

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

Uldis Bariss  
Doktora studiju programmas “Vides zinātne” doktorants

**Energoefektivitātes un viedās uzskaites aspekti**

**Promocijas darba kopsavilkums**

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

**RTU Izdevniecība**  
**Rīga 2017**

Bariss, U. *Energoefektivitātes un viedās uzskaites aspekti*. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2017. 39 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta 2017. gada 20. jūnija lēmumu, protokols Nr. 81.

*Vāka attēla autors – Linda Šeibe*

**ISBN 978-9934-22-007-4**

## **PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTNU DOKTORA GRĀDA VIDES INŽENIERZINĀTNĒ IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs inženierzinātnu doktora zinātniskā grāda Vides zinātnes nozares apakšnozarē “Vides inženierzinātnes” iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2017. gada 3. novembrī plkst. 14.00 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Rīgā, Āzenes ielā 12/1, 115. auditorijā.

### **OFICIĀLIE RECENZENTI**

Profesors *D. Sc. Peter Lund*  
Ālto Universitāte, Somija

Profesors *Dr. habil. sc. ing. Ivars Veidenbergs*  
Rīgas Tehniskā universitāte

Asociētais profesors *Dr. sc. ing. Ainis Lagzdiņš*  
Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Latvija

### **APSTIPRINĀJUMS**

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātnu doktora grāda iegūšanai programmā “Vides zinātne”. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Uldis Bariss ..... (paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir izstrādāts angļu valodā, tajā ir ievads, divas nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 36 attēli, 21 tabula, kopā 90 lapaspuses. Literatūras sarakstā ir 110 nosaukumu.

# SATURA RĀDĪTĀJS

<b>IEVADS .....</b>	<b>5</b>
<b>Darba aktualitāte .....</b>	<b>5</b>
<b>Darba mērķis un uzdevumi.....</b>	<b>6</b>
<b>Zinātniskā novitāte .....</b>	<b>6</b>
<b>Zinātniskā darba hipotēze un grafiskās tēzes .....</b>	<b>7</b>
<b>Zinātniskais lietojums.....</b>	<b>9</b>
<b>Praktiskais lietojums .....</b>	<b>9</b>
<b>Zinātniskā darba aprobācija .....</b>	<b>9</b>
<b>Darba struktūra .....</b>	<b>13</b>
<b>1. Viedo skaitītāju ieviešanas un energoefektivitātes analīze.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. Viedās uzskaites izmaksu un ieguvumu analīze .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2. Viedās uzskaites ieviešanas pilotprojekta analīze .....</b>	<b>16</b>
<b>1.3. CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums Baltijas elektroenerģijas tirgus integrācijas situācijā .....</b>	<b>20</b>
<b>2. Energoefektivitāti ietekmējošo faktoru un dinamikas analīze .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1. Nolūka ietvara teorijas lietojums energoefektivitātes analīzei .....</b>	<b>25</b>
<b>2.2. Energoefektivitātes ieguvumu dinamikas modelēšana.....</b>	<b>29</b>
<b>SECINĀJUMI .....</b>	<b>37</b>

## **IEVADS**

Enerģētikas nozare pēdējos gados ES un arī Latvijā ir strauji mainījusies. Strukturāli lielie monopoluzņēmumi ir atdalījuši elektroenerģijas vai dabas gāzes pārvades un sadales tīklus, kas turpina darbību kā regulēti pakalpojumu sniedzēji, savukārt energijas ražošana un piegāde arvien vairāk darbojas brīvas konkurences apstākļos. Tomēr ar to pārmaiņas nav beigušās, un tuvāko gadu laikā ir sagaidāma tālāka nozares virzība uz atjaunojamās energijas īpatsvara palielināšanu gala patēriņā, CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanu un energoefektivitātes nepārtrauktu uzlabošanu, kā arī elektroenerģijas patēriņu iespēju un iesaistes palielināšanu.

Viens no ES 2020. gada enerģētikas politikas mērķiem ir sasniegt 20 % atjaunojamo energoresursu īpatsvaru gala patēriņā. Jāatzīmē, ka Latvijā attiecīgais mērķis šim laika periodam ir 40 %. Savukārt 2030. gadam ES šis mērķis jau ir sasniegt vismaz 27 %, elektroenerģijas ražošanā tas jau nozīmētu atjaunojamo resursu īpatsvaru 50 % apmērā, kur pieaugumu pamatā nodrošinās vēja un saules ģenerācija. Šādi elektroenerģijas ģenerācijas avoti būtiski palielina energosistēmas ģenerācijas gan prognozējamās diennakts un sezonālās svārstības, gan arī stohastiskās svārstības. Tāpēc energosistēmā pieauga vērtība ne tikai rezerves ģenerācijas avotiem, bet arī risinājumiem energoresursu patēriņa pusē, kas ne tikai efektīvāk ļaus izmantot energiju, bet spēs reaģēt uz energijas cenu izmaiņām vai pat piedalīties elektroenerģijas rezervju tirgū, attiecīgi pārdodot patēriņa elastību.

Lai šajā aspektā realizētu energoefektivitātes un patēriņa elastības potenciālu, ir svarīgi izveidot ražošanas un patēriņa savstarpējo mijiedarbību. Veidojoties ES elektroenerģijas tirgum, ražošanas un integrālā patēriņa sasaiste ir veiksmīgi izveidota elektroenerģijas biržu līmenī, kur Latvijā to reprezentē *Nord Pool* birža, kur dominējošā tirdzniecība notiek nākamās dienas tirgū, veidojot cenas katrai stundai. Tomēr būtisks ir arī nākamais solis, lai patēriņa pusē šie cenu signāli un iesaiste jau sasniegtu individualizētus patēriņtājus un līdz ar to varētu tikt realizēts papildu energoefektivitātes un patēriņa elastības potenciāls.

Līdz ar to patēriņtāju tālākas iesaistes realizācijai ir identificējami vismaz divi galvenie priekšnosacījumi. Pirmkārt, nepieciešams izveidot elektroenerģijas patēriņa uzskaites, kas spētu nodrošināt operatīvu informāciju par faktisko patēriņu, ko nozarē mēdz saukt par viedo uzskaiti. Otrkārt, nepieciešams izveidot energijas patēriņtāju iesaisti, kas nodrošina elektroenerģijas cenas atgriezenisko saiti un attiecīgi vai nu maina patēriņa apjomu un tā laiku, vai nu, iespēidojot patēriņtāju uzvedību, dod iespēju veidot dažādus tehnoloģiskos risinājumus patēriņa optimizēšanai.

## **Darba aktualitāte**

Viedā uzskaitē nav, bet vienlaikus var būt energoefektivitātes paaugstināšanas pasākums.

- Tas nav energoefektivitātes pasākums tāpēc, ka, uzstādot viedās uzskaites, elektroenerģija pati no sevis netiks taupīta.
- Tā tomēr var būt energoefektivitātes pasākums, jo viedās uzskaites sistēma dod iespēju efektīvi nodrošināt atgriezenisko saiti un rosina elektroenerģijas lietotāju samazināt energijas patēriņu, veicot energoefektivitātes pasākumus vai mainot paradumus.

Tāpēc viedā elektroenerģijas patēriņa uzskaite var tikt aplūkota caur energoefektivitātes pasākumu īstenošanas prizmu. Viedā uzskaite ir ne tikai informācijas avots par enerģijas lietotāja energopatēriņu, tā ir būtiska sadaļa energopārvaldībā, kas ļauj efektīvi analizēt un ekonomiski izvērtēt šī brīža enerģijas patēriņa lietderību.

Viedā uzskaite, kas ir papildināta ar atbilstošo atgriezenisko saisti lietotājam, savācot un sniedzot informāciju, sākotnēji rosina analizēt un tad arī mainīt uzvedību, bet vēlāk pakāpeniski elektroenerģijas patēriņtājs tiek arī motivēts jauniem energoefektivitātes pasākumiem, kas rezultējas enerģijas efektīvākā patēriņā ilgtermiņā.

Tomēr viedās uzskaites ieviešana, it īpaši tās sākotnējā posmā, nav ekonomiski viegli pieņemams lēmums, jo saistīts ar pietiekami būtiskiem ieguldījumiem, kur nākotnes ieguvumi, it īpaši patēriņa elastības pusē, bieži nav viegli novērtējami un pamatojami. Tāpēc svarīga ir plašāka sapratne par viedās uzskaites sasaisti ar tādiem virzieniem kā energoefektivitāte, kuras pozitīvā sociālekonomiskā ietekme varētu būt labāk izvērtējama.

## **Darba mērķis un uzdevumi**

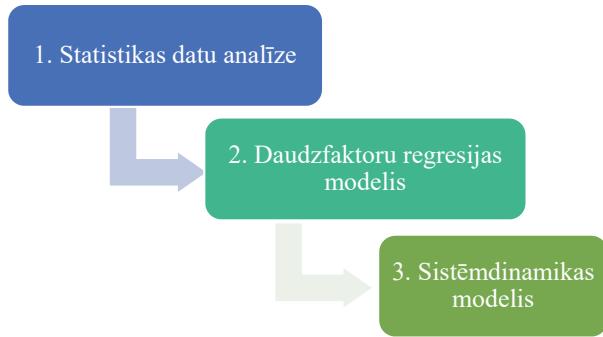
Darba mērķis ir analizēt viedās uzskaites ietekmi uz mājsaimniecības sektora elektroenerģijas gala lietotāja energoefektivitāti un vērtēt faktorus, kas ietekmē energoefektivitātes paaugstināšanu.

Lai izpildītu noteikto mērķi, darbā veikti šādi uzdevumi:

- 1) novērtēt viedās uzskaites ietekmi uz energoefektivitātes paaugstināšanu, vērtējot tās:
  - a) ekonomisko pamatošību;
  - b) elektroenerģijas ietaupījuma potenciālu;
  - c) ietekmi uz CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu;
- 2) energoefektivitāti ietekmējošo faktoru un dinamikas analīze, ņemot vērā identificētos ietekmes faktorus:
  - a) izvērtējot inovāciju difūzijas lomu un cilvēku uzvedības apstākļus;
  - b) analizējot mājsaimniecību patēriņa un energoefektivitātes dinamiku.

## **Zinātniskā novitāte**

Zinātniskā izpēte balstās uz pakāpeniskuma principu: no vienkāršākā uz sarežģītāko. Darba zinātniskā novitāte ilustrēta 1. attēlā.



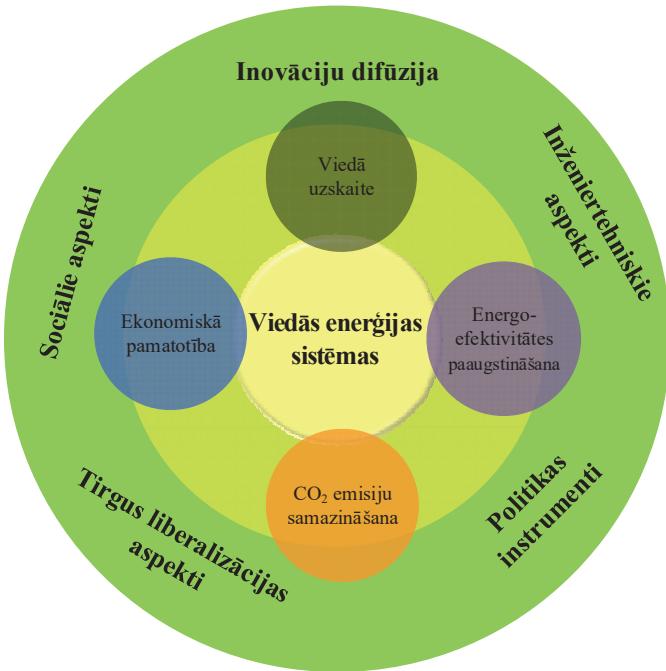
1. att. Darbā izmantotās metodikas.

Metodikas ir savstarpēji saistītas un integrētas viena otrā.

1. Metodika ietver pilotprojekta izpētes plānošanu, pilotprojekta īstenošanu, statistikas datu vākšanu un apstrādi viedās mērīšanas pilotprojekta laikā.
2. Daudzfaktoru regresijas modelis izveidots, lai novērtētu CO<sub>2</sub> emisiju ietekmi uz elektroenerģijas tirgus cenām. Savukārt nolūka ietvara (*goal framing*) teorijas piemērošanas ietvaros izveidots daudzfaktoru loģistikas regresijas modelis. Šī regresijas analīze tika veikta, lai noskaidrotu, kā nolūka ietvara mērķi ietekmē lietotāju uzvedību energoefektivitātes pasākumu veikšanā. Minētais inovāciju difūzijas matemātiskais modelis tika izstrādāts, izveidojot un apkopojoj mājsaimniecības sektora elektroenerģijas lietotāju aptauju rezultātus.
3. Veikta mājsaimniecību elektroenerģijas lietotāju energoefektivitātes paaugstināšanas sistēmdinamikas modelēšana. Izveidoti divi sistēmdinamikas modeļi: (a) inovatīva apgaismojuma ieviešanas analīzei, nemot vērā sociālos un tehnoloģiskos aspektus; (b) mājsaimniecību elektroenerģijas lietotāju labklājības, tehnoloģiju attīstības un elektroenerģijas cenu ietekme uz elektroenerģijas patēriņu.

