cita veida enerģiju ģenerējošo tehnoloģiju izvēli, kā arī piegādes veidu un patēriņa apjomu. Arī dažāda tipa modeļos, veicot optimizācijas un citus aprēķinus un pamatojot dažādu energoapgādes sistēmu attīstības virzienu izvēli, energoresursu ražošanas izmaksas un cenas parasti ir noteicošie kritēriji.

Dažādu tehnoloģiju ražošanas izmaksu salīdzinājums ir iegūts, izmantojot 2014. un 2015. gada datus [4]. Šie dati ir salīdzināti ar *Nord Pool* biržas vidējām cenām kopš 2015. gada janvāra [5]. Salīdzinājums ir sniegts 6. attēlā. Analizējot elektroenerģijas ražošanas izmaksas, tika ņemta vērā vidējā pašizmaksa stacijas ekspluatācijas mūža garumā. Ar šo metodiku tika izvērtētas izmaksas vienai enerģijas vienībai ilgtermiņā, pieņemot nosacījumus vidējiem izlīdzinātiem ietekmes faktoriem (nodokļi, kurināmā cena, CO₂ kvotu cena, regulējošie dokumenti) un analizē piemērojot dažādus ekspluatācijas parametrus (noslogojums u. c.).



6. att. Ražošanas izmaksas dažādām tehnoloģijām (optimāla noslodze) [4], [5].

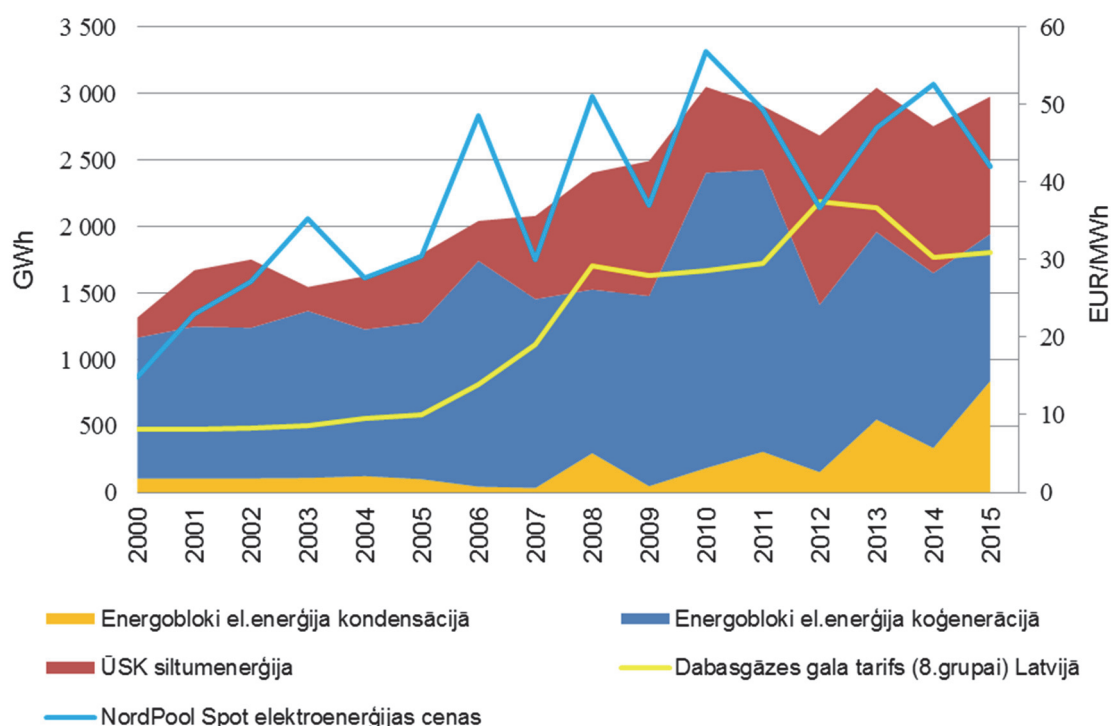
Izejot no dažādu tehnoloģiju aprēķinātajām pašizmaksām, tika sastādīts grafiks, kas raksturo tehnoloģiju izmantošanas savstarpējo konkurētspēju (7. att.).



7. att. Ražošanas jaudu tehnoloģiju konkurētspēja reģionā (sagatavoja autors).

No grafika var secināt, ka tehnoloģijas ar zemāku pašizmaksu tiek vairāk slogotas un iegūst lielāku tirgus daļu. Pie neliela elektroenerģijas pieprasījuma elektrostacijas ar augstām ražošanas izmaksām tiek minimāli noslogotas. Speciālu nišu tirgū ieņem AER tehnoloģijas – vēja un solārās elektrostacijas –, jo tām bieži tiek piemērots obligātais iepirkums (neatkarīgi no to konkurētspējas).

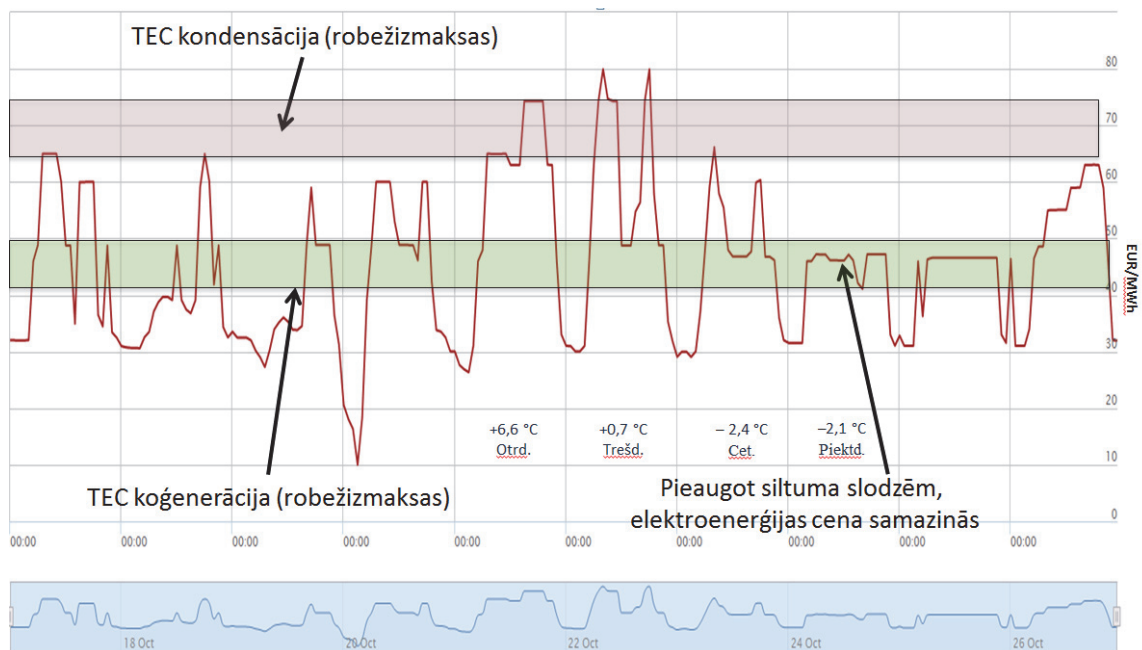
Sākot ar 2012. gadu, ir samazinājusies izstrāde koģenerācijas režīmā un pieaugusi ūdenssildāmo katlu (ŪSK) izmantošana (8. att.). To pamatā noteica elektroenerģijas cenas samazinājums *Nord Pool*, kā arī tā laika dabasgāzes cenu kāpums (trīs reizes, salīdzinot ar 2004. gadu). Dabasgāzes cenu pazeminājums nodrošinātu Rīgas TEC-1 un TEC-2 jaudas lielāku izmantošanu.



8. att. Elektroenerģijas ražošana un energoresursu cenas

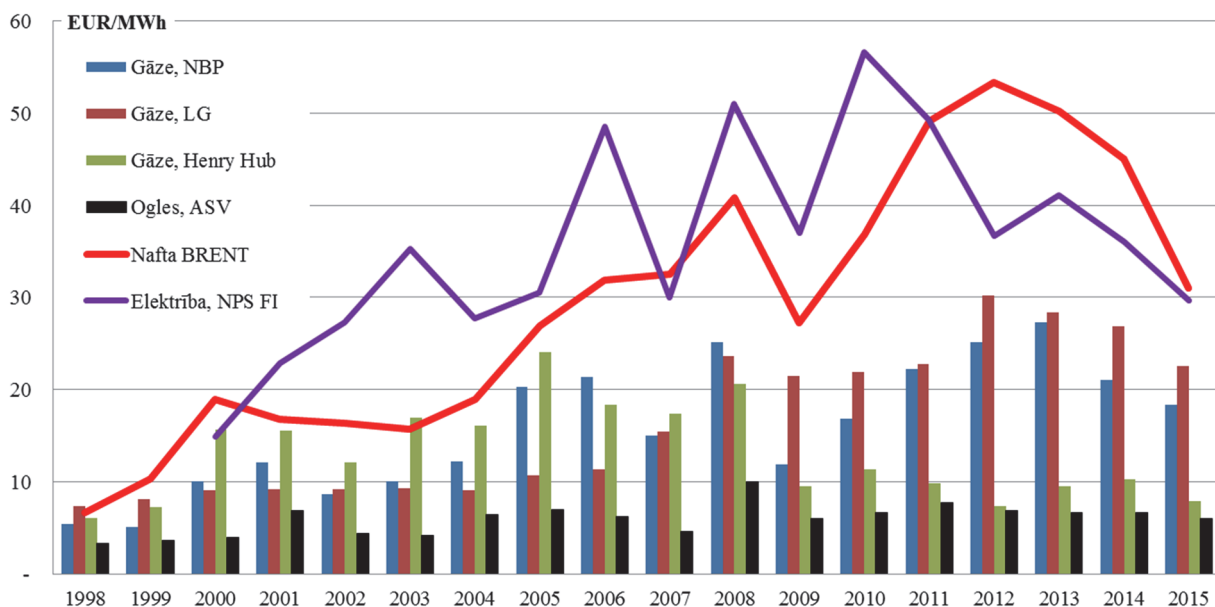
(sagatavoja autors, balstoties uz [2] un [5]).

Pastāv cieša sakarība starp enerģiju ģenerējošo tehnoloģiju pašizmaksu un elektroenerģijas un siltumenerģijas tirgus cenu. Tā elektroenerģijas cenu kritumu vairumtirdzniecībā noteica lētākas elektroenerģijas importa iespējas no Skandināvijas un Rīgas TEC darbība koģenerācijā. Latvijā cenu bieži noteica Rīgas TEC-2, kas Latvijas un Lietuvas cenu zonā bija pēdējais, dārgākais realizētais piedāvājums. Ja šīs jaudas nebūtu pieejamas, cena šajā apgabalā būtu ievērojami augstāka (9. att.).



9. att. Koģenerācijas staciju (Rīgas TEC-2) ietekme uz tirgus cenu
(sagatavoja autors, pamatojoties uz [5]).

Saistība starp lielāko izmaksu posteni – fosilo kurināmo cenām un saražotās elektroenerģijas tirgus cenu – ir sniegta 10. attēlā. Samazinoties šo kurināmo cenām pēc 2013. gada, atbilstoši kritās elektrības cenas *Nord Pool Spot* tirgū.



10. att. Energoresursu un elektroenerģijas cenu izmaiņas ilgtermiņā
(sagatavoja autors, pamatojoties uz [5], [6]).

Tirgus mehānismi sākotnēji tika ieviesti apstākļos pie uzstādīto jaudu pārpalikuma. No resursu ekonomikas viedokļa tas ļauj izmantot efektīvākās stacijas. Tirgus mehānisms nodrošina, ka pieprasījums tiek segts ar zemākajām īstermiņa mainīgajām izmaksām. Tomēr tirgus cena neatspoguļo ilgtermiņa ražošanas izmaksas, kā rezultātā praktiski netiek veicinātas investīcijas jaunās fosilās bāzes jaudās. AER elektrostaciju atbalsta ieviešana (piemēram, obligātais iepirkums) būtiski samazina tirgus daļu, kurā darbojas konkurējošās elektrostacijas. Elektroapgādes optimizācijas modeļiem ir “jābūt spējīgiem” darboties ar šādiem ierobežojumiem. Šiem modeļiem jāņem vērā arī augstāk apskatītie sektori un to tehniskās, tehnoloģiskās, ekonomiskās, finanšu, ekoloģiskās, vadības, organizācijas un citas saistības.

2. ENERĢĒTISKO SISTĒMU MODEĻI

Otrajā nodaļā ir 42 lappuses, 11 attēli un 8 tabulas.

Enerģētisko sistēmu modeļi ir nepieciešami, lai risinātu plašu problēmu loku, kas skar resursu optimālu izmantošanu, resursu pieprasījumu, piegādes, cenas, piegādes optimizāciju (sevišķi resursu nepietiekamības gadījumā); ar modeļu palīdzību var veikt šībrīža un nākotnes tirgus analīzi, tirgus dalībnieku mijiedarbību u. c.