### **Zinātniskā darba hipotēze un grafiskās tēzes**

Viedo skaitītāju ieviešanai ir būtiska pozitīva ietekme uz energoefektivitāti un CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu arī Latvijas apstākļos, savukārt šo ietekmi nozīmīgi ietekmē elektroenerģijas gala lietotāju uzvedības aspekti.



2. att. Darba satura grafiskais zīmējums.

Viedā uzskaitē nav uzskatāma par tiešu energoefektivitātes pasākumu, tomēr viedajai uzskaitei ir energoefektivitāti ietekmējošs faktors, jo tā nosaka energoefektivitātes pasākumu īstenošanas izvēli, vienlaikus pozitīvi ietekmējot dažu citu problēmu risinājumus. No tām varētu izcelt šādas:

- palīdz klimata pārmaiņu samazināšanai, jo elektroenerģijas patēriņš un attiecīgi tās ražošana, izmantojot fosilos energoresursus, ir saistīta ar siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijām;
- rosinā inovatīvu tehnoloģiju ieviešanu, jo energoefektivitātes pasākumi ir saistīti ar inovatīvu tehnoloģiju iegādi;
- rada līdzekļu ekonomiju, jo energoefektivitātes pasākumu ieviešanas rezultātā samazinās maksā par elektroenerģiju;
- rosinā cilvēku attieksmes maiņu, jo energopārvaldības procesa uzsākšanai ir jāmaina elektroenerģijas lietotāja uzvedība, ko savukārt ietekmē patēriņtāja informācijas plūsmas un zināšanu pieaugums.

Darbs ietver viedās energosistēmas viena elementa – viedā skaitītāja – un elektroenerģijas gala lietotāja dažādus aspektus ārejās vides ietvarā (2. att.).

## Zinātniskais lietojums

Darbā izstrādātas un testētas metodikas, kas demonstrē viedās uzskaites un energoefektivitātes pasākumu savstarpējās saites:

- viedās uzskaites pilotprojekta metodikas izveide, kas var tikt vispārināta un lietota energopāvaldības problēmu analīzē;
- energoefektivitātes paaugstināšanas ietekmes uz klimata pārmaiņām analīze, izveidojot CO<sub>2</sub> emisiju faktora noteikšanas metodiku brīva elektroenerģijas tirgus apstākļos, kas dod iespēju adaptēt metodikas izmantošanu citu tirgu analīzei;
- energoefektivitātes pasākumu tehnoloģisko faktoru izvērtēšanu, izmantojot nolūka ietvara teoriju inovāciju difuzijas vērtēšanai;
- sistēmdinamikas modeļa izveide, iekļaujot energoefektivitātes pasākumu, elektroenerģijas lietotāju uzvedības un labklājības aspektu, kā arī tehnoloģisko faktoru un elektroenerģijas tarifu ietekmes modelēšanu, prognozējot elektroenerģijas patēriņu. Izstrādāto modeli var izmantot citu enerģētikas politikas instrumentu novērtēšanai elektroenerģijas mājsaimniecību sektorā.

## Praktiskais lietojums

Viedajai elektroenerģijas uzskaitei ir būtiska nozīme energoefektivitātes paaugstināšanā, kaut arī, tikai uzstādot elektroenerģijas skaitītāju, nav iespējams samazināt elektroenerģijas patēriņu. Ir nepieciešama energijas lietotāja darbība, kas īsteno energoefektivitātes pasākumus, saņemot informāciju no viedās uzskaites, to analizējot un pieņemot lēmumu.

Latvijas apstākļos jau sākotnēji tika identificēti lielākie izaicinājumi: relatīvi zemais elektroenerģijas patēriņš mājsaimniecību sektorā un nepieciešamās būtiskās papildu investīcijas viedajos skaitītājos. Tāpēc veiktā analīze ļauj precīzāk izveidot pamatojumu tālākai skaitītāju modernizācijas virzībai.

Atvērta elektroenerģijas tirgus apstākļos viedā uzskaitē dod iespēju ne tikai ērtāk saņemt informāciju par patēriņu, bet arī sākt pielāgot patēriņu tirgus cenu faktiskajiem apstākļiem. Nemot vērā to, ka elektroenerģijas cenas būtiski mainās un tās veidojas katrai stundai atsevišķi, nākotnē gala lietotājiem tiks piedāvāts arvien vairāk elektroiekārtu un pakalpojumu, kas spēs optimizēt patēriņu, atbilstoši sagaidāmajām cenām.

## Zinātniskā darba aprobatācija

### Zinātniskās publikācijas par tēmu

1. Avotiņš, A., Kučickis, M., Bariss, U., Apse-Apsītis, P. Smart Metering Cost-Benefit Analysis in Latvia. In: *Proceedings of the 14th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE 2013)*, Czech Republic, Kouty nad Desnou, 28–30 May, 2013 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).

2. Kučickis M., Dandens A., Bariss U. Justification of the Utility of Introducing Smart Meters in Latvia. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2015, No. 6, pp. 13–21 (indeksēts SCOPUS).
3. Bariss, U., Kamenders, A., Vītolinš, V., Blumberga, D. Energy Efficiency Results of Smart Metering, Pilot in a Context of Cost Benefit Analysis of Smart Meters in Latvia. In: *Proceedings of the 27th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2014)*, Finland, Turku, 15-19 June, 2014. Turku: Abo Akademi University, 2014, pp. 2168–2177 (indeksēts SCOPUS).
4. Bariss, U., Avenitis, E., Junghāns, G., Blumberga, D. CO<sub>2</sub> Emission Trading Effect on Baltic Electricity Market. *Energy Procedia*, 2016, Vol. 95, pp. 58–65 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).
5. Bariss, U., Laicāne, I., Blumberga, D. Analysis of Factors Influencing Energy Efficiency in a Smart Metering Pilot. *Energetika*, 2014, Vol. 60, No. 2, pp. 125–135 (indeksēts SCOPUS).
6. Bariss, U., Dandens, Ā., Timma, L., Blumberga, A., Blumberga, D. How to Assess Involvement of Electricity End User in Energy Efficiency Improvement. Analysis of Survey Results. *Energy Procedia*, 2015, Vol. 72, pp. 270–277 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).
7. Timma, L., Bariss, U., Blumberga, A., Blumberga, D. Outlining Innovation Diffusion Processes in Households Using System Dynamics. Case Study: Energy Efficiency Lighting. *Energy Procedia*, 2015, 75, pp. 2859–2864 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).
8. Bažbauers, G., Bariss, U., Timma, L., Lauka, D., Blumberga, A., Blumberga, D. Electricity Saving in Households due to the Market Liberalization and Change in the Consumer Behaviour. *Energetika*, 2015, No. 61, pp. 108–118.
9. Timma, L., Bazbauers, G., Bariss, U., Blumberga, A., Blumberga, D. Energy Efficiency Policy Analysis Using Socio-Technical Approach and System Dynamics. Case study of lighting in Latvia's households. *Energy Policy*. 2017, No. 109, pp. 545–554 (indeksēts SCOPUS).
10. Bariss, U., Bazbauers, G., Blumberga, A., Blumberga, D. System Dynamics Modeling of Households' Electricity Consumption and Cost-Income Ratio: a Case Study of Latvia. *Environmental and Climate Technologies*, 2017 (pieņemts publicēšanai).

### Citas zinātniskās publikācijas

1. Ločmelis, K., Bariss, U., Blumberga, D. Latvian Energy Policy on Energy Intensive Industries. *Energy Procedia*, 2017, Article in press, pp. 1–6 (indeksēts SCOPUS).
2. Timma, L., Bariss, U., Dandens, Ā., Blumberga, A., Blumberga, D. Framework for the Assessment of Household Electricity Saving by Integrating Behavioural Aspects. *Energy Procedia*, 2016, Vol. 95, pp. 517–521 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).

3. Burmistre, I., Blumberga, A., Rošā, M., Blumberga, D., Bariss, U. Development of Methodology for the Assessment of Changes in Household Electricity Consumption and Calculation of CO<sub>2</sub> Emissions. *International Journal of Global Warming*, 2015, Vol. 8, No. 1, pp. 114–131 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).
4. Bariss, U., Dandens, Ā., Blumberga, D. Smart Meters as Enablers for Feedback Information Induced Energy Efficiency and Demand Response: Case Analysis in Latvia. In: *2015 IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG): Proceedings*, Latvia, Rīga, 11–13 May, 2015. Riga: Riga Technical University, 2015, pp. 69–73 (indeksēts SCOPUS, web of Science).
5. Bariss, U., Timma, L., Blumberga, D. Smart Metering Pilot Project Results. *Energy Procedia*, 2014, Vol. 61, pp. 2176–2179 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).
6. Kunickis, M., Bariss, U., Dandens, Ā. Smart Meters Implementation Substantiaton in Latvia. In: *International Symposium, Dedicated to the 150 Anniversary of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering: Scientific Program and Book of Abstracts*, Riga, 16–20 October, 2014. Riga: RTU, 2014, pp. 38–39.
7. Laicāne, I., Blumberga, A., Rošā, M., Blumberga, D., Bariss, U. Forecasting Electricity Consumption based on Smart Metering Case Study in Latvia. In: *Recent Advances in Energy and Environmental Management: Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Energy & Environment (EE'13)/Energy, Environmental and Structural Engineering Series*, Greece, Rhodes, 16–19 July, 2013.
8. Bariss, U., Blumberga, D., Blumberga, A. Analysis of the Electricity Prices as Applied to the Latvian Market. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2012, Vol. 49, No. 1, pp. 13.–15.
9. Bariss, U., Brīnķis, K. Expansion of the Market and Security of Electricity Supply. *Enerģija un Pasaule*, 2012, Nr. 2, pp. 34–37.

## Zinātniskās Konferences

1. Bariss, U., Dandens, Ā., Blumberga, D. Smart Meters as Enablers for Feedback Information Induced Energy Efficiency and Demand Response: Case Analysis in Latvia. In: *2015 IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG): Proceedings*, Latvia, Rīga, 11–13 May, 2015.
2. Kunickis, M., Bariss, U., Dandens, Ā. Smart Meters Implementation Substantiaton in Latvia. In: *International Symposium, Dedicated to the 150 Anniversary of the Faculty of Transport and Mechanical Engineering: Scientific Program and Book of Abstracts*, Riga, 16–20 October, 2014.
3. Bariss, U., Dandens, Ā., Timma, L., Blumberga, A., Blumberga, D. How to Assess Involvement of Electricity End User in Energy Efficiency Improvement. Analysis of Survey Results. In: *Abstracts of 55th International Scientific Conference: Subsection: Environmental and Climate Technologies*, Latvia, Rīga, 14–15 October, 2014. Riga
4. Bariss, U., Kamenders, A., Vītolinīš, V., Blumberga, D. Energy Efficiency Results of Smart Metering, Pilot in a Context of Cost Benefit Analysis of Smart Meters in Latvia.

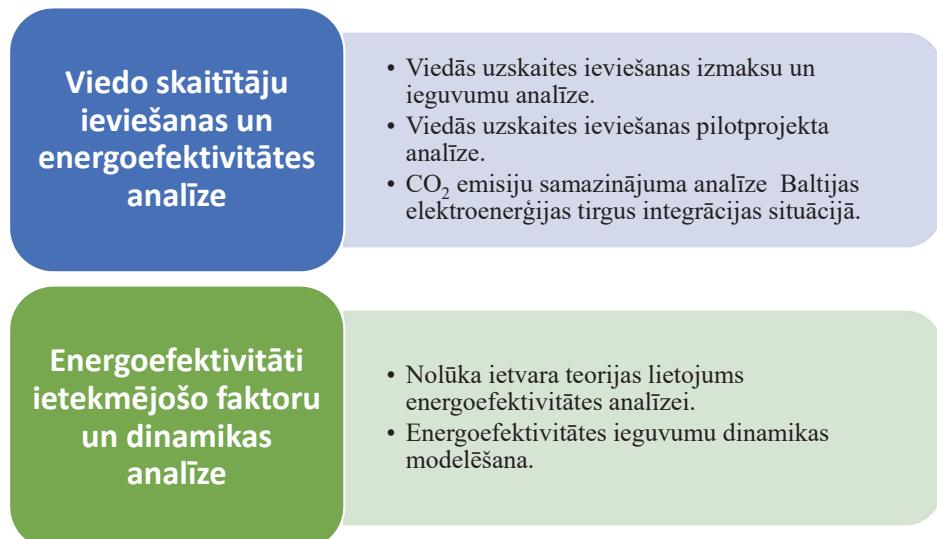
In: *Proceedings of the 27th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2014)*, Finland, Turku, 15–19 June, 2014.

5. Laicāne, I., Blumberga, A., Rošā, M., Blumberga, D., Bariss, U. Forecasting Electricity Consumption based on Smart Metering Case Study in Latvia. In: *Recent Advances in Energy and Environmental Management: Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Energy & Environment (EE'13)/Energy, Environmental and Structural Engineering Series*, Greece, Rhodes, 16–19 July, 2013.
6. Laicāne, I., Blumberga, A., Rošā, M., Blumberga, D., Bariss, U. The Effect of the Flows of Information on Residential Electricity Consumption: Feasibility Study of Smart Metering Pilot in Latvia. In: *Smart Objects, Systems and Technologies (SmartSysTech): Proceedings of 2013 European Conference*, Germany, Erlangen/Nuremberg, 11–12 June, 2013.
7. Avotiņš, A., Kučickis, M., Bariss, U., Apse-Apsītis, P. Smart Metering Cost-Benefit Analysis in Latvia. In: *Proceedings of the 14th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE 2013)*, Czech Republic, Kouty nad Desnou, 28–30 May, 2013.

## Darba struktūra

Promocijas darbs ir izveidots kā publikāciju kopa, kurā apvienota daļa no doktorantūras laikā rakstītajām publikācijām.

Promocijas darbā īstenots mājsaimniecībās uzsāktas viedā uzskaites ietekmes analīzes un energoefektivitātes paaugstināšanas iespēju pētījums, kura realizācija balstās uz pakāpeniskuma principu. Zinātniskā izpēte tika veikta soli pa solim. Promocijas darba struktūras vizuālais atspoguļojums ir ilustrēts 3. attēlā.



3. att. Promocijas darba struktūra.

Pirmajā sadaļā ir veikta viedās uzskaites ieviešanas izmaksu un ieguvumu analīze, lai pamatotu optimālo ieviešanas apjomu. Lai validētu analīzē iekļautos pieņēmumus, veikta viedo skaitītāju pilotprojekta datu analīze, izvērtējot elektroenerģijas patēriņa izmaiņas. Papildus veikta CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma analīze, nemot vērā būtiskās elektroenerģijas tirgus struktūras izmaiņas, kas veidojas tirgus liberalizācijas procesā.

Otrajā sadaļā analizēti faktori, kas ietekmē gala lietotāja lēmumus energoefektivitātes pasākumu veikšanai, tajā skaitā izskatīta nolūka ietvara teorijas adaptācija energoefektivitātes motivācijas izpētē. Apskatīti divi sistēmdinamikas modeļi, ar kuru palīdzību tiek analizēta inovāciju difuzija un simulētas mājsaimniecības sektora elektroenerģijas patēriņa izmaiņas.

# 1. Viedo skaitītāju ieviešanas un energoefektivitātes analīze

## 1.1. Viedās uzskaites izmaksu un ieguvumu analīze

Par būtiskāko soli viedo skaitītāju ieviešanai ES līmenī var uzskatīt Direktīvu 2009/72/EK par kopīgiem noteikumiem attiecībā uz elektroenerģijas iekšējo tirgu, kas nosaka, ka tajās dalībvalstīs, kur viedo skaitītāju izlaide tiek vērtēta pozitīvi, līdz 2020. gadam vismaz 80 % patērētāju ir jānodrošina ar viedo mēraparātu sistēmām.

Viedo mēraparātu sistēma tiek definēta kā elektroniska sistēma, kas var uzskaitīt energijas patēriņu, pievienojot vairāk informāciju nekā parastais skaitītājs, un spēj nodot un saņemt informāciju elektroniskās komunikācijas formā. Šīs regulācijas mērķis ir ne tikai veicināt energoefektivitāti, bet arī nodrošināt, ka klienti var aktīvi iesaistīties elektroenerģijas tirgū. Minētā direktīva bija tā sauktās trešās paketes sastāvdaļa, kuras uzdevums bija panākt tālāku ES elektroenerģijas un gāzes tirgu liberalizāciju un integrāciju. Tomēr viedo skaitītāju ieviešanas lēmums tika deleģēts katrai dalībvalstij, balstoties uz tās veikto izmaksu un ieguvumu analīzi, kurā jāņem vērā attiecīgi visas dalībvalstij specifiskās izmaksas, kā arī ieguvumi, iekļaujot arī klientu un tirgus ieguvumus.

Latvijas apstākļos jau sākotnēji tika identificēti lielākie izaicinājumi: relatīvi zems vidējais elektroenerģijas patēriņš mājsaimniecību sektorā un nepieciešamās papildu investīcijas viedajos skaitītājos.

Viedo mēraparātu ieviešanas izmaksu un ieguvumu analīzes (IIA) izstrādē tika izmantotas Eiropas Komisijas Enerģētikas un transporta institūta Vienotā izpētes centra vadlīnijas. Atbilstoši šim vadlīnijām tiek fiksēts bāzes scenārijs jeb situācija, kāda tā ir pašlaik, un tiek definēti dažādi viedo skaitītāju un viedo sistēmu ieviešanas scenāriji, variējot gan viedo skaitītāju skaitu, funkcionalitāti, ieviešanas grafiku, tehnoloģijas un citus būtiskos aspektus.

Atbilstoši minētajām vadlīnijām tika izskatīti seši scenāriji, kas aprakstīti 1.1. tabulā.

1.1. tabula

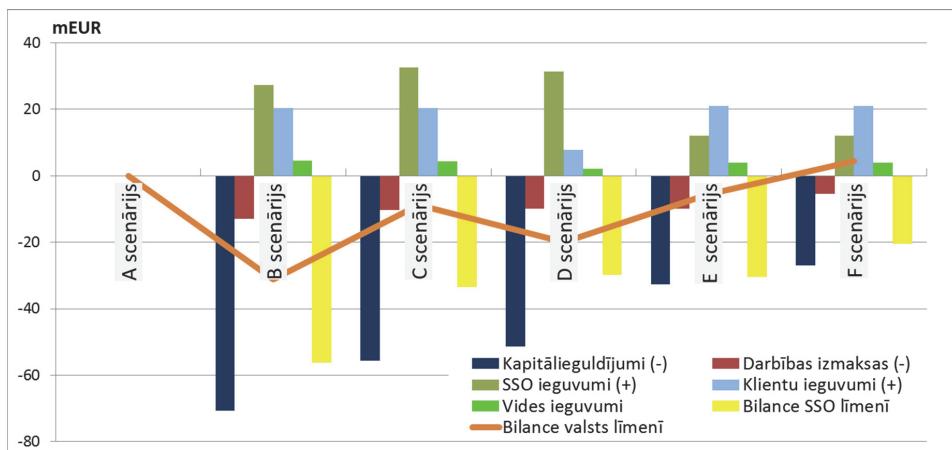
Izmaksu un ieguvumu analīzes scenāriji

Scenārijs	Scenāriju īss apraksts
A	Esošo skaitītāju ekspluatācijas turpināšana
B	80 % viedo skaitītāju tiek uzstādīti līdz 2020. gadam, bet atlikušais apjoms – līdz 2022. gadam atbilstoši direktīvas ieteiktajam grafikam
C	Viedos skaitītājus uzstāda visiem objektiem ar patēriņu virs 600 kWh gadā sasniedzot 74 % īpatsvaru, uzstādīšanu sākot ar lielākā patēriņa objektiem tur, kur to atļauj tehniskie ierobežojumi
D	Viedos skaitītājus uzstāda bez patēriņa prioritātes atbilstoši veco nomaināmo skaitītāju grafikam, sasniedzot 90 % īpatsvaru
E	Viedos skaitītājus uzstāda objektiem ar patēriņu virs 2500 kWh gadā, izmantojot GSM tehnoloģiju, sasniedzot 23 % viedo skaitītāju īpatsvaru
F	Viedos skaitītājus uzstāda objektiem ar patēriņu virs 2500 kWh gadā, pamatā izmantojot PLC tehnoloģiju, sasniedzot 23 % viedo skaitītāju īpatsvaru

Izvērtējumā tiek aprēķināts nepieciešamais investīciju apjoms un izmaksas, ko rada viedo skaitītāju sistēmu ieviešana. Tieki definēti ieguvumi, kādus sadales tīkla uzņēmumam un sabiedrībai kopumā sniedz šādas sistēmas ieviešana konkrētajos apstākļos.

Būtisks izaicinājums bija novērtēt potenciālos klientu, elektroenerģijas tirgus un sabiedrības ieguvumus, jo bez ietekmes uz energoefektivitāti viedie skaitītāji var dot savu ieguldījumu arī elektroapgādes pakalpojuma kvalitātes palielināšanā un patēriņa elastības attīstībā. Tomēr, nesmot vērā, ka šo faktoru ekonomiskais izvērtējums būtu ļoti neskaidrs, IIA koncentrējās uz energoefektivitātes un CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma ieguvumiem.

Veiktās analīzes rezultātā, kas atainota 1.1. attēlā, tika konstatēts, ka vienīgi F scenārijs, kas paredzēja viedo skaitītāju uzstādīšanu objektiem ar gada patēriņu virs 2500 kWh un attiecīgi sasniegtu 23 % elektroenerģijas skaitītāju nomaiņu, uzrādīja pozitīvu summāro ieguvumu valsts līmenī 4,4 miljoni EUR desmit gadu periodam, bet pašu skaitītāju nomaiņas projekta ieviešana tika plānota laika posmā no 2015. līdz 2017. gadam. Šī scenārija pozitīvo ekonomisko bilanci lielā mērā noteica ārējās vides faktori – klientu ieguvumi 20,9 miljoni EUR, ko pamatā veido energoefektivitātes paaugstināšanas iespēja, un CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums 3,9 miljoni EUR, kas savukārt arī izriet no energoefektivitātes apjoma.



1.1. att. Elektroenerģijas viedo skaitītāju ieviešanas izmaksu un ieguvumu sākotnējā analīze.

Savukārt sadales sistēmas operatora līmenī bilanci pamatā nosaka tehnoloģiju kapitālimzaksas, no vienas puses, un darbības izmaksu optimizēšanas iespējas, no otras puses. Lai arī nākotnē tiek sagaidīts viedo skaitītāju izmaksu samazinājums, izmaksu un ieguvumu analīzes brīdī šī attiecība nebija pozitīva, un tāpēc arī veidojās 20,4 miljoni EUR negatīva bilance sistēmas operatora līmenī.

Nesmot vērā, ka klientu ieguvumi no energoefektivitātes palielināšanas un CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma veido būtisku ieguvumu sadaļu un IIA analīzē tas tika iekļauts kā 5 % patēriņa samazinājuma pieņēmums, balstoties uz citu valstu pieredzi, lai validētu veikto ieguvumu analīzi, tika uzsākts pilotprojekts viedo skaitītāju uzstādīšanai mājsaimniecībās.

## 1.2. Viedās uzskaites ieviešanas pilotprojekta analīze

Viedie skaitītāji nodrošina iespēju klientiem operatīvi un ērti saņemt informāciju vai atgriezenisko saiti par faktisko enerģijas patēriņu, un tas atstāj ietekmi uz energoefektivitāti. Atgriezeniskās saites uzdevums ir padarīt patēriņu redzamu vai uztveramu, šādi veidojot saprati par to, cik enerģijas faktiski tiek patērēts un cik par to ir jāmaksā. Ir virkne pilotprojektu un pētījumu, kas novērtē potenciālo enerģijas ietaupījumu mājsaimniecībās labākas informācijas un atgriezeniskās saites nodrošināšanas gadījumā. Atgriezeniskā saite dod iespēju patērētājam vai nu mainīt savu uzvedību, vai arī iniciē lēmumus par energoefektīvāku apgaismojuma elementu vai iekārtu iegādi.

Pētījumi šajā sfērā ir veikti samēri ilgstošā periodā. Piemēram, apskatā, ko 2006. gadā veikusi *S. Darby*, tiesās atgriezeniskās saites gadījumā, kad klients saņem informāciju, pietuvinātu faktiskajam patēriņam, iegūtais enerģijas samazinājums ir 5–15 % intervālā. Papildus ir arī indikācijas, ka tieši mājsaimniecības ar lielāku enerģijas patēriņu izrāda lielāku tendenci reaģēt uz šādas atgriezeniskās saites informāciju. Savukārt netiešā atgriezeniskā saites gadījumā, kad informācija tiek nodrošināta ar rēķinu vai mājaslapu palīdzību un tā nav tik tieši asociējama ar enerģijas patēriņa brīdi, enerģijas ietaupījumu potenciāls jau tiek vērtēts 0–10 % intervālā, un tas ir ļoti atkarīgs no nodrošinātās informācijas uztverības un veida<sup>1</sup>. 2010. gada izpēte, kur bija iekļauti 57 dažādi energoefektivitātes piloti un ko veica *Ehrhardt-Martinez et al.*, kopumā atbalstīja šos secinājumus, bet ietaupījuma potenciāla intervāls<sup>2</sup> tika konstatēts nedaudz ierobežotāks – 4–12 %. Savukārt konsultāciju uzņēmuma *Vaasa ETT* ziņojumā, kas ietvēra analīzi par aptuveni 100 dažadiem līdzīgiem pilotprojektiem, vidējais ietaupījumu potenciāls tika indicēts kā 8,7 % mājas displeju risinājumiem, 6 % detalizēto rēķinu gadījumā un 5,1 % informācijai, ko nodrošina ar mājaslapu palīdzību<sup>3</sup>.