Pirmie enerģētisko sistēmu modeļi (tajā skaitā optimizācijas u. c.) tika izstrādāti 1970. gados, kad pēc naftas krīzes analītiķi sāka izskatīt iespējas naftas un gala enerģijas efektīvākai izmantošanai. Sākumā energosistēmas tika aprakstītas samērā vispārīgi un galvenokārt izmantoja lineārus modeļus. Attīstoties skaitļošanas tehnikai, sāka izmantot kompleksākas optimizēšanas metodoloģijas (nelineāras programmēšanas metodes un algoritmus u. c.). Parādoties dinamiskajiem modeļiem, radās iespēja aprēķinus veikt diskrēti pa gadiem, nevis visu perspektīvu apskatīt kā vienu periodu. Dinamisks programmēšanas optimizācijas process ļāva nonākt pie optimālā risinājuma, ietaupot datoru mašīnresursus (kas gan mūsdienās vairs nav būtiska problēma).

Tā kā enerģijas pieprasījuma un piedāvājuma līdzsvara nodrošināšanas modelēšana ietver svarīgākās enerģētiskās sistēmas sakarības, tad enerģijas resursu un to patēriņa sabalansētības pieeja ir viena no struktūrām, ko plaši izmanto enerģijas sistēmas analīzē. Enerģijas bilancei būtu jāatspoguļo enerģētiskās sistēmas visas aktivitātes visā piegādes ķēdē, ņemot vērā darbības tehnoloģiskās īpašības. Šāda pieeja ļauj iekļaut analīzē pašreizējās, kā arī

nākotnes tehnoloģijas un veicina alternatīvo attīstības ceļu ietekmes analīzi uz ekonomiku, resursiem un vidi. Ir izveidoti vairāki modeļi vispārējam, plašam lietojumam. Daudzi esošie modeļi ir paplašināti un papildināti, iekļaujot jaunas funkcijas, piemēram, vides jautājumu analīzi, enerģijas un vides mijiedarbību, riska analīzi u. c.

Skaitļošanas metožu un resursu, kā arī komplekso daudznozaru ekoloģisko un dabas resursu izpētes metožu sasniegumi apvienojumā ar specializētāku statistikas metožu progresu ir ļāvuši zinātniekiem paplašināt uz aģentiem balstītas modelēšanas izmantošanu, jo īpaši attiecībā uz lēmumu un politikas veidotājiem [7], [8]. Multiāģentu modelēšana ir simulācijas pieeja, kas ievēro tirgus īpatnības, piemēram, stratēģisko uzvedību, asimetrisku informāciju un citu neekonomisko ietekmi [9]. Viens no galvenajiem multiāģentu modeļu attīstības un izmantošanas šķēršļiem ir milzīgs pieprasījums pēc papildu empīriskiem datiem, lai modelētu dažādu aģentu uzvedību [7].

Modeļu izmantošana ļauj ar konkrētu mērķa funkciju un parametru/ierobežojumu komplektu atrisināt konkrētas matemātiskas problēmas. Tās varētu būt risinātas, izmantojot dažādas metodes, kuru sarežģītība atšķiras atkarībā no iespējas risināt uzdevumu ar vairāk vai mazāk sarežģītām mērķu funkcijām un ierobežojumiem (lineārie/nelineārie, deterministiskie/stohastiskie un citi modeļi) [10].

Promocijas darbā autors dod pasaulē izplatītāko enerģētisko sistēmu modeļu sarakstu, norādot arī, kurās valstīs un kādās organizācijās modeļi ir izstrādāti.

Sakarā ar enerģētisko sistēmu modeļu daudzveidību ir veidotas to klasifikācijas. Literatūrā [11] tiek izmantotas sešas enerģētisko modeļu klasifikāciju pazīmes: 1) „lejupejošā” vai „augšupejošā” modelēšanas pieeja; 2) laika periods; 3) nozaru pārklājums; 4) optimizācijas vai simulācijas pieeja; 5) datu agregācijas pakāpe; 6) ģeogrāfiskais pārklājums, tirdzniecība.

Būtiskākais iedalījums ir starp tā saucamajiem „lejupejošiem” un „augšupejošiem” modeļiem. Tradicionālā “lejupejošā” (*top-down*) pieeja ir makroekonomiska un paļaujas uz cenu un tirgus ietekmi, savukārt “augšupejošie” (*bottom-up*) modeļi tiek koncentrēti uz enerģētikas nozares tehniski ekonomiskajiem parametriem. Liela priekšrocība “lejupejošiem” modeļiem ir tā, ka tie ņem vērā atgriezenisko saiti starp enerģētisko sistēmu un sociāli ekonomisko sistēmu, ietverot sakarības ar labklājības līmeni, nodarbinātību, ekonomisko izaugsmi u. c.

Šis endogēnais ekonomiskās un sociālās ietekmes novērtējums veicina vispārēju izpratni par enerģētikas politikas ietekmi uz valsts vai reģiona ekonomiku. No otras puses, “lejupejošos” modeļos trūkst tehnoloģisko detaļu un tie sniedz diezgan vispārinātu informāciju. Līdz ar to tie nevar sniegt atbilstošu norādi par tehnoloģisko progresu, šķēršļiem energoefektivitātei vai īpašai politikai konkrētām tehnoloģijām vai nozarēm. Tas ir īpaši raksturīgi ilgtermiņā, kad var sagaidīt būtiskas tehnoloģiskas izmaiņas, piesātinājumu un iekšējo nozaru strukturālās pārmaiņas.

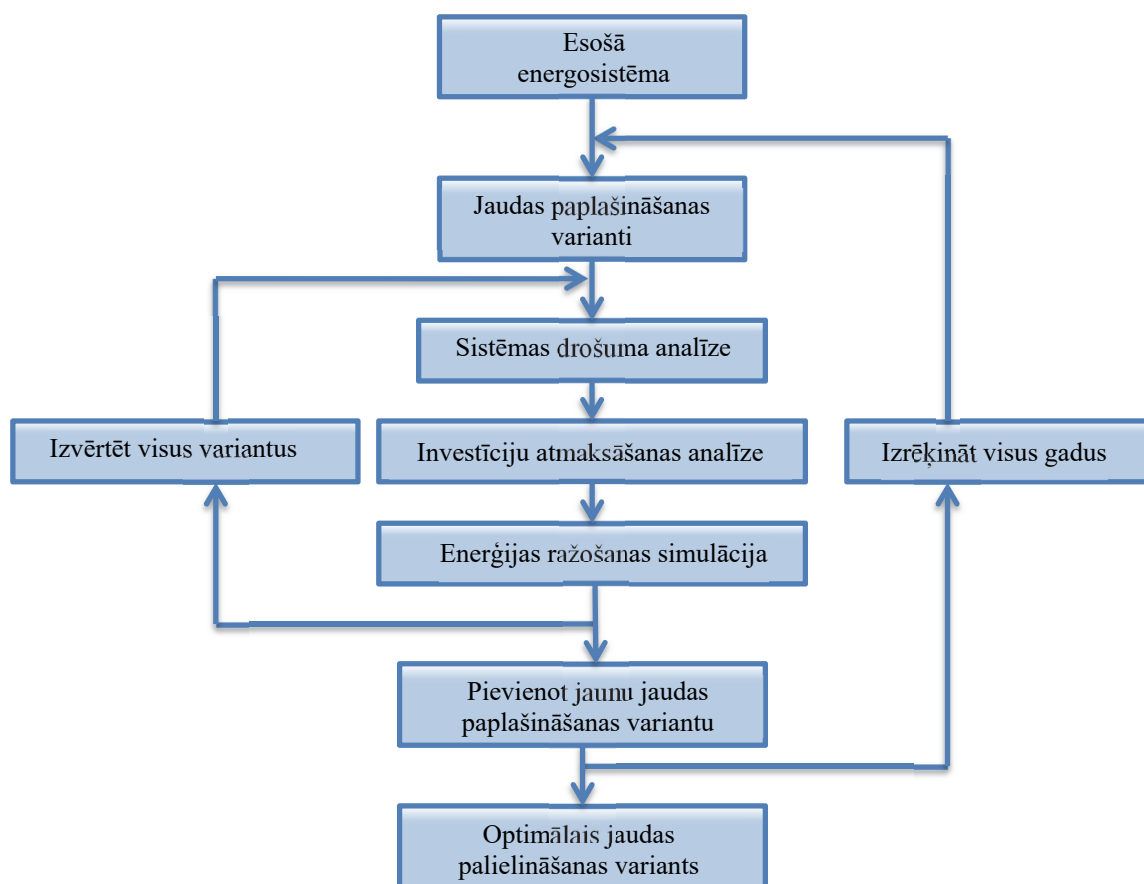
Pašlaik enerģētisko sistēmu modelēšana virzās hibrīdās enerģētisko sistēmu modeļu izstrādes virzienā, apvienojot vismaz vienu makroekonomisko modeli ar vismaz vienu “augšupejošo” modeļu kopu katrai gala enerģijas nozarei un pārveides nozarei. Kā atzīmē [12], [13], augstas kvalitātes hibrīda modeļa sistēmai vajadzētu apvienot vismaz trīs īpašības: tehnoloģiju precizitāti, mikroekonomikas reālismu un makroekonomikas pilnīgumu.

Enerģētikā primārais uzdevums ražošanas plānošanā ir atrast tādu ģenerācijas iekārtu kombināciju, kura nodrošina elektroenerģijas piegādi ar pietiekamo ekspluatācijas drošumu un zemākam izmaksām. Plānošanas procesā bieži pievieno kādus mākslīgus ierobežojumus (piemēram, ierobežojumu attīstīt atomelektrostaciju jaudu). Ar dažādiem ierobežojumiem vai piespiedu aktivizāciju ir iespējams modelēt dažādus attīstības scenārijus un pat politiskos uzstādījumus. Galvenie mainīgie parametri ir pieprasījuma prognozes, energoresursu veidu pieejamība (vai ierobežojums), tehnoloģiju raksturojums, dažāda veida izmaksas.

Lai veicinātu lēmumu pieņemšanas procesu, ekspertu sistēmām un lēmumu atbalsta instrumentiem jāstrādā, izmantojot zinātniski pamatotus modelēšanas rīkus. Galvenie jautājumi, kuri ir saistīti ar energoapgādes attīstību un zemāko izmaksu plānošanu, ģenerēšanā ir:

- ģenerēšanas sistēmas paplašināšana un drošums,
- sistēmas optimāla izmantošana,
- laika izvēle jauno iekārtu ieviešanai un veco iekārtu izvešanai no ekspluatācijas,
- neatkarīgo ražotāju un pirktas enerģijas iespaids uz ģenerēšanas sistēmas attīstību,
- netradicionālu avotu un koģenerēšanu izmantošana elektroenerģijas ražošanā.

Klasiskais jaudas palielināšanas optimizēšanas izvērtēšanas algoritms ir sniegts 11. attēlā.



11. att. Klasiskais jaudas palielināšanas izvērtēšanas algoritms (sagatavoja autors).

Energoapgādē modelēšanu visas sistēmas mērogā galvenokārt rada nepieciešamība veikt pieprasījuma prognozēšanu, plānot jaunas ģenerācijas, esošo objektu darbības optimizācija u. c. Atkarībā no risināmo jautājumu komplicētības un mērķa tiek lietotas dažādas matemātiskās metodes.

Optimizācijas modelēšana bieži balstās uz vairākiem matemātiskiem vienādojumiem, kas pārstāv mijiedarbības starp sistēmas komponentiem, procesiem un faktoriem. Vairumā tradicionālo metožu modelēšanas parametri un koeficienti parasti tiek noteikti kā deterministiskie (precīzie). Tomēr reālajās energoapgādes sistēmās daudzi parametri un koeficienti, kā arī likumsakarības starp parametriem var būt neskaidras, ar vairākiem mērījumiem un slāņiem. Pēdējā laikā visbiežākās pieejas, kas tiek lietotas optimizācijas modelēšanā neskaidrības apstākļos, ir intervālu, stohastisko vai faziloģikas metožu, kā arī to hibrīdu izmantošana [14]. Stohastiskie modeļi ņem vērā faktu, ka nākotni paredzēt pilnībā nav iespējams, jo daži faktori (piemēram, neplānotā elektrostacijas dīkstāve vai atjaunīgās enerģijas ražošanas faktisko apjomu novirzes no prognozēm) ir nekontrolējami vai nevar būt

pilnībā prognozējami pēc būtības. Stohastiskās modelēšanas pieeja parasti paredz divus soļus: pirmkārt, optimizācija tiek veikta, lai nodrošinātu stratēģijas visos nākamajos iespējamās sistēmas stāvokļos, un, otrkārt, lietot šo stratēģiju konkrētajam scenārijam (lēmumi/darbības katrā laika posmā).