Ergoefektivitātes ieguvumu novērtējumu samērā plašais intervāls varētu tikt skaidrots ar dažādām metodiskām pieejām, piemēram, *ex-ante* vai *ex-post* rezultātu vērtēšanas pieeja, dažāds veids mērķa un kontroles grupu atlasei, kā arī ar pilotprojektu atšķirībām eksperimentu ilgumam, attiecīgi iegūstot īstermiņa vai ilgtermiņa energoefektivitātes efektus. Papildus vēl ir arī virkne lokālo faktoru: attiecīgā reģiona mājsaimniecību patēriņš, klimatiskie apstākļi, enerģijas patēriņa ieradumi, mājsaimniecību energoiekārtu sastāvs un arī atgriezeniskās informācijas uztveres īpatnības konkrētajos tirgus apstākļos. Tāpēc, nemot vērā šos apstākļus un relatīvi plašo iespējamā potenciāla intervālu, bija nepieciešams apstiprināt IIA izmantotos pieņēmumus energoefektivitātes palielināšanas un CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma potenciālu.

Viedās uzskaites pilotprojekts tika īstenots AS *Latvenergo* ar līdzfinansējumu, kas tika saņemts no Klimata pārmaiņu finanšu instrumentu programmas. Pilotprojekts paredzēja viedo skaitītāju uzstādīšanu 500 mājsaimniecībās, attālinātās nolasīšanas sistēmas izveidi un

<sup>1</sup> S. Darby, “The Effectiveness of Feedback on Energy Consumption: a Review for DEFRA of the Literature on Metering, Billing and Direct Displays,” Environmental Change Institute, University of Oxford., 2006.

<sup>2</sup> K. Ehrhardt-Martinez, K. A. Donnelly and J. P. Laitner, “Advanced Metering Initiatives and Residential Feedback Programs: A Meta-Review for Household Electricity-Saving Opportunities. Report no. E105,” American Council for an Energy - Efficient Economy, Washington D. C., 2010.

<sup>3</sup> VaasaEET, “The Potential of Smart Meter Enabled Programs to Increase Energy and Systems Efficiency: A Mass Pilot Comparison—Empower Demand. Report for European Smart Metering Industry Group,” 2011.

ikstundas faktiskā patēriņa informācijas nodrošināšanu portālā, kā arī faktiskā patēriņa iekļaušanu rēķinā.

Pilotprojekta dalībnieki tika atlasīti trīs posmos. Sākotnēji 20 000 potenciālie dalībnieki tika izvēlti pēc nejaušības principa, atlasot atbilstošajās patēriņa grupās no energopakalpojuma sniedzēja datubāzes. Pēc tam, iegūstot klientu piekrišanu, tika veiktas telefonintervijas ar nejauši izvēlētām mājsaimniecībām, kopā tika intervētas vairāk nekā 1000 mājsaimniecības, kas tika iedalītas divās grupās: kontroles grupā un mērķa grupā. Intervijā tika iekļauti jautājumi par mājsaimniecībā esošajām elektroiekārtām, energijas lietojuma paradumiem, kā arī sociāli demogrāfiskajiem faktoriem. Ar mērķa grupas dalībniekiem tika panākta papildu vienošanās, ka pētījuma vajadzībām viņu mājsaimniecībās tiks uzstādīti viedie skaitītāji. Tādējādi mērķa grupas dalībniekiem 107 vienfāzes indukcijas tipa elektroenerģijas skaitītāji, kā arī 393 trīsfāzu elektroenerģijas skaitītāji tika nomainīti pret viedajiem skaitītājiem, kas nodrošina automātisko elektroenerģijas patēriņa uzskaiti. Turpretim kontroles grupas dalībnieki tika informēti par pētījumu par energijas patēriņu, bet viņiem netika minēts par viedo skaitītāju pilotprojektu. Trešajā posmā mērķa grupas mājsaimniecībās tika uzstādīti viedie skaitītāji, kā arī tika parakstīta vienošanās par personas datu aizsardzības ievērošanu.

Lai noteiktu, kā viedo skaitītāju uzstādīšana mērķa grupas mājsaimniecībās ir ietekmējušas elektroenerģijas lietotāju patēriņa paradumus, mērķa grupas elektroenerģijas patēriņa izmaiņas ikgadējie dati tika salīdzināti ar kontroles grupas elektroenerģijas patēriņa izmaiņām atbilstošajā gadā. Kontroles grupas dati tika izmantoti, lai izslēgtu tādu faktoru ietekmi kā laika apstākļu izmaiņas, sezonalitātes svārstības, ekonomikas izaugsmes izmaiņas un citus faktorus, kas vienādi iespāido abas grupas. Papildus uzsverams, ka elektroenerģijas tarifs pētījuma laikā bija nemainīgs, kā arī divu gadu periodā pirms pētījuma uzsākšanas nav notikušas būtiskas cenu izmaiņas. Tādējādi, izslēdzot pārējos faktorus, var pieņemt, ka elektroenerģijas patēriņa samazinājums ir saistīts ar viedo skaitītāju uzstādīšanu, faktiskā elektroenerģijas patēriņa uzskaites mērījumiem un atgriezeniskās informācijas nodrošināšanu. Mērķa grupas un kontroles grupas dalībnieki tika iedalīti sešās dažādās grupās atkarībā no mājsaimniecību kopējā elektroenerģijas patēriņa gadā, lai pēc iespējas nodrošinātu pietiekamu respondentu skaitu katrā grupā. Nenot vērā, ka viens no pilota papildu mērķiem bija veikt energoefektivitātes potenciāla novērtējumu mājsaimniecībās ar lielu patēriņu, tad izlasē šai grupā bija lielāka pārstāvniecība, salīdzinot ar kopējo mājsaimniecības patēriņa struktūru. Papildu sadalījumu starp grupām ietekmēja klientu atsaucība piedāvājumam piedalīties pilotprojektā.

Pilotprojekta realizācija tika sākta 2013. gada aprīlī, un elektroenerģijas patēriņa relatīvā izmaiņa  $E_{i(\%)}$  mērķa grupas un kontroles grupas apakšgrupās atbilstoši ir aprēķinātas šādi.

$$E_{i(\%)} = \frac{(E_{2013_i} - E_{2012_i})}{E_{2012_i}} \cdot 100, \%, \quad (1.1)$$

kur

$E_{2013_i}$  un  $E_{2012_i}$  – elektroenerģijas patēriņš laika periodā no aprīļa līdz novembrim attiecīgi 2013. un 2012. gadā.

Ņemot vērā, ka pētījuma laikā var būt respondenti, kas maina dzīves vietu vai arī kuriem dažādu iemeslu dēļ ir ievērojama elektroenerģijas patēriņa izmaiņa, kas varētu ietekmēt rezultātus apakšgrupās, tika veikta datu analīze, lai atlasītu neatbilstošos datus. Tas tika veikts katrai elektroenerģijas patēriņa apakšgrupai, nosakot augšējo un apakšējo robežu atbilstoši vienādojumiem.

$$\text{Augšējā robeža} = Q_3 + 2(Q_3 - Q_1), \quad (1.2)$$

$$\text{Apakšējā robeža} = Q_1 - 2(Q_3 - Q_1), \quad (1.3)$$

kur

$Q_1$  – apakšgrupas zemākās datu kopas kvartile;

$Q_3$  – apakšgrupas augstākās datu kopas kvartile.

Kopumā tika izslēgti 4 % kopējo datu. Lielākā izmaiņa tika novērota kontroles grupā, kurā 30 respondentu dati bija ārpus novērtētajiem limitiem. Savukārt mērķa grupā ārpus šiem limitiem bija 2 % datu, kas attiecīgi netika ņemti vērā tālākajā analīzē.

Relatīvā elektroenerģijas patēriņa izmaiņa apakšgrupā ir aprēķināta atbilstoši vienādojumam (1.4)

$$E_{\text{subgroup}(\%)} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{i(\%)}}{n}, \quad (1.4)$$

kur

$E_{i(\%)}$  – relatīvā elektroenerģijas patēriņa izmaiņa apakšgrupā, aprēķināta atbilstoši vienādojumam (1.1).

Pilotprojektā iegūtie rezultāti atainoti 1.2. tabulā. Kopumā tika konstatēts nozīmīgs samazinājums visās patēriņa grupās. Tomēr jāatzīmē, ka ir vērojamas nozīmīgas rezultātu variācijas, kas atainojas katras apakšgrupas uzrādītājā standartklūdā, gan arī to, ka apakšgrupu respondentu sadalījums neatbilst normālsadalījumam. Tāpēc rezultātu analīzē tiek lietota gan apakšgrupu vidējā, gan mediānas vērtības.

Iegūtie rezultāti raksturojas ar to, ka patēriņš ir samazinājies gan mērķa, gan kontroles grupās. Šāds rezultāts, visticamāk, ir saistīts ar atšķirīgiem klimatiskajiem apstākļiem starp analīzē vērtētajiem periodiem. Tāpēc, lai novērtētu potenciālo atgriezeniskās informācijas ietekmi, tika izveidota atsevišķi mērķa grupa ar viedajiem skaitītājiem un kontrolgrupa, un ietekme ir jānovērtē kā atšķirība starp abām grupām.

Veicot vidējo rādītāju salīdzinājumu, tika pieņemts, ka, lai to iekļautu kopējā aprēķinā, vidējo vērtībām jāatšķiras ar būtiskuma līmeni ( $p$ ), kas mazāka par 0,05. Papildus bija jākoriģē arī pilotprojekta apakšgrupu rezultāti atbilstoši Latvijas mājsaimniecību faktiskajam patēriņa sadalījumam. Šādā veidā iegūtie rezultāti atainoti 1.3. tabulā.

1.2. tabula

## Mērķa un kontroles grupu 2012. un 2013. gada elektroenerģijas patēriņa salīdzinājums

Patēriņa apakšgrupas, kWh gadā	Mērķa grupa				Kontroles grupa			
	Dalībnieku skaits	Patēriņa samazinājuma mediāna, %	Patēriņa samazinājuma vidējā vērtība, %	Standartklūda kļūda no vidējā, %	Dalībnieku skaits	Patēriņa samazinājuma mediāna, %	Patēriņa samazinājuma vidējā vērtība, %	Standartklūda kļūda no vidējā, %
0–2500	47	-11,2	-11,7	3,7	70	1,1	5,6	4,1
2501–4800	96	-9,9	-6,4	2,7	133	-3,8	-1,8	2,4
4801–8400	102	-11,7	-11,7	2,5	175	-6,1	-3,5	2,2
8401–18 000	86	-16,2	-17,1	2,6	46	-2,3	1,2	6,0
18 001–22 800	81	-26,3	-22,7	3,4	56	-2,8	-1,8	4,1
Virs 22 800	70	-29,9	-28,4	3,0	51	-2,3	0,0	4,0

Balstoties uz rezultātiem, kas iegūti pilotprojekta laikā un ir normalizēti atbilstoši populācijas patēriņa sadalījumam, varam konstatēt, ka statistiski ticams ir 11,4 % vidējās vērtības un 8,6 % mediānas vērtības samazinājumi. Tomēr kā ticamāku vērtību IIA validācijai būtu jāizmanto mediānas vērtību, kas mazina apakšgrupu izlašu sadalījuma neatbilstības iespaidu.

1.3. tabula

## Normalizētais mērķa un kontroles grupu 2012. un 2013. gada elektroenerģijas patēriņa atšķirību salīdzinājums

Patēriņa apakšgrupas, kWh gadā	Apakšgrupu īpatsvars kopējā patēriņā, %	Apakšgrupu patēriņa samazinājuma mediāna, %	Apakšgrupu patēriņa samazinājuma vidējā vērtība, %	Kopējā patēriņa samazinājuma mediāna, %	Kopējā patēriņa samazinājuma vidējā vērtība, %
0–2500	46	-12,3	-17,3	-5,7	-8,0
2501–4800	29	0,0	0,0	0,0	0,0
4801–8400	14	-5,6	-8,2	-0,8	-1,1
8401–18 000	5	-13,9	-18,3	-0,6	-0,8
18 001–22 800	4	-23,5	-20,9	-1,0	-0,9
Virs 22 800	2	-27,6	-28,4	-0,6	-0,6
Kopā	100			-8,6	-11,4

Vērtējot rezultātu, būtisks jautājums ir, cik relatīvi ūsa laika perioda pētījumā iegūtos rezultātus drīkst izmantot, vērtējot atdevi no ilgstošākas atgriezeniskās informācijas nodrošināšanas, jo IIA tiek veikta nākamajiem 10 gadiem. Kaut gan pilotprojekta ietvaros, lai validētu iekļautos pieņēmumus, to vērtēt nebija iespējams, tomēr gan atbilstoši konsultāciju uzņēmuma *Vaasa ETT* ziņojumā minētajam, gan arī pētījumam par viedo skaitītāju uzstādīšanu Ziemeļīrijā, ilgtermiņa ietaupījumiem ir tendence būt lielākiem. To varētu izskaidrot ar to, ka ūstermiņa rezultāti pamatā tiek iegūti, mainoties patēriņāju uzvedībai, kam savukārt mēdz būt pakāpeniski zūdošs efekts. Savukārt ilgtermiņa ieguvumi to nosedz, pakāpeniski iegādājoties energoefektīvāku apgaismojumu vai iekārtu iegādi.