Literatūrā [14] ir minēti vairāki izstrādāto optimizācijas modeļu piemēri dažādās valstīs, kas tika lietoti dažādu optimizācijas problēmu risināšanai enerģētiskajās sistēmās. Starp tiem modeļiem ir šādi: *MILP (Mixed Integer Linear Programming)* modelis, kas tika izmantots ekonomiski optimālā enerģijas avotu struktūras salikuma noteikšanai; *MODEST* modelis, kas tika izstrādāts, pamatojoties uz lineāro programmēšanu, enerģijas pieprasījuma un piedāvājuma investīciju un ekspluatācijas izmaksu minimizēšanai; *BESOM (Brookhaven Energy System Optimization Model)* modelis energoresursu, tehnoloģiju un investīciju optimālo kombināciju noteikšanai saskaņā ar sistēmas minimālo izmaksu principu; pakāpeniskās optimizācijas modelis *TESOM (Time-stepped Energy System Optimization Model)*, kas tika piedāvāts kā enerģijas vadības optimizācijas modelēšanas atbalsta instruments; *MARKAL (Market Allocation Model)* tehnoloģiju orientētais energoapgādes analīzes modelis; *MENSA (Multiple Energy System of Australia)* modelis, kas ir izstrādāts optimālo pieprasījuma–piedāvājuma tehnoloģiju kombināciju noteikšanai ar nosacījumu minimizēt izmaksas; *EFOM (Energy Flow Optimization Model)*, kas tiek plaši izmantots Eiropas valstīs energoapgādes plānošanas mērķiem; *LEAP (Long-range Energy Alternatives Planning System)* modelis; *NEMS (National Energy Modeling System)* un *Energy 2020*, kas tika izstrādāti enerģijas ražošanas ekonomisko seku un ietekmes uz vidi novērtēšanai, kā arī citi modeļi.

Ir izstrādāti ļoti specifiski modeļi atsevišķu jautājumu padziļinātai risināšanai. Piemēram, ir izstrādāts dinamisks simulācijas–optimizācijas modelis, kas paredzēts autonomo atjaunīgās enerģijas sistēmu ar ūdeņraža uzglabāšanas iekārtām vadīšanas atbalstam (*RESHS*) [15].

Autors ir veicis modeļu salīdzinājumu pēc modelēšanas pieejas, “augšupejošu” modeļu salīdzinājumu, hibrīdo modeļu salīdzinājumu un enerģijas pieprasījuma prognozēšanas modeļu salīdzinājumu (skat. 2. tab.).

Modeļu salīdzinājums pēc modelēšanas pieejas (sagatavoja autors, balstoties uz [7])

Kritērijs	Augšupejošs, optimizācijas	Augšupejošs, uzskaites	Lejupejošs, ekonometrisks	Hibrīdais
Ģeogrāfiskais segums	No lokāla līdz globālam, bet lielākoties nacionāls	Nacionāls, bet var būt reģionāls	Nacionāls	Nacionāls vai globāls
Darbības segums	Enerģētiskā sistēma, vide, tirdzniecība	Enerģētiskā sistēma un vide	Enerģētiskā sistēma un vide	Enerģētiskā sistēma, vide un enerģijas tirdzniecība
Sadalījuma līmenis	Augsts	Augsts	Dažāds	Augsts
Tehnoloģiskais segums	Plašs	Plašs, bet parasti iepriekšnoteikts	Mainīgs, bet parasti ierobežots	Plašs, bet parasti iepriekšnoteikts
Datu nepieciešamība	Apjomīga	Apjomīga, bet var darboties ar ierobežotu datu apjomu	Augsta	Augsta līdz apjomīga
Kvalifikācijas prasības	Ļoti augstas	Augstas	Ļoti augstas	Ļoti augstas
Laika horizonts	Vidējs līdz ilgtermiņa	Vidējs līdz ilgtermiņa	Īss, vidējs vai ilgtermiņa	Vidējs līdz ilgtermiņa

Hibrīdo modeļu lietošana sniedz plašākas iespējas integrēt nacionālos un globālos/ reģionālos risināmos jautājumus. Tie var tikt izmantoti dažādās tautsaimniecības nozarēs.

Latvijā līdz šim ir izmantoti četri elektroenerģijas ražošanas jaudu attīstības optimizācijas modeļi. To praktiskā izmantošana, galvenās īpašības un ierobežojumi ir apkopoti 3. tabulā.

WASP ļāva plānot racionālāko elektrostaciju attīstību, lietojot mazāko izmaksu metodi. Tomēr šī modeļa trūkums bija tas, ka tas nebija paredzēts koģenerācijas staciju analīzei, tāpēc TEC darbība tika aprakstīta ļoti vienkāršoti. Ar šo programmu veica Latvijas elektrības pieprasījuma segšanas modelēšanu. Tā paredzēja iespēju uzbūvēt Kurzemes reģionā (Liepājā) jaunu dabasgāzes un/vai ogļu elektrostaciju, veikt esošo Rīgas TEC pilnu rekonstrukciju un turpināt palielināt elektroenerģijas importu.

Latvijā izmantotie enerģētikas plānošanas modeļi (sagatavoja autors)

	<i>WASP</i>	<i>UPLAN</i>	<i>MESSAGE</i>	<i>MARKAL/TIMES</i>
Modeļa tips	Sistēmas varbūtības novērtējums Lineārās programēšanas tehnika Dinamiskās optimizācijas metode (dažādiem apakšblokiem)	Nelineārais programmēšanas algoritms Programmai ir divas ģenerācijas modelēšanas iespējas – varbūtības un hronoloģijas	Augšupejoša pieeja Dinamiska lineārā programmēšana Energoresursu piegāde tiek attēlota ar pārveidošanas tehnoloģiju, aktivitāšu un savienojumu tīklu	Augšupejoša pieeja Dinamiska lineārā programmēšana Iespēja izmantot abpusēju atgriezenisko saiti starp piedāvājumu un pieprasījumu
Apskatāmais periods	<30 gadi	ilgtērmiņa	<30 gadi	≥30 gadi
Lietošanas sfēra	Elektroenerģijas ražošanas jaudu attīstība	Elektroenerģijas ražošanas jaudu attīstība	Energoapgāde Primāro energoresursu nodrošinājums Izmešu apjomi Transports	Energoapgāde Primāro energoresursu nodrošinājums Izmešu apjomi Transports
Iespēja veidot savas saites un mijiedarbības	Nav iespējams	Nav iespējams	Iespējams	Iespējams
Iespēja pētīt koģenerāciju	Nav iespējams	Iespējams pēc programmas modificēšanas	Iespējams	Iespējams
Komplicētība no operatora viedokļa	Vienkārša	Vidēja	Sarežģīta	Sarežģīta (sevišķi izmantojot makroprogrammas)

Enerģētikas sektora modelēšanai un scenāriju analīzei tika izmantota *MESSAGE* programmatūra, kura ļauj modelēt kompleksi primāro energoresursu ieguves, pārstrādes un transporta procesu, primāro energoresursu importu un eksportu, elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanu, pārvadi un sadali, enerģijas un energoresursu gala patēriņu.

Izpētes mērķis bija izstrādāt Baltijas valstu enerģētikas nozares iespējamās attīstības scenārijus līdz 2030. gadam. Projektā ietilpa pārstāvji no Starptautiskās Atomenerģijas aģentūras, NATO, Igaunijas, Latvijas un Lietuvas.

Katras valsts modelī optimizēja enerģētikas infrastruktūras raksturīgākos elementus. Igaunijā tie bija degakmeņu un degakmeņu eļļas ieguve un eksports, elektroenerģijas izstrāde pamatā Narvas degakmeņu elektrostacijās, centralizētās siltumapgādes sistēmas Tallinā, Narvā un pārējās pilsētās. Latvijai tie bija naftas produktu imports un eksports, elektroenerģijas izstrāde Daugavas HES kaskādē un Rīgas termoelektrocentrālēs, centralizētās siltumapgādes sistēmas Rīgā un pārējās pilsētās. Lietuvai tie bija naftas produktu ieguve, pārstrāde un imports, un eksports, elektroenerģijas izstrāde Ignalinas AES, dabas gāzes/mazuta kondensācijas elektrostacijā un termoelektrocentrālēs, kodoldegvielas imports, hidroakumulējoša elektrostacija, centralizētās siltumapgādes sistēmas Viļņā, Kauņā, Klaipēdā un citās pilsētās. Turklāt modelēšanā tika ņemti vērā dabas gāzes un ogļu imports, kūdras ieguve, koksnes, kūdras briķešu un biogāzes izstrāde, kurināmā transports un sadale,

elektroenerģijas pārvades nosacījumi, enerģijas un kurināmā gala patēriņš rūpniecībā, lauksaimniecībā, transportā, komercsektorā un iedzīvotājiem. Modelēšanas rezultāti parādīja, ka pēc 2015. gada jāvelta lielāka uzmanība CO₂ un it īpaši NO_x izmešiem.

Ar matemātisko modeli tika salīdzināti dažādi iespējamie attīstības scenāriji, ieskaitot dažādas kurināmā cenu prognozes un pieņēmumus.

Ar *Uplan-E* programmas palīdzību rēķināja mazāko izmaksu ģenerēšanas plānu Baltijas reģionam. Šī plāna izstrādāšana piedalījās speciālisti no *Eesti Energijas*, *Lietuvos Energijas*, *DC Baltija* un *Latvenergo*. Izmantotā *Uplan-E* programma pareizi optimizē tikai kondensācijas elektrostacijas. Lai optimizētu TEC, kuras Latvijā ir noteicošās, dotajā *Uplan-E* versijā bija nepieciešams izmantot dažādus mākslīgus pieņēmumus. Šie pieņēmumi samazināja aprēķinu precizitāti.

Lai to novērstu, tika izstrādāta modeļa modifikācija. Principiāla ideja pilnveidotām koģenerācijas modelim bija atrast tādu ģenerēšanas iekārtu kombināciju, kura nodrošina siltumenerģijas un elektroenerģijas piegādi ar pietiekamu drošumu un zemākām izmaksām. Koģenerācijas modelim bija jāsalīdzina siltuma un elektroenerģijas ražošana koģenerācijas stacijās ar to atsevišķu ražošanu (siltumenerģija – katlumājās, elektroenerģija – elektrostacijās).

Ar *MARKAL-LV* modeli tika noteikti Latvijas primāro resursu patēriņa veidi līdz 2030. gadam, raksturots pārveidošanas sektors, veikta izmaksu analīze modelētajos scenārijos.

Vēsturiski izstrādātie enerģētikas plānošanas modeļi ir veidoti kā universāli instrumenti, kurus varētu lietot jebkurā valstī pie jebkurām vēsturiski uzstādītajām dažāda veida enerģijas ģenerēšanas tehnoloģijām. Tomēr, ja nepieciešams iegūt adekvātus rezultātus konkrētai situācijai konkrētā valstī, nākas saskarties ar dažiem modeļu ierobežojumiem, specifiskiem papildu nosacījumiem un apstākļiem, jāņem mērā dažādi papildu faktori, īpatnības, nepieciešamība adekvāti noteikt eksogēno rādītāju vērtības utt.

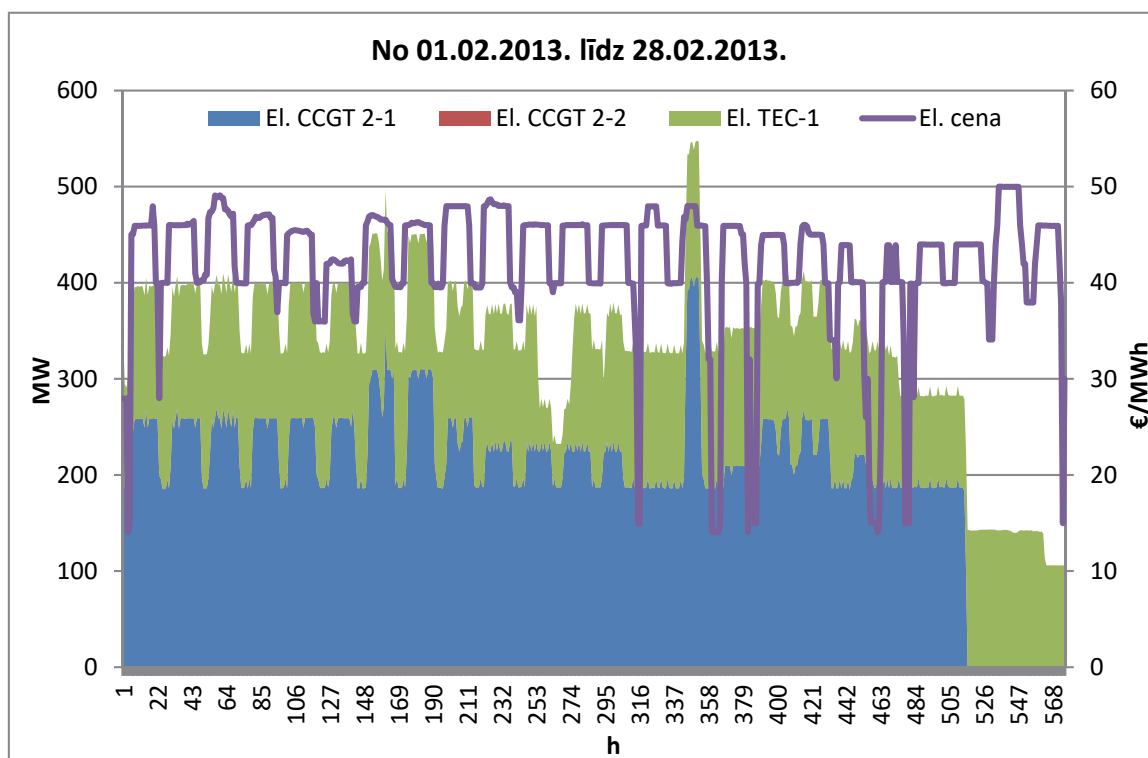
Tā, izmantojot aprēķiniem *UPLAN-E*, pieņēmumi samazina aprēķinu precizitāti. *MARKAL* modelī rezultāti ir atkarīgi no ieejas parametriem un modeļa algoritma. Tam ir arī pieņēmumi par enerģētikas resursu cenu nākotnē.