Paralēli pilotprojekta uzskaitē tiek turpināta, ko nosaka KPFI finansējuma nosacījumi, un iegūtie rezultāti liecina, ka elektroenerģijas ietaupījumus mērķa grupai joprojām turpina būt virs 10 %, salīdzinot ar kontroles grupu.

### 1.3. CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums Baltijas elektroenerģijas tirgus integrācijas situācijā

Izmaksu un ieguvu analīzē viedo skaitītāju ieviešanas F scenārijā pozitīva bilancē 4,4 mEUR būtiska komponente ir vides ieguvumi no CO<sub>2</sub> izmešu samazinājuma, kas ir novērtēti 3,9 mEUR apjomā. Emisijas ietaupījums tiek iegūts, jo, pieaugot energoefektivitātei, tiek samazināts nepieciešamais elektroenerģijas ražošanas apjoms. Latvijā, lai nodrošinātu pieprasījumu, praktiski vienmēr ir jāražo elektroenerģiju arī no fosilajiem energoresursiem, tāpēc ietaupījumu novērtē kā pēdējo marginālo elektroenerģijas ražošanas vienību, kas nepieciešama patēriņa nodrošināšanai un kas netiku ražota pie mazāka patēriņa. IIA aprēķinos tika pieņemts, ka elektroenerģijas patēriņa samazinājums ļaus samazināt CO<sub>2</sub> izmešu apjomu 0,397 tCO<sub>2</sub>/MWh, kas aptuveni atbilst kondensācijas režīmam *Latvenergo* termoelektrostacijās, bet konkrēto emisijas faktoru noteica Ministru kabineta noteikumi Nr. 441 CO<sub>2</sub> emisijas samazinājuma aprēķina noteikumi.

Tomēr, Latvijai integrējoties Baltijas un Skandināvijas tirgos, situācija var būtiski mainīties, jo Ziemeļvalstu tirgū hidroelektrostacijās saražotā enerģija pārsniedz 50 % un visi fosilie ģenerācijas avoti kopā 2016. gadā veidoja tikai 22 % no kopējā ģenerācijas apjoma. Tomēr pēdējo marginālo ražošanas avotu struktūra tirgū var nesakrist ar vidējo ģenerācijas struktūru. To var būtiski ietekmēt gan konkurence, gan globālie cenu faktori, piemēram, CO<sub>2</sub> emisiju cena. Tāpēc ir būtiski novērtēt, vai elektroenerģijas patēriņa samazinājums atstās plānoto CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu arī pēc integrācijas izteiki dekarbonizētajā Ziemeļvalstu elektroenerģijas tirgū.

Lai veiktu CO<sub>2</sub> emisiju iespaidu tirgus apstākļos, tika pieņemts, ka nākamās dienas tirgum kā fiziskajam tirgum savās cenās būtu jāieceno faktisko ražošanas emisiju izmaksas. Tāpēc tika veikta Baltijas tirgus datu analīze, lai analizētu CO<sub>2</sub> izmaksu ietekmi uz elektrības biržas cenu, kā arī CO<sub>2</sub> cenu iespaidu uz ģenerācijas sakārtojumu biržā (*merit order*) un attiecīgi marginālajām CO<sub>2</sub> emisiju izmaiņām.

Lai novērtētu emisiju ietekmi uz elektroenerģijas tirgus cenas ietekmi, tika veikta daudzfaktoru regresijas analīze. Pēc literatūras datiem un arī testiem tika izvēlēts šāds regresijas modelis.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot prd + \beta_2 \cdot cnp + \beta_3 \cdot coal + \beta_4 \cdot CO_2 + \beta_5 \cdot hyd + \epsilon, \quad (1.5)$$

kur

*prd* – kopējais Ziemeļvalstu elektroenerģijas piedāvājums;

*cnp* – kopējais Ziemeļvalstu elektroenerģijas pieprasījums;

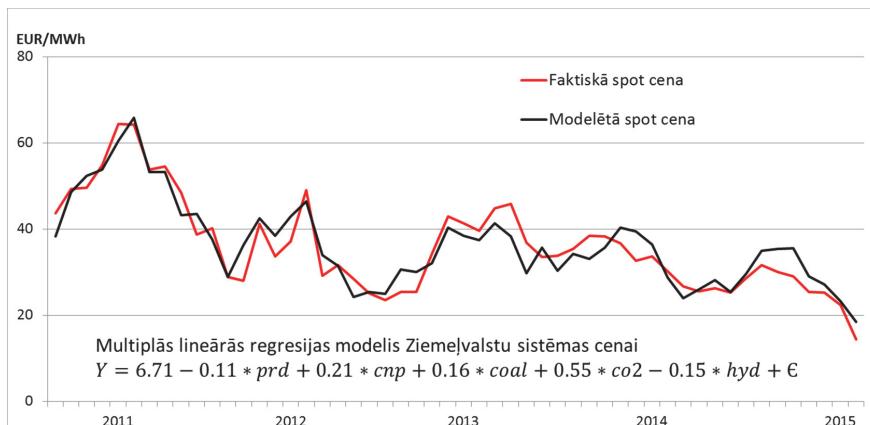
*coal* – ogļu tirgus cena;

*CO<sub>2</sub>* – CO<sub>2</sub> emisiju tirdzniecības cena ar piegādi 2015. decembrī;

*hyd* – kopējais Ziemeļvalstu hidrostaciju ražošanas apjoms;

*€* – atlīkusī vērtība.

Analīze tika veikta no 2010. gada janvāra līdz 2015. gada maijam, kur faktoriem ar akumulējošu raksturu, kā patēriņš, ražošanas piedāvājums un hidroenerģijas ģenerācija, tika iekļauti atbilstošā mēneša absolūtās vērtībās. Savukārt mainīgajiem faktoriem, kā elektroenerģijas, CO<sub>2</sub> emisiju un oglu cenas, tika izmantotas mēneša vidējās cenas, ko ieguva no stundu cenām elektroenerģijai un dienas slēguma cenām pārējiem faktoriem. Iegūtais rezultāts atainots 1.2. attēlā un raksturojas ar koriģēto  $R^2$  vērtību 0,85.



1.2. att. Ziemeļvalstu elektroenerģijas sistēmas cenas regresijas modelis.

Līdz ar to varam secināt, ka Ziemeļvalstu elektroenerģijas tirgus cenas būtisks prediktors ir CO<sub>2</sub> emisiju cena, kas ir būtiski nozīmīgāks nekā to varētu sagaidīt no fosilās ģenerācijas īpatsvara kopējā ģenerācijā un kas atbilstošā laika periodā ir svārstījies nedaudz viirs 20 %. To hipotētiski varētu skaidrot ar faktu, ka Ziemeļvalstu hidroelektrostacijām ir apjomīgas ūdens uzkrāšanas iespējas, kas ļauj efektīvi optimizēt šo ģenerācijas avotu faktisku aizstāšanu garākā laika periodā un arī attiecīgi iecenot fosilās ģenerācijas izspiešanas izmaksas arī periodos, kad šāda ģenerācija fiziski tirgū nepiedalās.

Nemot vērā to, ka Baltijai ir elektroenerģijas pārvades līniju savienojumi ar Somiju, Zviedriju un Poliju, aprakstītais daudzfaktoru regresijas modelis tika izmantots, arī analizējot šos reģionālos tirgus.

1.4. tabula

CO<sub>2</sub> emisiju cenas ietekme uz elektroenerģijas cenu dažādos Ziemeļvalstu cenu apgabalošos

Regions	Regresijas modeļa koriģētā $R^2$ vērtība	Elektroenerģijas cenas izmaiņas, CO <sub>2</sub> cenai pieaugot	Standartķīuda
Ziemeļvalstu sistēma	0,85	0,55***	0,21
Zviedrija	0,77	0,58*	0,28
Somija	0,59	0,62*	0,34
Polija	0,48	0,67***	0,24

\* Būtisks, ja  $p < 0,1$ ; \*\* būtisks, ja  $p < 0,05$ ; \*\*\* būtisks, ja  $p < 0,01$ .

Reģionālajā līmenī CO<sub>2</sub> un elektroenerģijas sakarība saglabājās, taču tā ir mazāk izteikta, skatīt 1.4. tabulu. Iespējams šīs atšķirības veido papildu faktori, kas nosaka reģionālās cenas, piemēram, pārvades ierobežojumi starp cenu zonām mēdz būt samērā izteikti starp Norvēģiju, kas raksturojas ar gandrīz 98 % hidroenerģijas īpatsvaru, un Zviedriju vai Somiju. Savukārt Polijā elektroenerģijas ģenerācijā praktiski dominē tikai oglu elektrostacijas. Līdz ar to zemā modeļa spēja izskaidrot cenu izmaiņas, iespējams, ir saistīta ar Polijas elektroenerģijas tirgus noslēgtību un lielo divpusējo kontraktu esamību. Un tā rezultātā elektroenerģija biržā tiek tirgota mazāk par 20 % no kopējās ražošanas, un šo cenu mazāk formē fundamentālie cenu faktori.

Nemot vērā to, ka Baltijā elektroenerģijas tirgus atrodas formēšanās procesā, ko nosaka jauni savienojumi ar kaimiņvalstīm, statistikas datus nevar izmantot, vērtējot tirgus nākotnes uzvedību. Tāpēc, lai vērtētu tieši Latvijas elektroenerģijas tirgus cenas un CO<sub>2</sub> emisiju ietekmi, tika veikta 2017. gada ģenerācijas marginālo izmaksu analīze, veidojot potenciālo piedāvājuma rindu (*merit order*) stundu detalizācijā. Izmantojot šo analīzi, tika novērtēts noslēdzošās elektroenerģijas ģenerācijas vai importa piegādes avots vidēji gadā, kas atainots 1.5. tabulā. Importa avotiem kā CO<sub>2</sub> emisiju faktors tika izmantoti dati no analīzes par emisiju cenas ietekmi uz attiecīgā cenas apgabala elektroenerģijas cenu.

#### 1.5. tabula

Marginālo elektroenerģijas avotu novērtējums pie CO<sub>2</sub> emisiju cenas 7,5 EUR/t atbilstoši 2017. gada tirgus apstākļiem Latvijas cenu apgabalā vidēji gadā

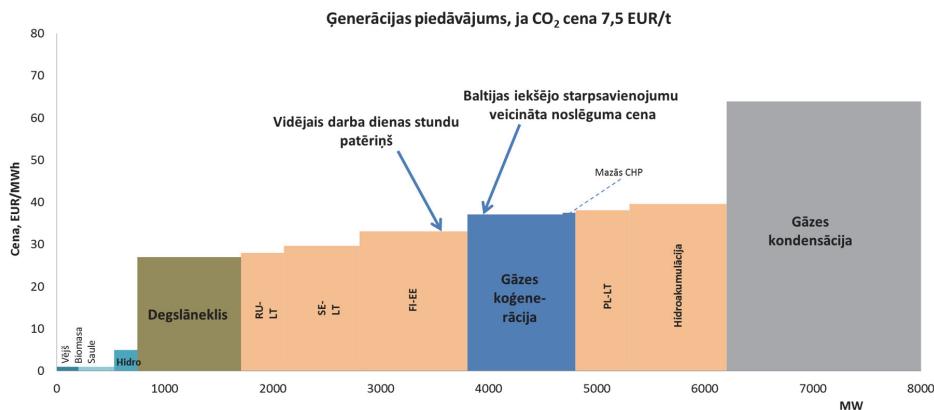
Marginālie ražošanas vai importa avoti	Noslēdzošās piegādes īpatsvars, %	Cenu ietekmes analīze		Jutības analīze	
		CO <sub>2</sub> emisijas faktors, tCO <sub>2</sub> /MWh	Svērtais CO <sub>2</sub> emisijas faktors, tCO <sub>2</sub> /MWh	CO <sub>2</sub> emisijas faktors, tCO <sub>2</sub> /MWh	Svērtais CO <sub>2</sub> emisijas faktors, tCO <sub>2</sub> /MWh
Degslāneklis	2	1,01	0,020	1,01	0,02
Gāzes koģenerācija	10	0,27	0,027	0,27	0,03
Zviedrija	36	0,58	0,209	0,37	0,13
Somija	36	0,62	0,223	0,37	0,13
Polija	9	0,67	0,060	0,84	0,08
Citi	7	0,37	0,026	0,37	0,03
Kopā	100		0,566		0,419

Attiecīgi katram elektroenerģijas ražošanas veidam ir uzrādīts atbilstošās emisiju apjoms, kur importa plūsmām ir piemērots attiecīgā cenu apgabala CO<sub>2</sub> cenu ietekmes faktors. Koģenerācijai piemērotas *Latvenergo TEC* faktisko emisiju faktors 2016. gadā, kas ir nedaudz lielāks nekā tīrā koģenerācija, jo ietver arī nelielu kondensācijas apjomu. Savukārt citām piegādēm piemērots dabas gāzes kondensācijas režīmā ražotas elektroenerģijas emisijas faktors, jo šeit lielāko daļu sastāda imports no Kaļiņingradas apgabala.