Analizējot situāciju Latvijā, jāsecina, ka jāņem vērā arī daudzi citi aspekti, kas nosaka modeļu lietošanu un tālāko modeļu attīstību, un jaunu konkrētu modeļu izstrādes nepieciešamību. Tādējādi konkrētu modeļu lietošanā un izstrādē Latvijā pašreizējā situācijā būtu jāņem vērā šādi svarīgākie aspekti:

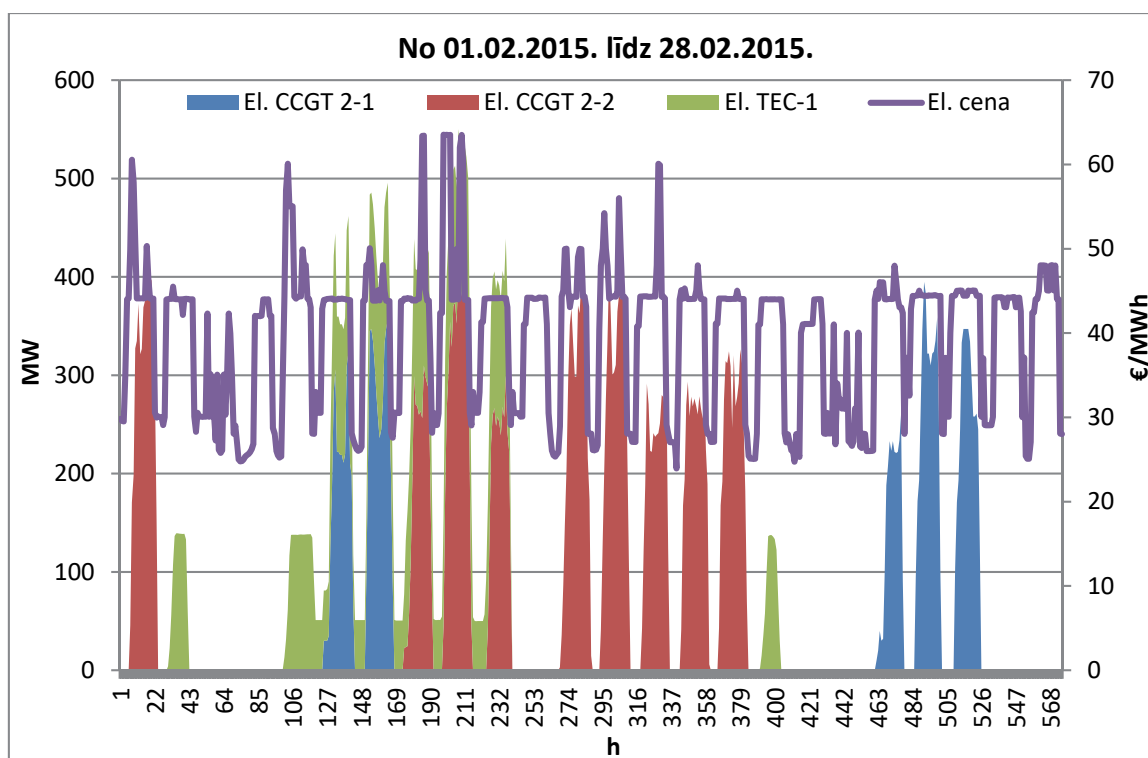
- būtiskas izmaiņas enerģijas ražošanas organizācijā;

- primāro resursu īpatsvara izmaiņas;
- plānotie energoefektivitātes pasākumi;
- elektrības tirgus liberalizācija;
- Eiropas jaudu tirgus attīstība;
- jaunas prasības pārvades tīkla dalībniekiem;
- sinhronais darbs ar Centrāleiropu;
- pieaugošās ģenerācijas nepastāvības ietekme uz elektroapgādes drošumu.

Latvijas iestāšanās *Nord Pool Spot (NPS)* elektroenerģijas tirgū ievērojami ietekmēja Rīgas TEC darba režīmus. Ja pirms tam Rīgas TEC strādāja atbilstoši siltumenerģijas pieprasījumam, tad pēc iestāšanās *NPS* primāra kļuva elektrības ražošana [16]. To uzskatāmi parāda 12. un 13. attēls. Rīgas TEC darbība pirms iestāšanās *NPS* ir parādīta 12. attēlā, kad elektrības ražošana bija atkarīga no siltumenerģijas pieprasījuma un ražošanas. Savukārt 13. attēls parāda Rīgas TEC darbību pēc iestāšanās *NPS*, kad izstrādātā elektroenerģija bija atkarīga no elektroenerģijas tirgus cenas *Nord Pool Spot* biržā. Tāpēc koģenerācijas elektrostacijas 2015. gada februārī tika mazāk darbinātas, kā arī ļoti zemas elektroenerģijas cenas rezultātā tika darbinātas cikliskā režīmā ar biežu to jaudas samazināšanu vai atslēgšanu [16].



12. att. Rīgas TEC darbība 2013. gada februārī: CCGT 2-2 nedarbojās (pirms iestāšanās *NPS*)
(sagatavoja autors, pamatojoties uz Rīgas TEC izstrādes datiem).



13. att. Rīgas TEC darbība 2015. gada februārī (pēc iestāšanās *NPS*)
(sagatavoja autors, pamatojoties uz Rīgas TEC izstrādes datiem).

Autors konstatē, ka līdz ar to šādu režīmu nodrošināšanai nākotnē ir nepieciešamas jaunas ražošanas plānošanas optimizācijas programmas.

Latvijas elektroapgādes ilgtermiņa prognožu veikšanai vairākas izmantotās optimizāciju metodes balstītas uz apjomīgu datu analīzi, detalizētu patēriņa un piegādes struktūru izvērtējumu dažādiem scenārijiem. Komplicētu modeļu aktualizēšana ir laikietilpīga. Bieži iegūtie rezultāti nav devuši vēlamos rezultātus. Tie ir bijuši izmantojami samērā īslaicīgiem periodiem, jo ietekmējošo faktoru un ekonomiskās situācijas maiņas ir apsteigušas izvērtējumos veiktās korekcijas. Tas rada nepieciešamību vienlaicīgi izmantot sistēmdinamikas metodes, kas ar mazāku detalizāciju un precizitāti ļauj operatīvāk veikt attīstības scenāriju optimizācijas izvērtēšanu, īpaši gadījumos, kad īsos termiņos jāpieņem lēmumi par stratēģiskiem projektiem, kas būtiski ietekmē vairākas tautsaimniecības nozares vai energoapgādes nodrošinājuma pakalpojumus.

3. LATVIJAS ENERGOSISTĒMAS ATTĪSTĪBAS MODELIS

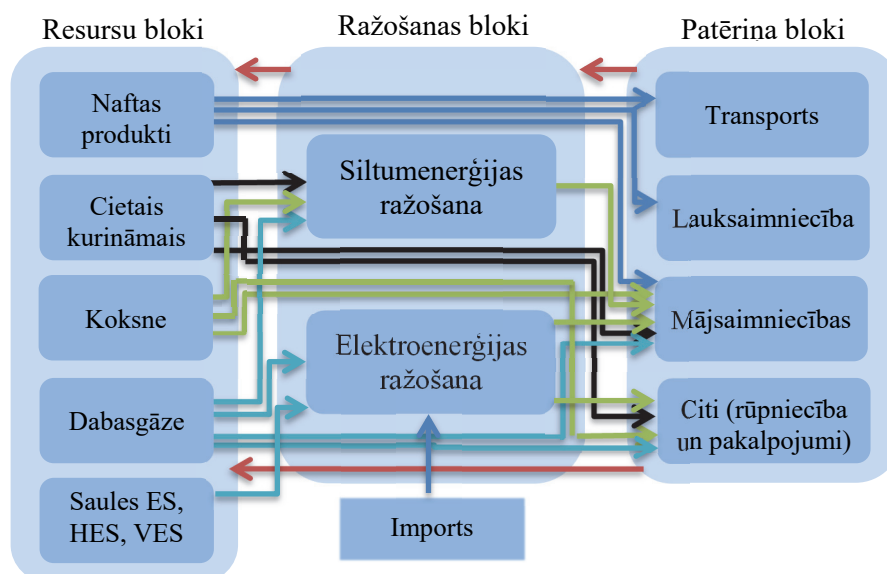
Trešajā nodaļā ir 26 lappuses, 17 attēli un 1 tabula.

Autors ir izstrādājis Latvijas energosistēmas attīstības modeli, ņemot vērā Latvijas energoapgādes specifiku un operatīvu aprēķinu veikšanas nepieciešamību. Modelī ietvertas iespējas analizēt AER integrēšanas novērtēšanu uz energoapgādes objektu darbību, resursu cenu ietekmi, patēriņa dinamiku, energoresursu ražošanas jaudas u. c. Ņemta vērā nepieciešamība analizēt un modelēt pašreizējās situācijas izmaiņas, kas ir saistītas ar elektroenerģijas tirgus izmaiņām. Izstrādātais modelis ietver optimizācijas, sistēmdinamikas, ekonometrijas un algoritmiskās modelēšanas elementus. Tādējādi pēc savas formas tas ir hibrīda tipa modelis. Modeļa realizācijā tiek izmantota kompleksa sistēmiska pieeja situācijas analīzei un aprēķiniem. Augstāk minētā hibrīda modeļa izvēle pamatojas uz šādiem apsvērumiem.

- atbilstoši tirgus cenu konjunktūras izmaiņām notiek elektrostaciju darbības režīmu (ikstundu grafika ievērošana) maiņas, kas jāievēro arī ilgtermiņa modelēšanā;
- ir uzsākti apjomīgi pasākumi kurināmā diversifikācijai (biomasas īpatsvara palielināšana) centralizētajā siltumapgādē. Tos var realizēt salīdzinoši īsā laika periodā, un tie var būtiski ietekmēt visu energoapgādes struktūru;
- veidojas nepieciešamība sasaistīt elektroenerģijas tirgu ar siltumenerģijas tirdzniecības regulācijas izmaiņām;
- nepieciešams reaģēt uz iespējamām atbalsta (obligātā iepirkuma komponentes) intensitātes izmaiņām;
- siltumapgādes bloka un elektroapgādes bloku savstarpējā mijiedarbība ar kopējo energoapgādes efektivitāti.

Katram modeļa blokam izvēlēta piemērotākā metode. Centralizētās siltumapgādes bloks, elektroenerģijas ražošanas bloks, elektroenerģijas tirgus bloks un energoefektivitātes rādītāju bloks veidots, izmantojot sistēmdinamikas metodi, jo tā nodrošina operatīvāku datu apstrādi un izmaiņu veikšanu. Elektroenerģijas un siltumenerģijas patēriņa blokiem lietota ekonometrijas metode, kas nodrošina augstāku precizitāti pie nelieliem mainīgo parametriem. Abu metožu apvienošana vienā hibrīda tipa modelī ļauj uzlabot gan aprēķinu ātrdarbību, gan iegūto rezultātu ticamību.

Latvijas enerģijas sektora pieprasījuma–nodrošinājuma kopējā struktūrshēma ir dota 14. attēlā.

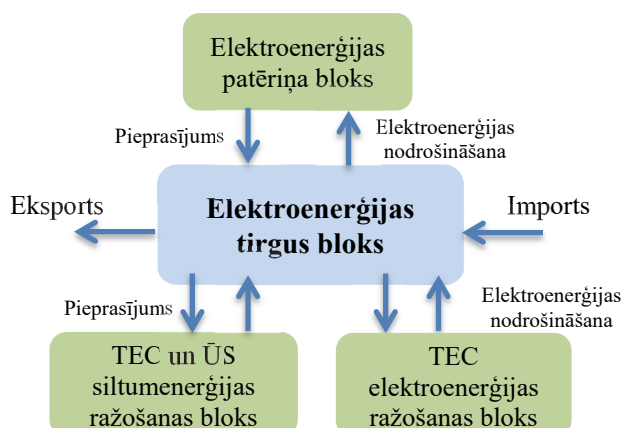


14. att. Latvijas enerģijas sektora pieprasījuma–nodrošinājuma kopējā shēma
(sagatavoja autors, balstoties uz [17]).

Detalizējot kopējo shēmu, ražošanas blokā atsevišķi tiek izdalīti apakšbloki elektroenerģijas ražošanai TEC, elektroenerģijas importa apakšbloks, centralizētās siltumapgādes, koģenerācijas izmaksu un jaudu aprēķina, koģenerācijas režīmu plānošanas un kondensācijas jaudu optimizācijas, elektroenerģijas tirgus, AER politikas, CO₂ kvotu, primāro energoresursu ietaupījuma modelēšanai un citi apakšbloki.

Patēriņa bloks sastāv no transporta, lauksaimniecības, mājsaimniecību un citiem (rūpniecības un pakalpojumu nozaru) apakšblokiem. Iedalījums augstāk minētajos blokos un apakšblokos veikts, ievērojot Latvijas enerģētikas sektora specifiku [17].