Novērtējot marginālās emisijas šādā veidā, varam konstatēt, ka ieguvums no 1 MWh elektroenerģijas patēriņa samazinājuma varētu būt 0,566 tCO<sub>2</sub>, kas ir būtiski vairāk nekā normatīvi lietotais līmenis 0,397 tCO<sub>2</sub>/MWh. Papildus tika izveidota jutības analīze, kur importa plūsmas no Zviedrijas un Somijas tika samazinātas līdz gāzes kondensācijas emisiju

līmenim. Tas varētu tikt pamatots ar to, ka tā elektroenerģijas piedāvājumu rindā būs nākamā slēdzošā ģenerācijas vienība pēc ogļu ģenerācijas. Šāda situācija var veidoties, pieaugot CO<sub>2</sub> emisiju cenai, vai arī administratīvu ogļu elektrostaciju darbības ierobežošanas apstākļos. Savukārt Polijas importa plūsmu emisijas faktors aizstāts ar ogļu elektrostacijām raksturīgu līmeni, jo, efektīvāk darbojoties elektroenerģijas tirgum šajā cenu apgabalā, tās būs vienīgās piedāvājumu slēdzošās ģenerācijas avoti. Šādu pieņēmumu gadījumā marginālās emisijas faktors no 1 MWh elektroenerģijas patēriņa samazinājumam būtu 0,419 tCO<sub>2</sub>, kas joprojām būtu lielāks nekā lietotais IIA.

Kā būtisks piedāvājuma situācijas mainošs faktors tika konstatēts CO<sub>2</sub> emisiju absolūtais līmenis, jo tas pie noteikta līmeņa piedāvājuma rindā samaina vietām ogļu un gāzes ģenerāciju. Kā redzams 1.3. attēlā, pie relatīvi zema CO<sub>2</sub> emisiju līmeņa, kas atbilst 2017. gada faktiskajām emisiju cenu līmenim, marginālā ražošana visdrīzāk varētu būt gāzes koģenerācija. Savukārt degslānekļa ražotnes strādā nepārtraukti, lai gan emisiju faktors tai ir ap 1,01 tCO<sub>2</sub>/MWh. Tas nozīmē, ka pašreizējā emisiju tirdzniecības cena no vides viedokļa nenodrošina efektīvāku staciju prioritāru darbību elektroenerģijas tirgū. Attēlotais ģenerācijas sadalījums atbilst vidējam piedāvājumam ziemas mēnešos, neiekļaujot brīvdienas un nakts stundas.



1.3. att. Ģenerācijas piedāvājuma sadalījuma prognoze 2017. gadam,  
ja CO<sub>2</sub> cena ir 7,5 EUR/t.

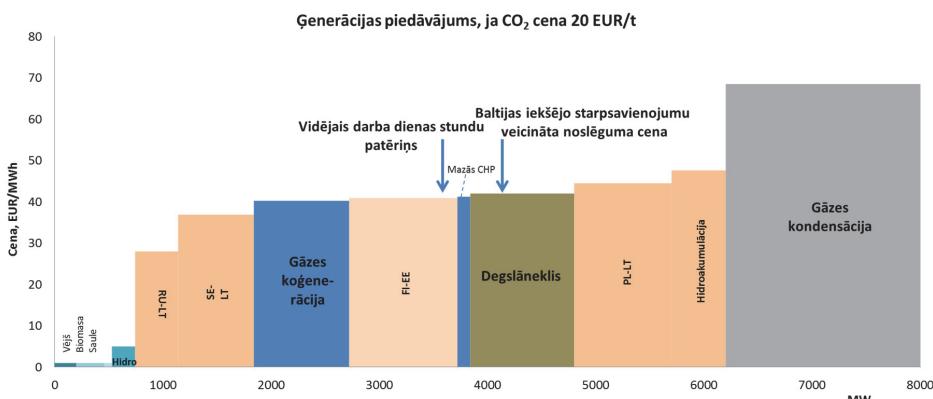
Papildus tika izveidota ģenerācijas marginālo izmaksu analīze, ja CO<sub>2</sub> emisiju cena ir 20EUR/t, atstājot citu primāro primāro enerģijas avotu cenas nemainīgas. 1.5. tabulā atainotais analīzes rezultāts uzrāda, ka šādā situācijā no 1 MWh elektroenerģijas patēriņa samazinājuma varētu būt 0,492 tCO<sub>2</sub>/MWh. Palielinoties CO<sub>2</sub> emisiju cenai, atbilstoši palielinās koģenerācijas īpatsvars ražošanas piedāvājumā, un biežāk tiek izspiesti ražošanas avoti ar augstāku emisiju faktoru. Savukārt šī cenu scenārija veiktā jutības analīze, kur līdzīgi zemo cenu scenārijam koriģēti Zviedrijas, Somija un Polijas emisiju faktori, uzrāda 0,458 tCO<sub>2</sub>/MWh emisiju līmeni, kas ir nedaudz lielāks nekā zemo emisijas cenu scenārija jutības analīzes rezultāts.

1.6. tabula

Marginālo elektroenerģijas avotu novērtējums, ja CO<sub>2</sub> emisiju cena ir 20 EUR/t  
atbilstoši 2017. gada tirgus apstākļiem Latvijas cenu apgabalā vidēji gadā

Marginālie ražošanas avoti	Noslēdzošās piegādes īpatsvars, %	Cenu ietekmes analīze		Jutības analīze	
		CO <sub>2</sub> emisijas faktors, tCO <sub>2</sub> /MWh	Svērtais CO <sub>2</sub> emisijas faktors, tCO <sub>2</sub> /MWh	CO <sub>2</sub> emisijas faktors, tCO <sub>2</sub> /MWh	Svērtais CO <sub>2</sub> emisijas faktors, tCO <sub>2</sub> /MWh
Degslāneklis	15	1,01	0,152	1,01	0,15
Gāzes koģenerācija	47	0,27	0,127	0,27	0,13
Zviedrija	17	0,58	0,099	0,37	0,06
Somija	5	0,62	0,031	0,37	0,02
Polija	8	0,67	0,054	0,84	0,07
Citi	8	0,37	0,030	0,37	0,03
Kopā	100		0,492		0,458

Savukārt 1.4. attēlā parādīts, ka CO<sub>2</sub> emisiju cenas līmeņa izmaiņas no 7,5 EUR/t uz 20 EUR/t ir pietiekamas, lai degslānekļa ražotnes ar savām marginālajām izmaksām būtu noslēdzošās šajā laikā piedāvājuma nodrošināšanā. Šajā analīzē nav iemēti vērā arī pašu energoresursu cenu dažādie iespējamie scenāriji. Tomēr, pieņemot, ka saglabājās oglu un gāzes cenu savstarpējā attiecība, CO<sub>2</sub> cenas būs galvenais faktors, kas var mainīt šo avotu savstarpējo konkurētspēju.



1.4. att. Ģenerācijas piedāvājuma sadalījuma prognoze 2017. gadam, ja CO<sub>2</sub> cena ir 20 EUR/t.

Līdz ar to analizētie scenāriji un to jutības analīzes uzrādīja, ka ieguvums no 1 MWh elektroenerģijas patēriņa samazinājuma varētu būt intervālā no 0,419 tCO<sub>2</sub>/MWh līdz 0,566 tCO<sub>2</sub>/MWh. Tāpēc, vērtējot viedo skaitītāju izmaksu un ieguvumu analīzē iekļauto emisijas faktoru, jākonstatē, ka tas varētu būt pat lielāks tirgus apstākļos un integrācija Ziemeļvalstu tirgū noteiktī nerada risku, ka CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums no energoefektivitātes pasākumiem varētu būt mazāki par analīze iekļauto 0,397 tCO<sub>2</sub>/MWh līmeni.

## **2. Energoefektivitāti ietekmējošo faktoru un dinamikas analīze**

### **2.1. Nolūka ietvara teorijas lietojums energoefektivitātes analīzei**

Lai tālāk analizētu energoefektivitātes pasākumu ieviešanas procesu, varētu tik izmantots inovāciju difuzijas ietvars, ko ir izveidojis Rodžers (*Rogers*)<sup>4</sup>. Tam ir šādi pieci soļi, kā indivīds pieņem inovācijas:

- tiek iegūtas zināšanas par inovāciju, izmantojot sociālos kontaktus;
- izveido par to viedokli;
- pieņem lēmumu to adaptēt vai noraidīt;
- ievieš to;
- izvērtē lēmumu.

Lai veicinātu energoefektivitāti, pieņemtā prakse ir informēt sabiedrību par ieejamajiem risinājumiem apgaismojuma vai citu mājsaimniecības iekārtu energoefektivitātes uzlabošanā. Tajā pašā laikā pretēji plaši pieejamai informācijai šo ieteikto risinājumu praktiskā izmantošana būtiski atpaliek. To varētu skaidrot ar inovāciju difuzijas teoriju, kas paredz, ka pēc informācijas saņemšanas indivīds formē savu attieksmi un pieņem lēmumu. Ir virkne psiholoģijas teoriju, kas var tikt izmantotas, lai analizētu videi draudzīgus nodomus un uzvedības aspektus, kas varētu būt svarīgi šajā procesā. Viena no šādām teorijām ir nolūka ietvara teorija (*Goal-framing theory*), ko izveidoja *Lindenberg* un *Steg*<sup>5</sup>. Nolūka ietvars ir kognītīvā attieksme pret konkrētām situācijām, kas ne tikai ietekmē indivīdu izvēles, bet arī ietver specifisku situācijas kontekstu. Nolūka ietvara teorijā konkrētajās situācijā formējas fokuss uz vienu no trim mērķiem, un pārējie joprojām ir iesaistīti rīcības lēmuma formēšanā, bet tomēr atrodas otrajā plānā. Šie trīs mērķi ir:

- hedoniskais mērķis (no angļu val. *hedonic*) – vēlme veikt energoefektivitātes pasākumus, lai gūtu prieku vai gandarījumu, īstenojot kādu rīcību;
- ieguvumu mērķis (no angļu val. *gain*) – finansiālais ietaupījums energoefektivitātes pasākumu veikšanas rezultātā;
- normatīvais mērķis (no angļu val. *normative*) – energoefektivitātes pasākumu īstenošana, lai mazinātu negatīvo ietekmi uz apkārtējo vidi, un šāda rīcība atbilst sabiedrībā un paziņu lokā pieņemtajām sociālajām normām.

Lai novērtētu faktorus, kas ietekmē energoefektivitātes pasākumu īstenošanu Latvijā, tika izveidota anketa, lai noteiktu klientu attieksmi pret energoefektivitātes pasākumu ieviešanu. Anketa ir balstīta uz nolūka ietvara teorijas adaptāciju un izveidota atbilstoši pētījumam, ko veicis Lielbritānijas pētnieks Ozaki (*Ritsuko Ozaki*), kurš savā pētījumā izmantoja anketēšanu, lai pētītu, kāda ir patēriņāju uzvedība, lai pieņemtu un atbalstītu “zaļās” elektroenerģijas tarifus<sup>6</sup>. Anketas izveide balstījās arī uz inovāciju difuzijas teoriju, pieņemot, ka vispirms

<sup>4</sup> E. M. Rogers , Diffusion of Innovations, 5th edition, New York: Free Press, 2003.

<sup>5</sup> S. Lindenberg and L. Steg , “Normative, Gain and Hedonic Goal Frames Guiding Environmental Behavior,” Journal of Social Issues, vol. 63, no. 1, pp. 117–137, 2007.

<sup>6</sup> R. Ozaki, “Adopting sustainable innovation: what makes consumers sign up to green electricity?,” Business Strategy and the Environment, vol. 20, pp. 1–17, 2011.

persona iegūst zināšanas par inovāciju, pēc tam tiek izveidota attieksme pret inovāciju. Lai atlaistu respondentus, kas ir labi informēti par energoefektivitātes pasākumu iespējām, sākotnēji veiktā pētījuma anketas tika izsūtītas AS *Latvenergo* darbiniekiem.

Kopumā tika saņemtas 407 respondentu atbildes. 387 anketas bija aizpildītas pilnīgi un tādējādi tika izmantotas turpmākai datu apstrādei. Anketas tika izsūtītas specifiskai izlasei, tāpēc demogrāfiskie dati atšķirās no vidējiem rādītājiem Latvijā. Salīdzinot anketas datus ar vidējiem rādītājiem Latvijā, bija daži rādītāji, kas atšķirās, piemēram, vīriešu īpatsvars, augstākā izglītība un vidējie ienākumi mājsaimniecībā (2.1. tab.).

#### 2.1. tabula

Aptaujāto personu demogrāfiskās situācijas salīdzinājums ar vidējiem rādītājiem Latvijā

Parametrs, mērvienība	Aptauju statistika	Vidējā vērtība Latvijā
Vidējais vecums, gadi	41,5	41,6 (2011)
Vīriešu īpatsvars, %	68,5	45,8 (2014)
Ienākumi uz vienu mājsaimniecības locekli, EUR mēnesī	491,0	319,9 (2012)
Kopējais personu skaits mājsaimniecībā, personas	3,1	2,4 (2013)
Izglītība		
% augstākā izglītība	79,7	23,1 (2011)
% vidēja izglītība	20,3	54,0 (2011)
Mājoklis, % (dzīvoklis)	62,2	70,0 (2013)
Latviešu valodas īpatsvars, %	85,2	56,3 (2011)

Anketā iegūto datu atšķirība no vidējiem datiem Latvijā varētu ietekmēt datu reprezentativitāti. Tomēr anketēšanas mērķis ir noskaidrot, kāda ir to cilvēku attieksme, kuriem ir labas zināšanas par energoefektivitāti, tāpēc šāda izlase varētu tikt izmantota tālākā pētījumā.

Šajā gadījumā aptaujas rezultātu analīzei tika izmantota daudzfaktoru logistikas regresijas (no angļu val. – *multinomial logistic regression*) analīze. Savukārt nolūka ietvara teorijas lietojuma mērķis bija atrast *logit* funkciju, ko tālāk izmantot sistēmdinamikas modelī. Regresijas analīze tika veikta, lai noskaidrotu, kā nolūka ietvars ietekmē lietotāju uzvedību energoefektivitātes pasākumu veikšanā. Aptaujas atbildes tika iedalītas šādās grupās: normatīvais (no angļu val. – *normative*) mērķis, hedoniskais (no angļu val. – *hedonic*) mērķis, ieguvumu mērķis (no angļu val. – *gain*) un dažādi (no angļu val. – *mixed*) mērķi. Regresijas analīze tika veikta, lai noteiktu neatkarīgo mainīgo ietekmi atbilstoši tam, vai respondents aktīvi iesaistās energoefektivitātes pasākumu īstenošanā un citām aptaujā sniegtajām atbildēm. Korelācijas koeficients tika aprēķināts atsevišķi divām grupām katram neatkarīgajam mainīgajam atbilstoši 95 % ticamības līmenim:

- tiem, kas veic energoefektivitātes pasākumus;
- tiem, kas neveic energoefektivitātes pasākumus.

Šāds respondentu iedalījums ļauj statistiski salīdzināt dažadas atšķirīgas atbildes katrā grupā. Regresijas analīze tika veikta, lai noskaidrotu, kā dažādu faktoru kombinācija ietekmē respondentu vēlmi veikt energoefektivitātes pasākumus. Tikai statistiski nozīmīgie dati (95 % ticamības līmenis) katrai mērķa grupai – normatīvais, hedoniskais, mērķu, jauktais – tika izmantoti regresijas analīzei. Regresijas analīzei tika izveidots modelis, kurā atkarīgie mainīgie apraksta divus iespējamos notikumus – respondents iesaistās energoefektivitātes pasākumu

veikšanā vai neiesaistās tajā. Regresijas analīzē tika iekļauti arī dati no tiem respondentiem, kuri minēja, ka veic energoefektivitātes pasākumus, tomēr to īstenošanā neiesaistās aktīvi. Rezultāti apkopoti *logit* funkcijas vienādojumā (2.1), veicot datu apstrādi ar SPSS programmu (*IBM SPSS Statistics*).

$$\log \left[ \frac{P(X)}{1-P(X)} \right] = e^{(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k)}, \quad (2.1)$$

kur

$P$  – iespējamais rezultāts (varbūtība), ja neatkarīgais mainīgais ir  $X$ ;

$\beta_0$  – konstante;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$  – aprēķinātie koeficienti.

Lai aprēķinātu modeļa precizitāti, novirze tika aprakstīta ar vienādojumu

$$R^2 = \frac{\lambda(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k | \beta_0)}{\lambda(\beta_0)}. \quad (2.2)$$

Koriģētā novirze tika aprēķinātas līdzīgi ar vienādojumu (2.2).

$$R_{\text{adj}}^2 = \frac{\lambda(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k | \beta_0) - 2p}{\lambda(\beta_0)}, \quad (2.3)$$

kur

$p$  – koeficientu skaits koriģētajā modelī.

Tabulā 2.2. atainotie regresijas modeļa rezultāti neparādīja, ka tiem respondentiem, kuri atzīmēja, ka viņi rūpējas par energoefektivitāti, dominētu kāds nolūka teorijas mērķis. Lai arī modelis kopumā izskaidroja 51,4 % energoefektivitātes motivācijas, tā koriģētā vērtība jau bija tikai 13 %, kas ir būtiski zemāka nekā līdzīgos ekoloģiskās motivācijas pētījumos.

2.2. tabula

Enerģijas efektivitātes motivācijas regresijas modeļa rezultāti

Modeļa faktori	Modeļa $R^2$ vērtība, %	Modeļa koriģētā $R^2$ vērtība, %
Normatīvā motivācija	29,0****	5,2
Ieguvumu motivācija	21,1**	2,3
Hedoniskā motivācija	20,1****	5,9
Citi mainīgie	21,2****	7,0
Energoefektivitātes motivācija	51,4****	13,0

\*\* Būtisks, ja  $p < 0,01$ ; \*\*\* būtisks, ja  $p < 0,001$ ; \*\*\*\* būtisks, ja  $p < 0,0001$ .

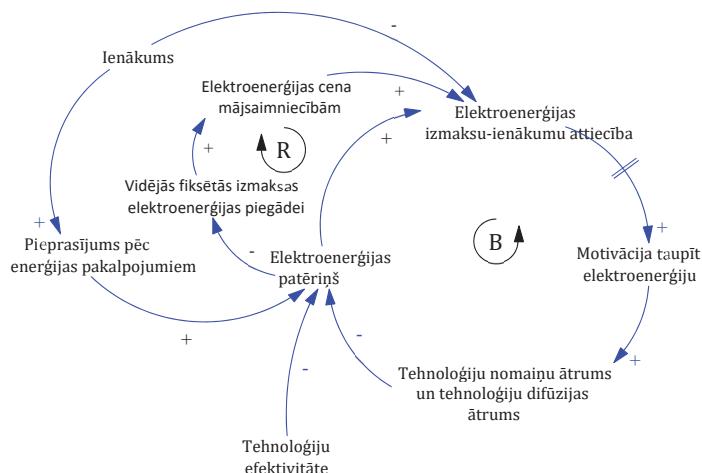
Jāatzīmē, ka abas respondentu grupas izrādīja līdzīgu pozitīvu attieksmi pret nepieciešamību veikt energoefektivitātes pasākumus, lai samazinātu ietekmi uz vidi. Tomēr respondenti, kuri rūpējas par energoefektivitāti, nozīmīgāk akcentēja tieši savas darbības nozīmi, nevis vispārēju sabiedrības pareizās rīcības normu.

Viens no iemesliem, kāpēc neuzrādījās kāds dominējošais motivācijas mērķis, varētu būt tas, ka šāda motivācija precīzāk veidojas konkrēta lēmuma vai darbības veikšanas brīdī, ko apgrūtinoši simulēt vispārējas tieksmes aptaujas gadījumā. Tāpēc tālākajā sistēmdinamikas modelēšanā, lai modelētu inovāciju difuziju, tika veikta papildu aptauja, kas bija fokusēta uz motivācijas faktoru izpēti konkrētas rīcības gadījumā – apgaismojuma spuldzes nomaiņa.

## 2.2. Energoefektivitātes ieguvumu dinamikas modelēšana

Lai novērtētu ilgtermiņa ieguvumus no viedo skaitītāju ieviešanas rezultātā iegūtās iespējas saņemt patēriņa informāciju un ar to saistīto iespēju komunicēt cenas signālus, tika izstrādāti divi sistēmdinamikas modeļi. Pirmais sistēmdinamikas modelis ir saistīts ar energoefektīvas apgaismes ieviešanu Latvijas mājsaimniecības sektorā, balstoties uz inovāciju difūziju. Savukārt otrs sistēmdinamikas modelis papildus energoefektivitātes motivācijai iekļauj arī elektroenerģijas cenas un ienākumu iespāidu uz kopējo sistēmu. Tāpēc kopsavilkumā tiek atspoguļots integrālais modelis. Pētījumā tika izmantota sistēmdinamikas modelēšanas metode, jo tā ļauj veikt procesa dinamikas analīzi, iekļaujot pozitīvo un negatīvo atgriezenisko saišu un kavējumu efektus.

Pētījumā tika analizēta mājsaimniecības elektroenerģijas patēriņa dinamika, kas ir atkarīga no elektroenerģijas izmaksu un ienākumu attiecības, kas veido racionālo ieguvumu motivāciju, kā arī no virknes citu faktoru, kas veido atgriezeniskās saites elektroenerģijas patēriņa apjomam (2.1. att.).



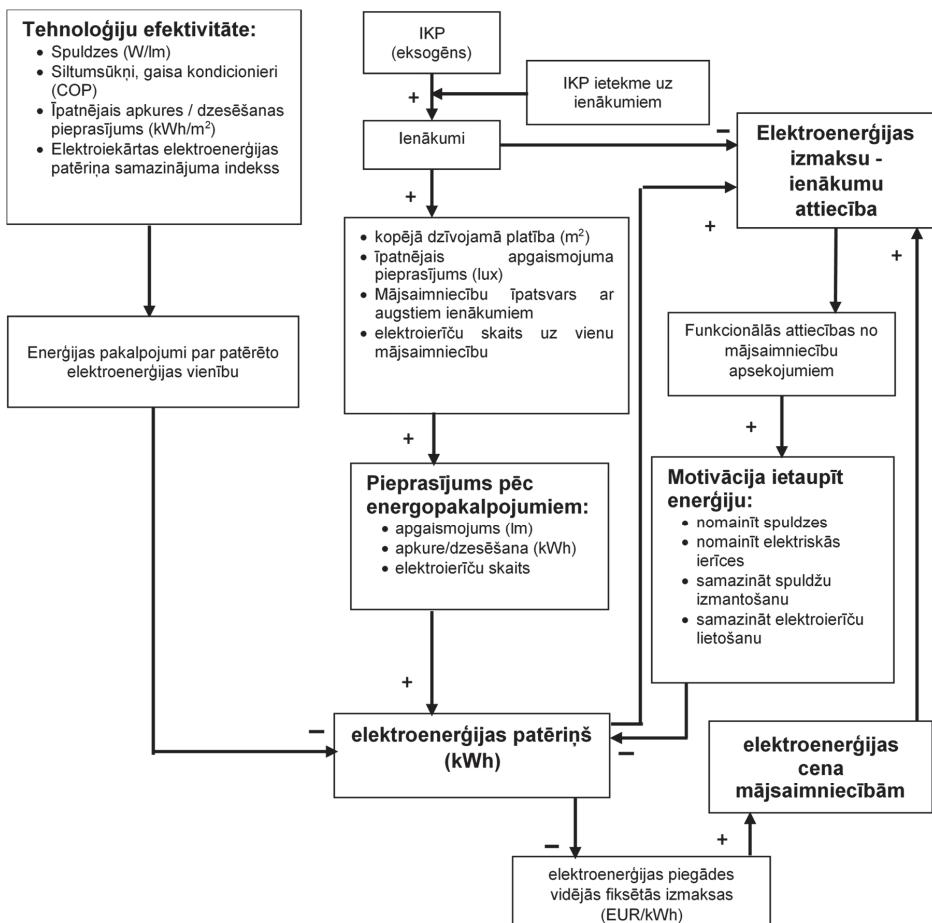
2.1. att. Dinamiskā hipotēze – cēlonisko cilpu diagramma, kas ilustrē galvenās atgriezeniskās saites procesus.

Dinamiskā hipotēze pamatojas uz pieņēmumu, ka motivāciju taupīt elektroenerģiju nosaka elektrības izmaksu un ienākumu attiecība, kas savukārt ir atkarīga no elektroenerģijas patēriņa, elektroenerģijas cenas un mājsaimniecības ienākumiem. Izpētītās sistēmas struktūru var attēlot ar vienu pastiprinošo un vienu kavējošo vai balansējošo cilpu (2.1. att.). Elektroenerģijas patēriņa samazināšana, ko veicina motivācija taupīt enerģiju, samazina elektroenerģijas izmaksu un ienākumu attiecību, tādējādi līdzsvarojot motivācijas ieteikmi. Balansējošā cilpa atspoguļo enerģijas ietaupījuma iespāidu uz izmaksu samazinājumu, attiecīgi mazinot tālāku ietaupījumu motivāciju. No otras pusēs, samazinot elektroenerģijas patēriņu, palielinās vidējās pastāvīgās elektroapgādes izmaksas, kas savukārt palielina mājsaimniecību elektroenerģijas cenu un elektroenerģijas izmaksu un ienākumu attiecību, tādējādi pastiprinot motivāciju taupīt

elektroenerģiju. Tiesa, jāatzīmē, ka minētā pastiprinošā cilpa darbojas tikmēr, kamēr elektroenerģijas sadales tīkla un obligātā iepirkuma komponentes tarifi nav sabalansēti ar faktisko izmaksu struktūru. Paaugstinātā motivācija atgriežas pie elektroenerģijas patēriņa, to vēl vairāk samazinot un elektroenerģijas cenu vēl vairāk palielinot *ceteris paribus*. Ienākumu pieaugumam ir divas sekas (2.1. att):

- tas palielina pieprasījumu pēc energijas pakalpojumiem, t. i., apgaismojums, apkure, dzesēšana;
- samazinās elektroenerģijas izmaksu un ienākumu attiecība, tādējādi palielinot elektroenerģijas patēriņu.