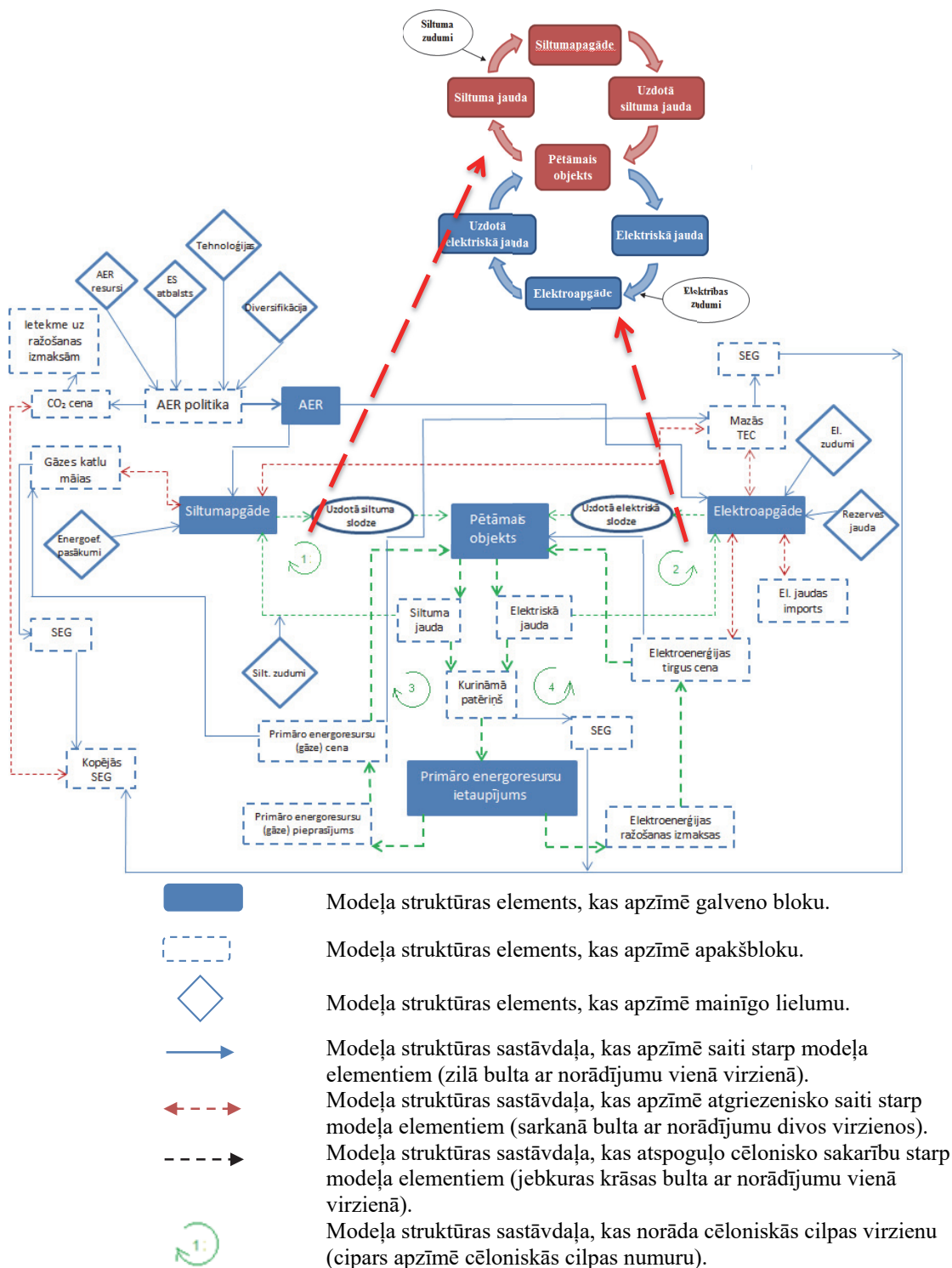
Elektroenerģijas patēriņa bloks prognozē enerģijas patēriņu, ņemot vērā vairākus tautsaimniecības nozares attīstības scenārijus. Modeļa struktūra ir atspoguļota 15. attēlā.



15. att. Energoapgādes sistēmdinamikas modeļa struktūras galvenie bloki
(sagatavoja autors, balstoties uz [18]).

Elektroenerģijas tirgus bloks apvieno elektroenerģijas pieprasījumu un piedāvājumu, un novērtē enerģētikas apakšnozaru konkurētspēju starptautiskā tirgū. Ražošanas bloku grupa sastāv no TEC un katlumāju siltumenerģijas ražošanas bloka un TEC elektroenerģijas ražošanas bloka.

Detalizētāka Latvijas enerģijas sektora modeļa shēma dota 16. attēlā.



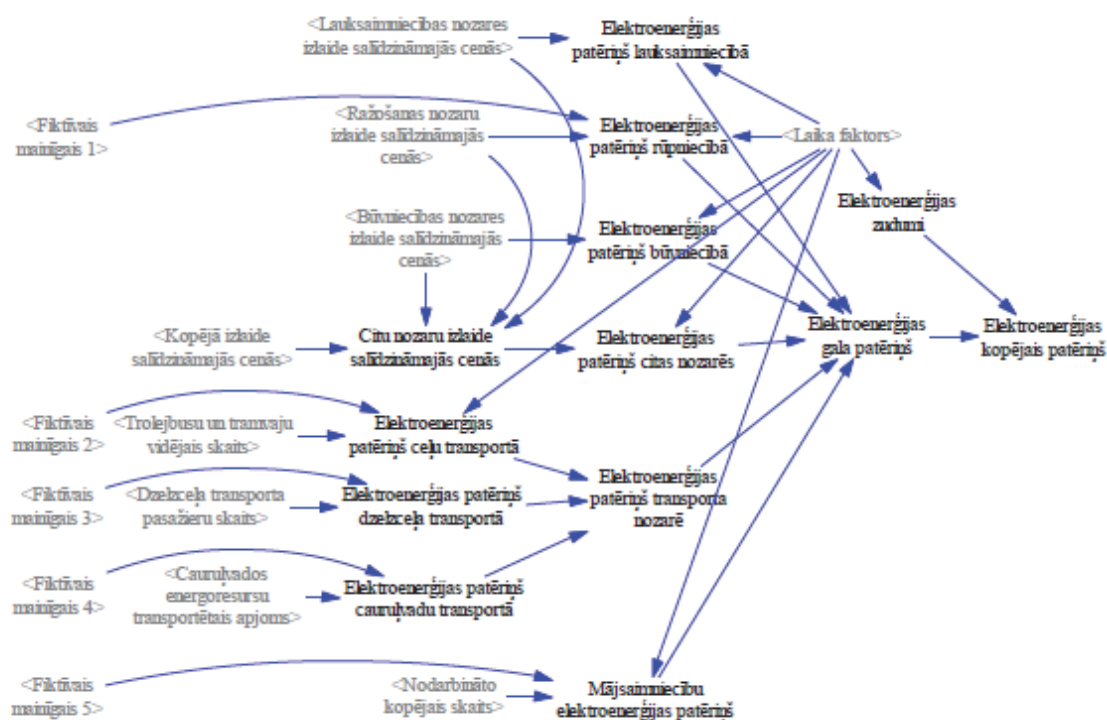
16. att. Latvijas enerģijas sektora modeļa detalizētā shēma (sagatavoja autors).

Bloks *Pētāmais objekts* tiek sadalīts četrās daļās: TEC-1 (koģenerācijas energobloki), TEC-2 (koģenerācijas energobloki), ūdens sildkatli TEC-1 teritorijā un ūdens sildkatli TEC-2 teritorijā. Tie veido izvēles matricu. Šī izvēles matrica paredz dažādus termoelektrocentrāļu darbības režīmus atkarībā no uzdotās siltuma un elektriskās slodzes, kā arī, ievērojot tādu apakšbloku ietekmi kā *Primāro energoresursu cena*, kas arī ietekmē apakšbloku *Gāzes katlu mājas* un *Mazās TEC*, un *Elektroenerģijas tirgus cena*, kas arī ietekmē bloku *Elektroapgāde* un veido ar to atgriezenisko saiti. Pētāmais objekts nodrošina siltuma enerģiju un elektroenerģiju, kuri attiecīgi ietekmē blokus *Siltumapgāde* un *Elektroapgāde*. Rezultātā veidojas divas cēloniskas atgriezeniskas saites, kas tiek apvienotas vienā.

Pirmā saite parāda, ka jebkuras izmaiņas centralizētā siltumapgādē nosaka pētāmajam objektam uzdoto siltuma slodzi, kas savukārt nosaka pētāmā objekta darbības režīmus un iekārtu izvēli. Savukārt ar pētāmo objektu saražotais siltuma enerģijas daudzums ietekmē kopējo centralizēto siltumapgādi. Mainīgais *Siltuma zudumi* ietekmē primāro cēlonisko cilpu.

Otrā saite parāda, ka jebkuras izmaiņas elektroapgādē nosaka pētāmajam objektam uzdoto elektrisko slodzi, kas savukārt nosaka pētāmā objekta darbības režīmus un iekārtu izvēli. Savukārt ar pētāmo objektu saražotais elektroenerģijas daudzums ietekmē kopējo elektroapgādes sistēmu.

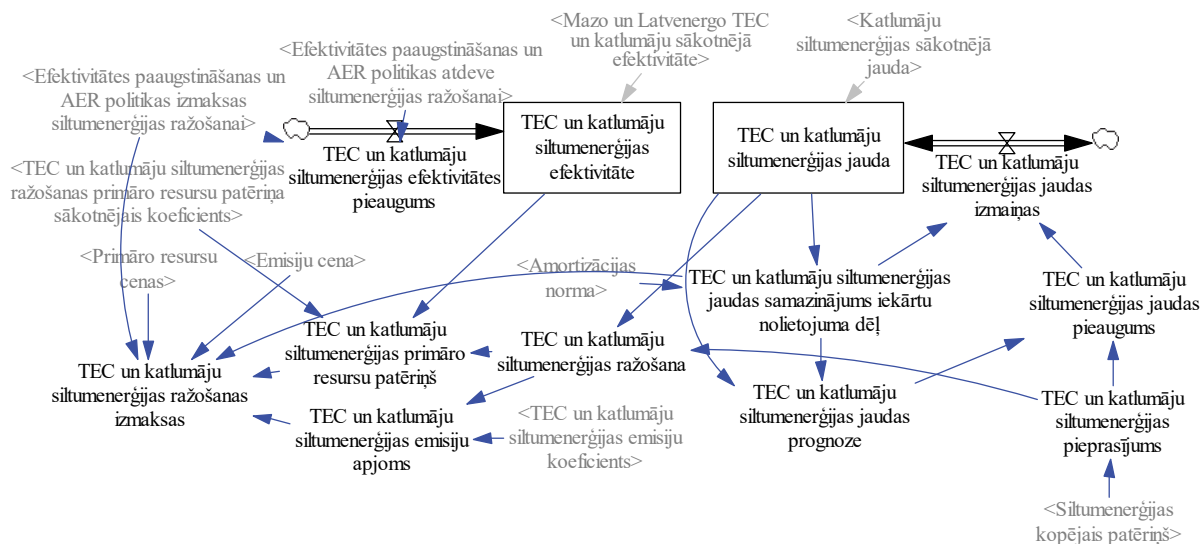
Elektroenerģijas patēriņa bloka pamatā ir elektroenerģijas patēriņa prognozēšana svarīgākajās nozarēs: lauksaimniecībā, rūpniecībā, būvniecībā, transportā un citās nozarēs, kā arī iedzīvotājiem. Summējot patēriņu pa nozarēm un iedzīvotāju elektroenerģijas patēriņu, tiek aprēķināts elektroenerģijas gala patēriņš, kurš kopā ar elektroenerģijas zudumiem veido elektroenerģijas kopējo patēriņu. Elektroenerģijas patēriņa bloka kopējā shēma ir dota 17. attēlā.



17. att. Elektroenerģijas patēriņa apakšmodeļa shēma
(izstrādāja autors kopā ar zinātnisko konsultantu).

Nozaru elektroenerģijas patēriņš ir prognozēts, pamatojoties uz to elektroenerģijas patēriņa specifiku. Nozarēs, kurās elektroenerģijas patēriņš ir saistīts ar izlaides apjomu, elektroenerģijas patēriņš tiek prognozēts, pamatojoties uz šo prognozēto izlaides apjomu (piemēram, ražošanai). Tām nozarēm, kurās elektroenerģijas patēriņš ir saistīts ar enerģijas patērētāju skaitu, elektroenerģijas patēriņš tiek prognozēts atbilstoši paredzamajam patērētāju skaitam (piemēram, trolejbusu un tramvaju skaits elektroenerģijas patēriņam ceļu transportā). Mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņš ir piesaistīts tautsaimniecībā nodarbināto skaitam.

Siltumapgādes bloka shēma ir dota 18. attēlā. *Siltumapgādes* apakšmodelī tiek noteikta TEC un katlumāju siltumenerģijas efektivitāte un siltumenerģijas jauda, ko savukārt nosaka divas plūsmas – TEC un katlumāju siltumenerģijas efektivitātes pieaugums un siltumenerģijas jaudas izmaiņas. Savukārt TEC un katlumāju siltumenerģijas jaudas izmaiņas nosaka siltumenerģijas jaudas pieaugums, iekārtu nolietojums, siltumenerģijas pieprasījums, kopējais patēriņš un citi lielumi. Apakšmodelis ļauj noteikt TEC un katlumāju siltumenerģijas ražošanas izmaksas, ievērojot daudzus ietekmējošos faktorus. Tas dod iespēju prognozēt, piemēram, TEC un katlumāju siltumenerģijas ražošanas, siltuma jaudas un siltumenerģijas pieprasījuma izmaiņas.



18. att. Siltumapgādes apakšmodelis (izstrādāja autors kopā ar zinātnisko konsultantu).

4. tabulā ir sniegti apakšbloku elementu apzīmējumi un skaidrojumi.

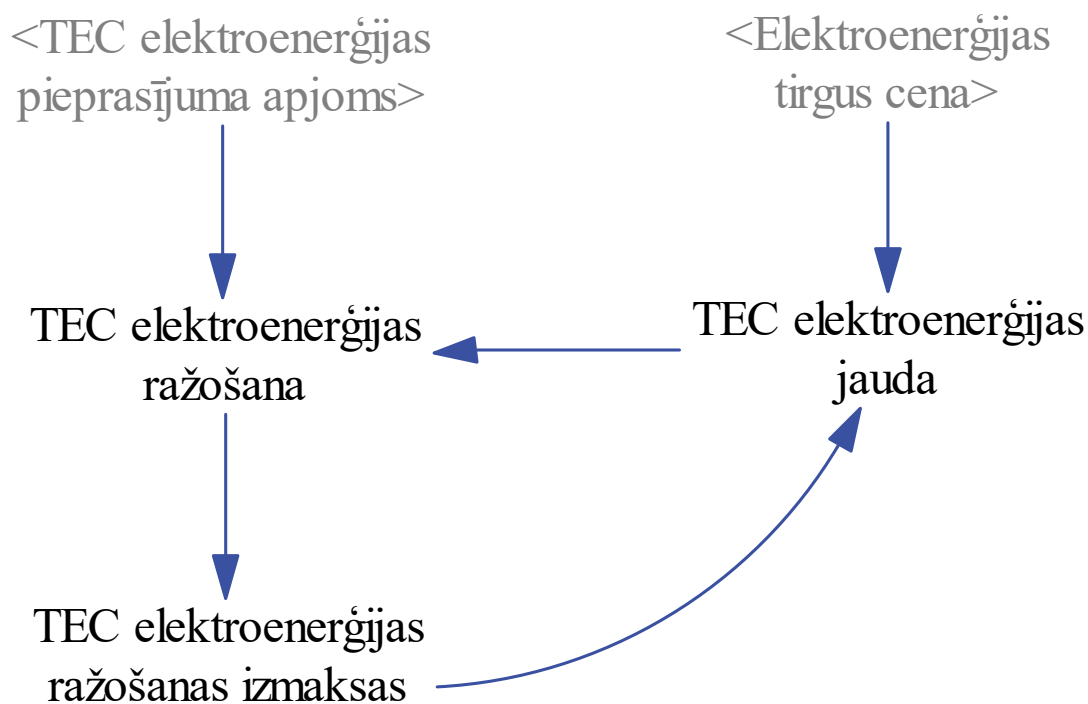
4. tabula

Sistēmdinamikas elementi [18]

Nr.	Apzīmējums	Nosaukums
1		Fiziskās plūsmas
2		Nemateriālās un informācijas plūsmas
3		Konvektors vai rezervuārs C no saistītā apakšmodeļa
4		Fizisko plūsmu regulators
6		Ārējā vide
7		Krātuve A
8		Konverters B

Siltumapgādes apakšmodelī tiek noteikta pieprasītā siltumenerģija. Tiek izskatītas vairākas situācijas, piemēram, situācija, ja AER politika paredz jaunu atjaunīgo enerģijas avotu ieviešanu sistēmā vai esošo enerģijas avotu diversifikāciju, kas ārpus tirgus konkurences nodrošina pieprasījumu pēc siltuma enerģijas un elektroenerģijas.

TEC elektroenerģijas ražošanas modeļa bloka kopējā shēma ir dota 19. attēlā.



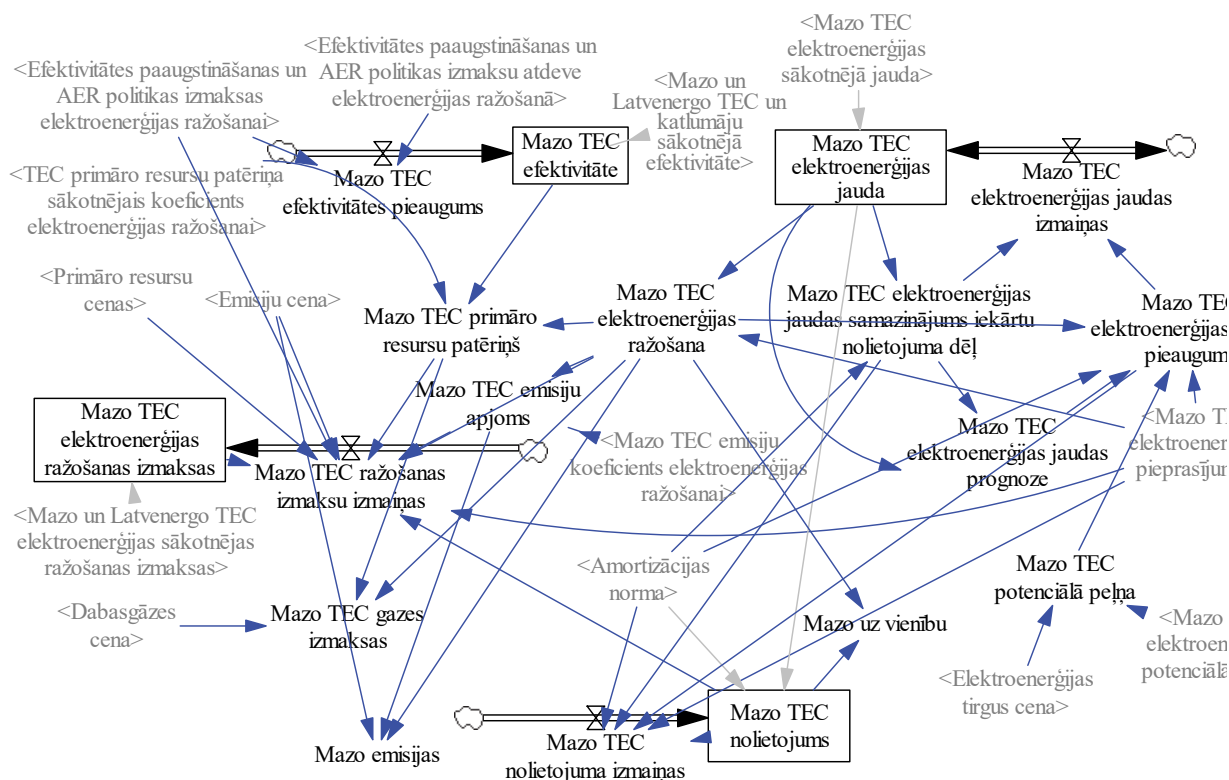
19. att. TEC elektroenerģijas ražošanas modeļa bloka kopējā shēma
(izstrādāja autors kopā ar zinātnisko konsultantu).

Modelī TEC elektroenerģijas ražošanas apjoms tiek izteikts atkarībā no elektroenerģijas pieprasījuma un elektroenerģijas cenas. Ražošana liela pieprasījuma gadījumā ir ierobežota ar tehniskām iespējām, t. i., ar ražošanas jaudu. Ražošanas izmaksas, mijiedarbojoties ar elektroenerģijas tirgus cenu, nosaka ražošanas uzņēmumu iespējamo attīstību, tajā skaitā – uzņēmumu jaudas pieaugumu.

Izstrādājot modeli, reinvestīciju apjoma noteikšanai bija pievērsta īpaša uzmanība, jo ne vienmēr reinvestīciju apjoms sakrīt ar peļņu. Mazāks apjoms var būt saistīts ar peļņas “izņemšanu” no nozares, bet lielāks apjoms varētu būt saistīts ar nozares specifiku – milzīgiem kapitālieguldījumiem pamatlīdzekļos. Simulācijas sērijas tika veiktas ar dažādiem peļņas reinvestēšanas algoritmiem, tādējādi praktiskā ceļā tika noteikts, kā apskatītais algoritms labāk imitē nozares attīstību.

Salīdzinājumā ar bloku *Siltumapgāde*, blokam *Elektroapgāde* ir vairāk apakšbloku un mainīgo. Tie ir apakšbloki *Mazās TEC*, *Mazās TEC tirgus daļa*, *Lielās TEC*, *Elektroenerģijas jaudas imports*, kas veido atgriezenisko saiti ar bloku *Elektroapgāde*, un mainīgie *Rezerves jauda* un *Elektriskie zudumi*.

Izstrādāto apakšmodeļi var izmantot, lai modelētu, piemēram, mazo TEC saražotās elektroenerģijas apjomus, elektroenerģijas pieprasījuma un elektroenerģijas jaudas izmaiņas (skat. 20. att.).



20. att. *Mazo TEC* apakšmodelis (izstrādāja autors kopā ar zinātnisko konsultantu).

Lielo koģenerācijas staciju apakšmodelī tiek modelēta Latvenergo TEC darbība līdzīgi kā mazo TEC apakšmodelī. Šī modeļa struktūra ir līdzīga “Mazo TEC” apakšmodelim.

TEC elektroenerģijas tirgus daļa ir atkarīga no tās sākotnējā līmeņa, tirgus daļas izmaiņām un tehniskā ierobežojuma. Tirgus daļas izmaiņas ir aprēķinātas kā starpība starp esošo un iepriekšējo TEC tirgus daļu.

Latvijā elektroenerģijas tirgu būtiski ietekmē elektroenerģijas ražošana HES. Modelējot HES darbību, autors vadījās no pieņēmuma, ka elektroenerģijas ražošana HES nav atkarīga no modelēšanas rezultātiem vai ekonomiskās situācijas. Faktiski tā ir atkarīga tikai no klimatiskiem apstākļiem (ūdens pieplūdes). Modelī elektroenerģijas ražošana HES paliek ārpus tirgus konkurences. Šis pieņēmums ir attaisnots, jo HES elektroenerģijas pašizmaksa vienmēr ir zemāka nekā TEC vai importa elektroenerģijas cenas.

Kopumā visi modeļa pieņēmumi ir balstīti Latvijas reālajā situācijā.

Saražotā elektroenerģija un siltuma enerģija nosaka ar pētāmo objektu patērēto kurināmā daudzumu. Secīgi caur apakšblokiem *Siltuma jauda*, *Elektriskā jauda* un *Kurināmā patēriņš* modeļa algoritms no bloka *Pētāmais objekts* pāriet uz bloku *Primāro energoresursu ietaupījums*. Apakšbloks *Kurināmā patēriņš* veido tiešu saiti ar apakšbloku SEG (siltumnīcas gāzu emisijas).

Balstoties uz modeļa struktūru, ir veikta AER integrēšanas enerģijas ražošanā ietekme uz pētāmo objektu, kas ir pieņemts par sistēmas pamatelementu. Par pētāmo objektu ir izvēlētas AS *Latvenergo* termoelektrocentrāles, par pētāmo sistēmu – Latvijas siltumapgādes un elektroapgādes sistēmas.

Veidojot ilgtermiņa plānošanas modeļus ir svarīgi zināt, kā praktiski tiek realizēta elektrostaciju īstermiņa ikstundu nepārtraukta optimizācija. Tāpēc autors ir analizējis algoritmu koģenerācijas režīmu plānošanai un iespējai izmantot jaudas kondensācijas režīmā.

4. MODELĒŠANAS REZULTĀTU ANALĪZE

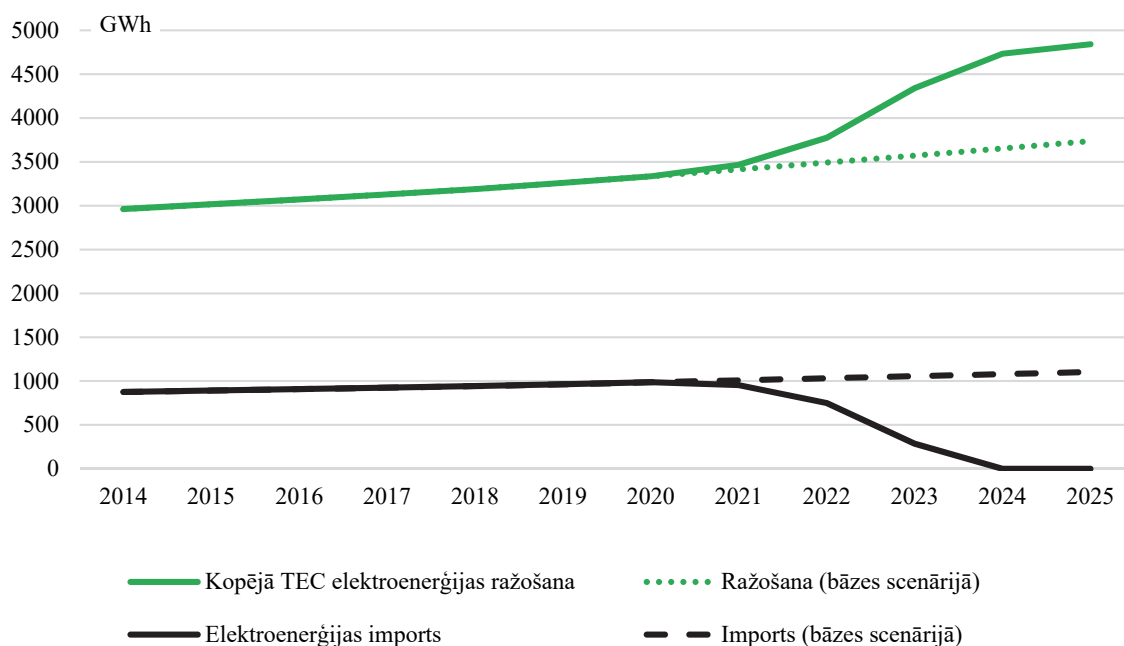
Ceturtajā nodaļā ir 26 lappuses, 21 attēls un 3 tabulas.

Šajā nodaļā autors ir apskatījis galvenos modelēšanas rezultātus, kas iegūti, izmantojot atsevišķus modeļus, to blokus un apakšblokus, lietojot ekonometriskos un sistēmdinamikas vienādojumus, optimizācijas un tehniski ekonomiskos aprēķinus. Promocijas darba autors ir aprēķinājis modeļa parametrus, nosakot endogēno rādītāju vērtības dažādu attīstības variantu izstrādāšanai un veicot rezultātu ekspertīzi. Modelēšanas rezultāti ietver 10 gadu perioda elektroenerģijas patēriņa un ražošanas iespēju analīzi, energoresursu nodrošinājuma analīzi un prognozes, tirgus situācijas izvērtējumu, AER izmantošanas analīzi. Aprēķini ar modeli ir veikti pa atsevišķiem blokiem: patēriņa bloks, ražošanas bloks, tirgus bloks, AER bloks u. c.

Veiktā modelēšana parāda, ka kopumā tiek prognozēts neliels, bet stabils kopējais elektroenerģijas patēriņa pieaugums – apmēram 12 % apskatāmajā periodā. Arī pa nozarēm tiek prognozēts elektroenerģijas pieaugums, izņemot dzelzceļa transportu un cauruļvadu transportu. Autors darbā ir veicis iegūto prognožu salīdzinājumu ar citām izpētēm. Dažādu prognožu atšķirību nosaka pieņemto parametru jutības koeficientu un citu eksogēno parametru atšķirības. Latvijā publicētās elektroenerģijas patēriņa prognozes ir līdzīgas ar modelī iegūtajiem datiem, kurās tāpat tiek prognozēts, ka turpmāk kopā ar tautsaimniecības attīstību pieaugs arī elektroenerģijas patēriņš.

Pēc 2021. gada būtiskas izmaiņas TEC elektroenerģijas ražošanas apjomos nav plānotas. Paredzēts, ka nākotnē siltumenerģijas pieprasījums nemainīsies. Līdz ar to TEC un katlumāju kopējā siltumenerģijas ražošana sasniegs maksimumu un stabilizēsies.

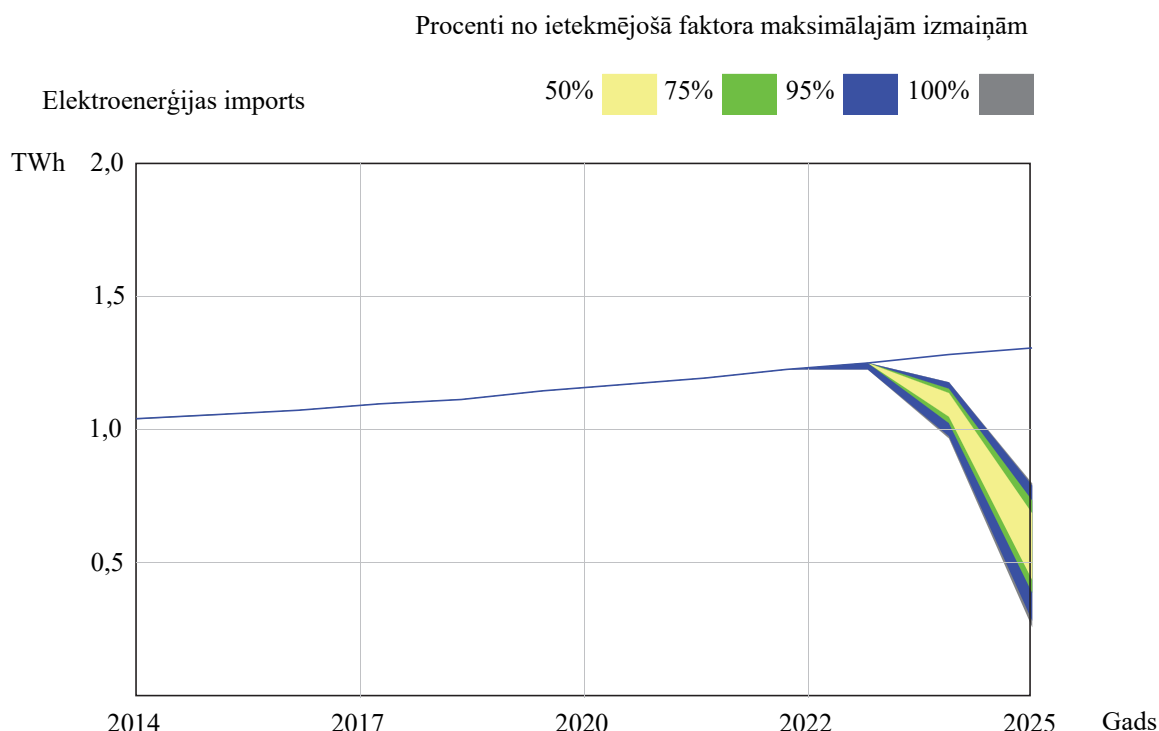
Modeļa mērķis ir noteikt situācijas, kādās Latvijas enerģētikas nozares uzņēmumi varētu paaugstināt savu konkurētspēju. Šajā nolūkā tika veiktas vairākas simulācijas sērijas. Autors ir veicis scenāriju analīzi, salīdzinot bāzes scenāriju ar dažādām amortizācijas normām, kas ietekmē ražotņu konkurētspēju. Modelēšanas scenārijā, lai noteiktu amortizācijas normas ietekmi uz konkurētspēju, tā ir samazināta divas reizes, salīdzinot ar bāzes periodu un pieņemta 0,02 (jeb 2 % gadā; pamatlīdzekļu vidējais kalpošanas laiks ir pieņemts 50 gadi). Šajā scenārijā elektroenerģijas pieprasījums un HES elektroenerģijas ražošana paliek nemainīga. Elektroenerģijas importa un TEC ražošanas apjomi (GW·h) ir salīdzināti 21. attēlā.



21. att. Prognozētais elektroenerģijas importa aizvietojs
pie amortizācijas normas 2 % gadā (sagatavoja autors).

Kopā ar pastāvīgajām izmaksām elektroenerģijas konkurētspēju būtiski ietekmē mainīgās izmaksas. Mainīgo izmaksu būtiska sastāvdaļa ir dabasgāzes izmaksas. Bāzes scenārijā dabasgāzes sākotnējā cena ir paņemta 268 EUR/t.m³ (bez PVN, ar akcīzes nodokli, 2015. gada augusta faktiskie dati). Tā kā gāzes cena ir būtiski saistīta ar naftas cenu, tai ir iespējamās ievērojamas svārstības.

Lai noteiktu, kādos apstākļos palielināsies nozares konkurētspēja, tika veikti vairāki aprēķini un noskaidrota dabasgāzes cenas ietekme uz nozares attīstību. Simulācijas rezultāti ir doti 22. attēlā.

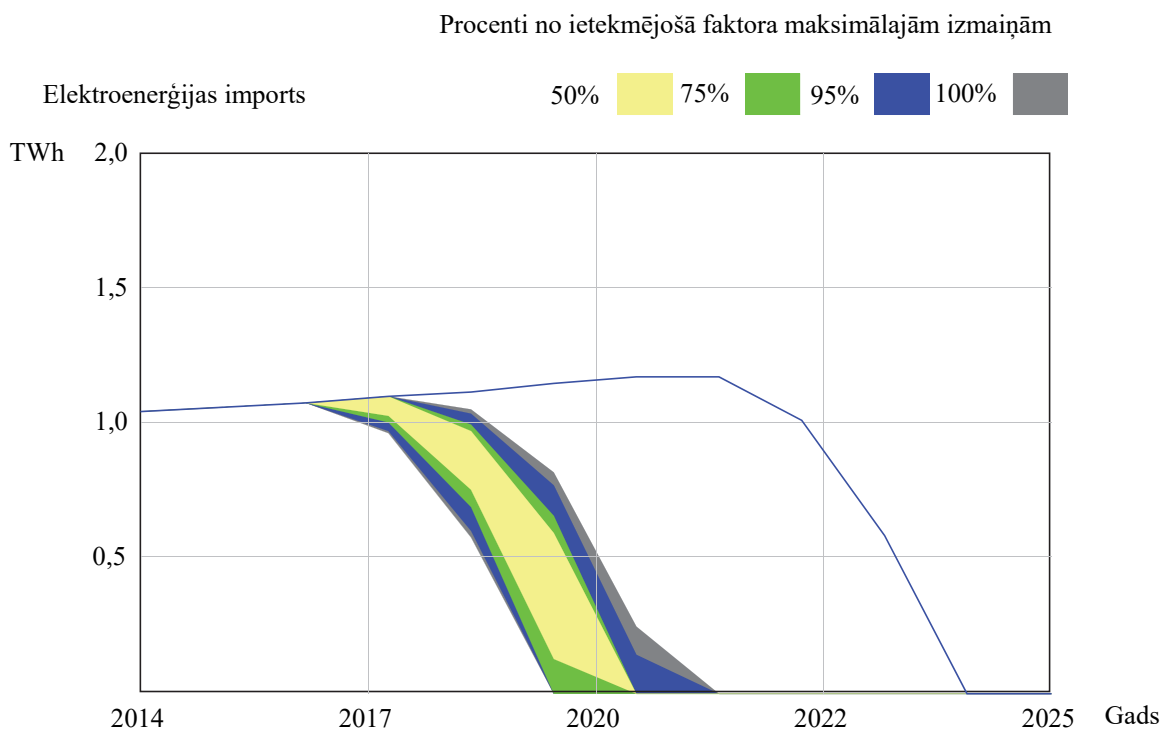


22. att. Dabasgāzes cenas samazinājuma ietekme uz elektroenerģijas importu, TWh (izstrādāja autors kopā ar zinātnisko konsultantu).

22. attēlā ir redzams elektroenerģijas imports pie nosacījuma, ka dabasgāzes sākotnējā cena samazinās par 30–40 % (t. i., līdz 160–190 EUR/t.m³) (scenārija dati ir salīdzināti ar bāzes scenāriju, kas ir attēlā redzamā taisnā līnija). Scenārijs atspoguļo tīro cenas ietekmi, t. i., pieņemot, ka amortizācijas apjoms paliek bāzes līmenī.

No rezultātiem ir redzams, ka, modelī ņemot vērā vidējās elektroenerģijas cenas (neievērojot ikstundu svārstības), tūlītēja dabasgāzes (un pārējo primāro resursu) cenas samazināšana būtiski palielina nozares konkurētspēju un veicina importētās elektroenerģijas aizvietošanu ar vietējo ražošanu tālākā periodā pēc 2022. gada. Šajā izskatītajā scenārijā dati sakrīt ar bāzes scenāriju līdz 2022. gadam. Tam ir sekojošs iemesls: vidējās resursu cenas samazinājums nebūs pietiekošs, lai nodrošinātu tūlītēju TEC elektroenerģijas ražošanas potenciālo cenu samazinājumu līdz tirgus līmenim. Ar sistēmdinamikas modeli veicot kompleksu analīzi, ņemot vērā arī ražošanas jaudu īstermiņa (ikstundu) optimizācijas iespējas, konkurētspējas izmaiņas tiek nodrošinātas jau īstermiņā.

Iepriekš veiktie simulācijas rezultāti atspoguļo individuālo faktoru iedarbību uz nozares konkurētspēju. Kompleksi novērtējot nozares konkurētspēju, tiek pieņemts, ka amortizācijas norma samazinās līdz 2 % gadā, vienlaicīgi dabasgāzes sākotnējā cena samazināsies par 30–40 % un elektroenerģijas tirgus cena augs katru gadu par 4 %. Rezultāti ir atspoguļoti 23. attēlā.



23. att. Kompleksā faktoru iedarbība uz elektroenerģijas importu
(izstrādāja autors kopā ar zinātnisko konsultantu).

Analizējot 23. attēla rezultātus, ir redzams, ka pie augstāk minētajiem nosacījumiem labvēlīgos apstākļos nozares konkurētspēja strauji palielinātos. Visu trīs faktoru iedarbība varētu līdz 2019. gadam būtiski samazināt importu.

Kompleksā iedarbība atspoguļo un pastiprina individuālo faktoru iedarbību. Amortizācijas normas samazinājums un dabasgāzes cenas samazinājums izraisa ražošanas pašizmaksas samazinājumu, kas kopā ar cenas paātrinātu pieaugumu būtiski uzlabo nozares konkurētspēju, radot priekšnosacījumus valsts energoapgādes ilgtspējīgai attīstībai.

Autors piedalījās aprēķinos ar *WASP* un *MESSAGE* modeļiem, kā arī analizējis *UPLANE-E* un *MARKAL* modeļu rezultātus, vērtējot parametrus, nosakot endogēno rādītāju vērtības, formulējot attīstības variantu nosacījumus, veicot rezultātu ekspertīzi u. c. Ar matemātiskiem modeļiem tika salīdzināti dažādi iespējamie attīstības scenāriji, ieskaitot dažādas kurināmā cenu prognozes un pieņēmumus. Promocijas darba ietvaros izstrādātā hibrīdmodeļa rezultāti ir līdzīgi iepriekš iegūtajām prognozēm, piemēram, ar *MESSAGE* modeli pie līdzīgiem nosacījumiem. Jāpiezīmē, ka 2016. gadā dabasgāzes cenas ir atgriezušās vēsturiskajā līmenī, kad notika izpēte ar augstāk minēto modeli (2005. g.).

SECINĀJUMI

1. Elektroenerģijas tirgus liberalizācija, atjaunīgo energoresursu atbalsta mehānismi un jaudu tirgus attīstība ir faktori, kas nosaka energoresursu un elektroenerģijas cenu svārstību nenoteiktības pieaugumu. Šie nenoteiktības faktori rada nepieciešamību veikt dziļāku ražošanas jaudu attīstības kompleksi ekonomisko scenāriju izvērtēšanu, kas ļauj paaugstināt energoresursu ilgtermiņa bilances optimizāciju.
2. Ņemot vērā būtiskas izmaiņas kurināmā resursu un elektroenerģijas tirgos, enerģētisko sistēmu modeļu īstermiņa plānošanas faktoru ievērošana atstāj būtisku ietekmi uz plānošanas rezultātiem ilgtermiņā. Tās elementu iekļaušana ilgtermiņa optimizācijas modeļos ir būtisks priekšnosacījums.
3. Ir nepieciešama līdz šim lietoto enerģētikas nozares attīstības optimizācijas modeļu struktūru pilnveidošana un attīstības scenārijos noteikto energoresursu cenu pieņēmumu precizēšana.
4. Energoefektivitātes un AER izvirzīto mērķu sasniegšanā nozīmīgs potenciāls ir transporta un siltumapgādes (t. sk. decentralizētās siltumapgādes) sektoros. Elektroapgādes īpatsvars kopējo energoresursu bilanci ir salīdzinoši neliels, un tā devums būtiski nespēj ietekmēt kopējo mērķu uzdevumu izpildi ar adekvātām izmaksām.
5. Pilnvērtīgai situācijas izvērtēšanai izveidots sistēmdinamikas modelis, izmantojot atbilstošu programmatūru. Modelī ietverti būtiskākie elementi (bloki, apakšbloki, konkrēti mainīgie lielumi, parametri u. c.) un būtiskākās sakarības/saites (tiešās, netiešās, cēloniskās, atgriezeniskās u. c.), kā arī citi nosacījumi, kas var ietekmēt rezultātu. Modeļa struktūra ir elastīga, jo to var operatīvi papildināt ar jauniem elementiem, eksogēnajiem datiem un ierobežojumiem.
6. Izstrādātais modelis pamatā ir izmantojams kopējās energoapgādes sistēmas efektivitātes un galapatērētāju iespējamo ieguvumu izvērtēšanā. Nepieciešamības gadījumā atsevišķus modeļa blokus un datus var izmantot, lai novērtētu ietekmi uz atsevišķiem energoapgādes objektiem.
7. Ar izstrādāto modeli novērtēts, ka Latvijā sagaidāms mērens kopējā elektroenerģijas patēriņa pieaugums tuvāko 10 gadu laikā (~12 %). Nav sagaidāms būtisks siltumenerģijas pieprasījuma pieaugums. Samazināsies elektroenerģijas imports. Iespējams pētāmā energoobjekta saražotās enerģijas apjoma palielinājums.

8. Esošā koģenerācijas potenciāla izmantošana un ar to saistīta kurināmā diversifikācijas realizācija centralizētās siltumapgādes sistēmās var būtiski ietekmēt energoapgādes sistēmas efektivitātes un drošuma rādītājus gan valsts, gan reģionālā mērogā.
9. Izveidotā modeļa aprobācijā ar Rīgas pilsētas centralizētās siltumapgādes un ražošanas avotu datiem iegūtie kritēriji ir izmantojami citu pilsētu/rajonu ar lielu centralizētās siltumapgādes īpatsvaru energoapgādes optimizācijas uzdevuma izpildē un tās efektivitātes novērtēšanā valsts vai reģiona mērogā, ņemot vērā apskatāmajā teritorijā pieejamos resursus un infrastruktūras pieejamību.
10. Izstrādātais modelis un iegūtie secinājumi dod iespēju operatīvāk novērtēt ietekmes faktoru kvantitatīvus rādītājus, kas tiek izmantoti ilgtermiņa plānošanas ekonomiskajos pamatojumos un vadības plānošanas procesos.
11. Sistēmdinamikas modeļa izstrādē un lietošanā enerģētikas nozarē nepieciešama kompleksa situācijas analīze, kā arī atbilstošu speciālistu, ekspertu un zinātnieku piesaiste un plašs skatījums uz kopējām tendencēm ne tikai enerģētikas sektorā, bet arī citās saistītajās nozarēs, piemēram, transporta sektorā.
12. Promocijas darba iestrādes ir iespējams izmantot enerģētikas programmu/koncepciju izstrādāšanai nākamajiem laika periodiem praktiskai energosistēmu attīstības plānošanai.

PRIEKŠLIKUMI

Pamatojoties uz iepriekš minētajiem secinājumiem, autors ir formulējis praksē īstenojamus priekšlikumus.

1. Autors iesaka reģionālā mērogā (Baltijas valstu ietvaros) papildus šobrīd lietotiem aktualizētiem modeļiem situācijas novērtēšanas procesiem izmantot sistēmdinamikas modeli, tādējādi uzlabojot stratēģisku lēmumu pieņemšanu par attīstības projektiem, ņemot vērā strauji mainīgos tirgus un tehnoloģiju attīstības apstākļus. Tas ir pielietojams pētniecības institūcijās, Ekonomikas ministrijā un energoapgādes komersantu biznesa darbībā.
2. Ilgtermiņa attīstības scenāriju modelēšanā jāintegrē īstermiņa faktori (piemēram, elektroenerģijas un siltumenerģijas jaudu ikstundu optimizācija), kas būtiski uzlabos rezultātu precizitāti.
3. Kurināmā diversifikācijas projektu attīstībā jāņem vērā būtiskie esošās kurināmā piegādes infrastruktūras faktori optimālai koģenerācijas potenciāla izmantošanai, kas kopumā var sniegt zemākas īpatnējās izmaksas visu produktu (dabasgāze, siltums, elektrība) piegādei.
4. Lietderīgi veikt izpēti par Latvijas esošo bāzes jaudu (kombinētā cikla energobloki Rīgā) iespējamo izmaiņu ietekmi uz elektroapgādes drošumu (Latvijas pārvades sistēmas operatora izpēte) un makroekonomiskiem rādītājiem (Ekonomikas ministrijas izpēte). Tālākā nākotnē jāizstrādā priekšnosacījumi jaudas kompensācijas mehānisma (*CRM*) tirgus izveidei. Makroekonomisko rādītāju novērtēšanai var tikt izmantots sistēmdinamikas modelis.
5. Liela mēroga projektiem jāveic komplekss izvērtējums par ekonomiskām sekām Latvijas ekonomikā kopumā, ņemot vērā visus savstarpēji saistošus aspektus, lai novērstu ražošanas jaudu pārinvestēšanu. Kompleksu risinājumu ieviešanu un uzlabošanu valsts energoapgādē jāveicina ar likumdošanas aktu pilnveidošanu. Jaunu ražošanas jaudu projektu realizācija nedrīkst samazināt primārās enerģijas kopējo ietaupījumu.
7. Lai palielinātu AER izmantošanu, prioritāte jāpiešķir sektoriem (decentralizētā siltumapgāde un transports) ar lielāko primāro energoresursu patēriņa īpatsvaru kopējā energoresursu bilancē. AER izmantošana decentralizētā siltumapgādē un transportā var dot lielāku kopējo investīciju efektivitāti un AER mērķu izpildē valstij.

8. Valsts attīstības stratēģiskos plānošanas dokumentus lietderīgi precizēt ar aprēķiniem par investīciju apjomu, kas būtu nepieciešami izvirzīto mērķu īstenošanai atsevišķos sektoros. Jāprecizē rezultatīvie rādītāji par ekonomiski izdevīgu apjomu vietējo resursu izmantošanā enerģijas ieguvei Latvijā. Jāveic analīze par šo resursu alternatīvu izmantošanu, tos pārstrādājot vai eksportējot kā produktu ar augstāku pievienoto vērtību.

KOPSAVILKUMĀ IZMANTOTIE AVOTI UN LITERATŪRA

1. Latvijas energobalance 2014; Centrālā statistikas pārvalde, 2015.
2. Latvenergo koncerna 2014. gada Ilgtspējas un Gada pārskats; Pieejams: http://www.latvenergo.lv/files/news/LE_ilgtspējas_parskats_2014g.pdf
3. Network Code Overview, ENTSO-E: pieejams: <https://www.entsoe.eu/major-projects/network-code-development/Pages/default.aspx>
4. VGB Powertech, Levelised Costs of Electricity, Issue 2015.
5. Nord Pool, <http://www.nordpoolspot.com/>
6. Bloomberg Markets, <http://www.bloomberg.com/markets>
7. Bhattacharyya, S. C., Timilsina G. R., A review of energy system models, International Journal of Energy Sector Management, Emerald Group Publishing Limited, Vol. 4, No. 4, 2010, pp. 494–518.
8. Kremers, E. Modelling and simulation of electrical energy systems through a complex systems approach using agent-based models, KIT Scientific Publishing, 2013, www.ksp.kit.edu/download/1000031133
9. Van Beeck, N. M. J. P., Classification of Energy Models. (FEW Research Memorandum; Vol. 777). Tilburg: Operations research. 1999, <https://pure.uvt.nl/portal/files/532108/777.pdf>
10. Assessing Storage Value in Electricity Markets, Joint Research Centre of European Commission, Institute for Energy and Transport, 2011; Pieejams: <https://setis.ec.europa.eu/system/files/edf%20jrc%20power%20storage%20report.pdf>
11. Grubb et. al., “The Cost of Limiting Fossil-Fuel CO₂ Emissions: A Survey and Analysis.” in: Robert H. Socolow et. al. (eds.) Annual Review of Energy and the Environment. vol. 18, 1993. Annual Reviews, California.
12. Hourcade, J. C. et. al., “Estimating the Cost of Mitigating Greenhouse Gases.” in: J. P. Bruce, H. Lee, and E. F. Haites (eds.), Climate Change 1995: Economic and Social Dimensions of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the IPCC. University Press, Cambridge, 1996, pp. 263–296.
13. Balodis, M., Linkevičs, O., Ivanova, P., Gavars, V. Latvijas primāro energoresursu patēriņš: vēsturiskās izmaiņas un prognozes. Enerģija un Pasaule, 2015, Nr. 5, 15.–19. lpp. ISSN 1407-5911.

14. Zeng, Y., Cai, Y., Huang, G., Dai, J., A Review on Optimization Modeling of Energy Systems Planning and GHG Emission Mitigation under Uncertainty, *Energies – Open Access Energy Research, Engineering and Policy Journal*, Volume 4, pp. 1624–1656, 2011; Pieejams: www.mdpi.com/1996-1073/4/10/1624/pdf
15. Kélouwani, S.; Agbossou, K.; Chahine, R. Model for energy conversion in renewable energy system with hydrogen storage. *J. Power Sour.* 2005, 140, 392–399.
16. Kuņickis, M., Balodis, M., Linkevičs, O., Ivanova, P. Flexibility Options of Riga CHP-2 Plant Operation under Conditions of Open Electricity Market. No: *2015 IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG)*, Latvija, Rīga, 11.–13. maijs, 2015. Riga: Riga Technical University, 2015, 548.–553. lpp. ISBN 978-1-4799-9978-1. Pieejams: doi:10.1109/PowerEng.2015.7266375
17. Skribans V. Latvijas energosektora sistēmdinamikas prognozēšanas modeļa izstrāde, *Enerģētika un elektrotehnika*, Nr. 26, 2010.
18. Skribans, V., Balodis, M. Development of the Latvian Energy Sector Competitiveness System Dynamic Model. In: *2016 9th International Scientific Conference on Business and Management: Proceedings*, Vilnius, Lithuania, 12–13 May 2016. Vilnius: VGTU Press, pp. 1–10. eISSN 2029-929X, eISBN 978-609-457-921-9.
19. Skribans, V. Taxes Income Modeling with System Dynamic Method. In: *50. RTU Starptautiskā zinātniskā konference: RTU IEVF Ekonomikas un uzņēmējdarbības zinātniskā konference (SCEE' 2009): konferences rakstu krājums*, Latvia, Riga, 15–16 October 2009. Riga: RTU Izdevniecība, 2009, pp. 474–481.
20. Centrālā statistikas pārvalde. Latvijas energobilance.
21. Informācija par izdotajiem lēmumiem par elektroenerģijas obligāto iepirkumu https://www.em.gov.lv/lv/nozares_politika/atjaunojama_energija_un_kogeneracija/informacija_par_izdotajiem_lemumiem_par_elektroenerģijas_obligato_iepirkumu/