Savukārt elektroenerģijas patēriņu samazina tehnoloģiju efektivitātes pieaugums, kas papildus atstāj iespaidu uz atgriezeniskajām saitēm.

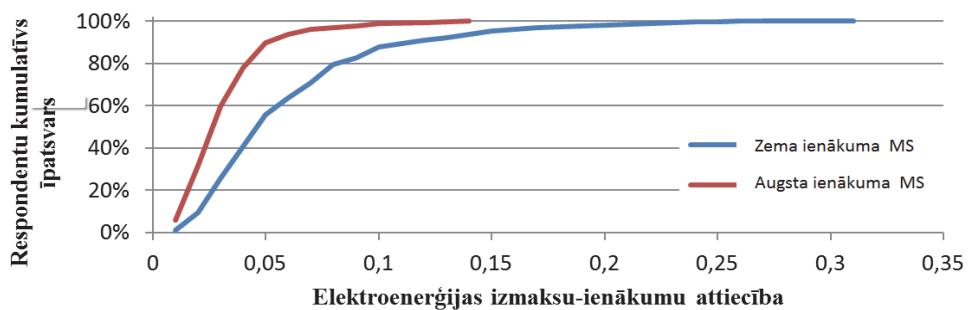


2.2. att. Modeļa struktūra – nozares diagramma.

Modelis ir sakārtots saskaņā ar 2.2. attēla struktūru, ko atspoguļo cēlonisko cilpu diagramma. Iekšzemes kopprodukts (IKP) tiek izmantots kā ārējs parametrs ienākumu dinamikas noteikšanai. No Centrālās statistikas pārvaldes tika iegūti dati par IKP pieaugumu, mājsaimniecību raksturlielumiem (dzīvojamā platība, apgaismojuma, apkures, dzesēšanas iekārtu, elektrisko ierīču un karstā ūdens sildītāju veidi un skaits). Par mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņu un cenām periodā no 2014. līdz 2016. gadam tika izmantoti energoapgādes uzņēmuma AS *Latvenergo* sniegtie dati. Elektroapgādes vidējās fiksētās izmaksas aprēķina, pamatojoties uz pieņemumu, ka elektroenerģijas piegādes sākotnējās kopējās fiksētās izmaksas nemainās. Tādējādi, aprēķinot elektroenerģijas patēriņa izmaiņas, elektroenerģijas cenas izmaiņas mājsaimniecībām var noteikt iekšēji. Sākotnējā spuldžu efektivitāte un mērķa efektivitāte tika noteikta, izmantojot Eiropas Komisijas regulas un ekspertu materiālus šajā jomā. Funkcionālā saikne starp elektroenerģijas izmaksu un ienākumu attiecību un motivāciju taupīt elektroenerģiju tika iegūta mājsaimniecību aptaujā.

Modelēšanas laika periods ir no 2014. gada 1. janvāra līdz 2021. gada 1. janvārim, un tas ietver veco iekārtu sākotnējo struktūru un jauno iekārtu (energoefektīvās spuldzes, elektroiekārtas, siltumsūkņi, gaisa kondicionieri u. c.) pakāpenisku adaptāciju. Jauno iekārtu difuzija tiek modelēta, nemot vērā mērķa nolūka teoriju, kur kā dominējošais faktors ir pieņemts ieguvumu mērķis. Tas nozīmē, ka, piemēram, elektroenerģijas izmaksu un ienākumu attiecības pieaugums motivē noteiktu mājsaimniecību daļu nomainīt vecās spuldzes un elektroiekārtas pret jaunām ātrāk nekā būtu nepieciešams, ja tiktu nemnts vērā šo iekārtu normālais mūža ilgums. Savukārt elektroenerģijas izmaksu un ienākumu attiecības samazinājums rada pretēju motivāciju.

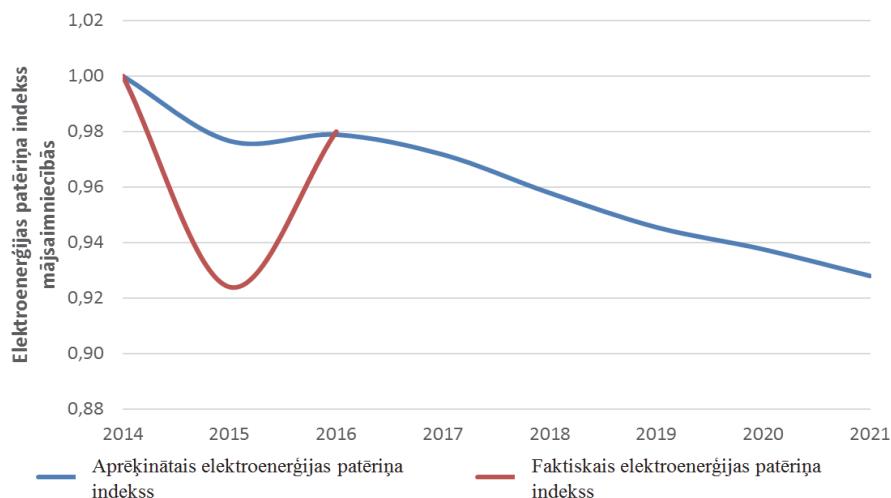
Lai novērtētu, kā elektroenerģijas izmaksu un ienākumu attiecības ietekmē motivāciju samazināt spuldžu un elektroiekārtu lietošanas laiku, t. i., mainīt izmantošanas paradumus, 2015. gadā tika veikta 700 mājsaimniecību aptauja. Anketēšanas mērķis bija atbilstoši izvirzītajai dinamiskajai hipotēzei (2.1. att) noteikt sakarību starp elektroenerģijas izmaksu un ienākumu attiecību un motivāciju taupīt elektroenerģiju, kā arī noskaidrot, kādus pasākumus mājsaimniecības faktiski ir īstenojušas elektroenerģijas izmaksu un ienākumu attiecības pieauguma gadījumā.



2.3. att. Saikne starp respondentu kumulatīvo īpatsvaru un elektroenerģijas izmaksu un ienākumu attiecību mājsaimniecībās ar zemu un augstu ienākumu līmeni.

Analizējot aptaujas datus, tika konstatētas atšķirības energoefektivitātes reakcijā uz izmaksu un ienākumu attiecību mājsaimniecībām ar zemu un mājsaimniecībām ar augstu ienākumu līmeni. Tādēļ mājsaimniecības tika modelētas divās atsevišķas grupās, kur katras grupas izmaksu un ienākumu attiecība parādīta 2.3. attēlā, un modelēšanas sākumā augstu ienākumu grupā tika iekļautas aptuveni 20 % mājsaimniecību.

Modelis tika validēts, izmantojot struktūras un uzvedības testus. Gan faktiskā elektroenerģijas patēriņa dati, gan aprēķinātie rezultāti liecina par elektroenerģijas patēriņa sākotnējo samazināšanos, lai gan faktiskais samazinājums ir bijis būtiskāks nekā tika aprēķināts, kā redzams 2.4 attēlā. Tas, iespējams, saistīts ar elektroenerģijas tirgus atvēršanas aktīvo publisko komunikāciju, kas, iespējams, īpaši aktivizēja cenas izmaiņu nozīmību.

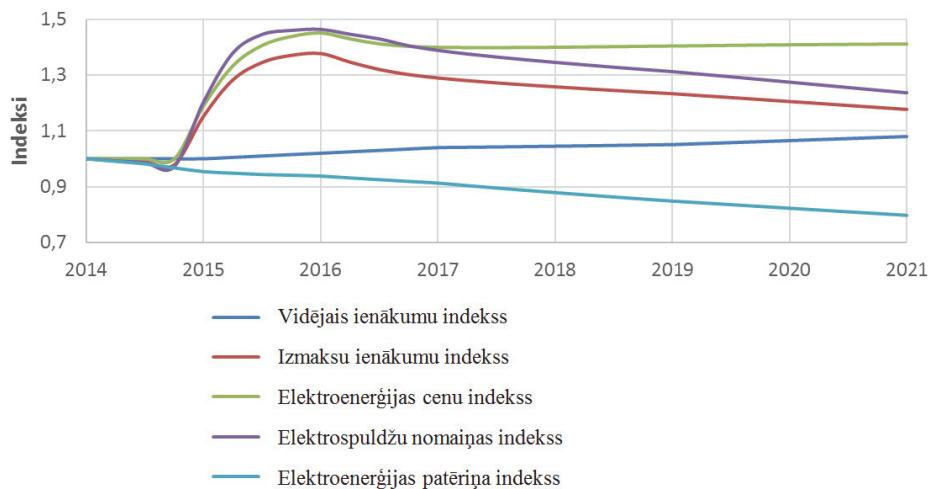


2.4. att. Kopējais mājsaimniecības elektroenerģijas patēriņa indekss – aprēķinātie rezultāti un faktiskie dati (sākotnējais modelī iekļautais patēriņš: 1887 GWh gadā).

Savukārt 2016. gadā aprēķinātie un faktiskie indeksi tuvinās, kas varētu liecināt par modeļa rezultātu izmantojamību turpmākas elektroenerģijas patēriņš modelētajā laika periodā samazināties no 1887 GWh līdz 1751 GWh gadā, kas atbilst 1,1 % ikgadējam patēriņa samazinājumam (2.4. att.).

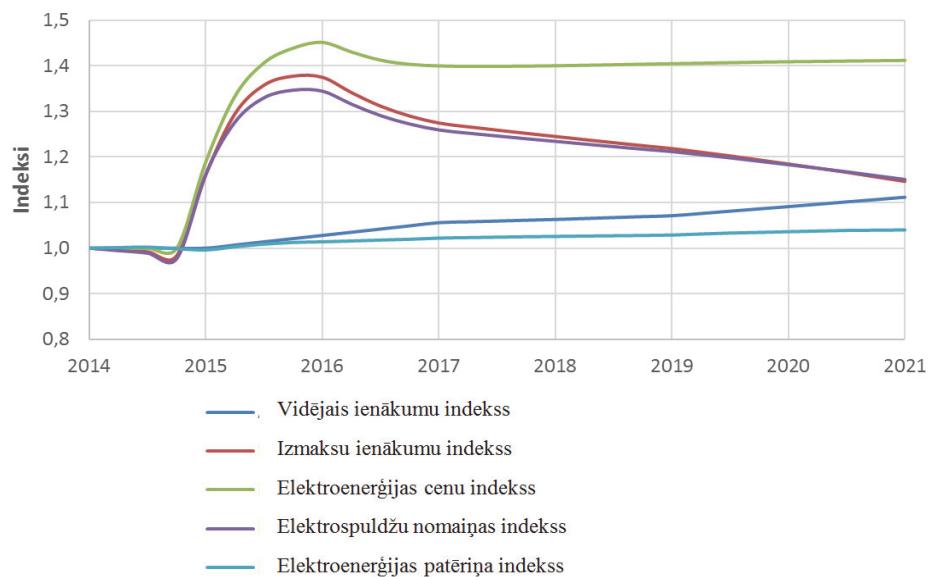
Modeļa rezultāti liecina, ka saskaņā ar pašreizējiem pieņēumiem un izvirzīto dinamisko hipotēzi kopējais mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņš modelētajā laika periodā samazināsies no 1887 GWh līdz 1751 GWh gadā, kas atbilst 1,1 % ikgadējam patēriņa samazinājumam (2.4. att.).

Tomēr, analizējot augsta un zema ienākumu mājsaimniecības, ir vērojamas gan kopējas, gan arī atšķirīgas tendences. Kaut arī elektroenerģijas izmaksu ienākumu attiecības indeksi un indeksi par motivāciju nomainīt spuldzes, kur savukārt šī tendence ir līdzīga motivācijai nomainīt citas elektroiekārtas vai arī mainīt uzvedību, abās mājsaimniecību grupās pēc 2016. gada pakāpeniski samazinās (2.5., 2.6. att.), tomēr šīs vērtības joprojām ir lielākas par indeksu 1 abās grupās. Tas raksturo turpinošu pozitīvu atgriezenisko saiti kopējā elektroenerģijas patēriņa samazinājumam. Tomēr iepriekš minētās izmaiņas mājsaimniecībām ar zemiem ienākumiem ir vairāk izteiktas un tajās ir mazāk izteikts pieaugums papildu enerģijas patēriņam, ko rosina ienākumu izmaiņas, kas kopumā rezultējas elektroenerģijas patēriņa indeksa samazinājumā.



2.5. att. Elektroenerģijas cenas un elektroenerģijas patēriņa rādītāji mājsaimniecībās ar zemiem ienākumiem.

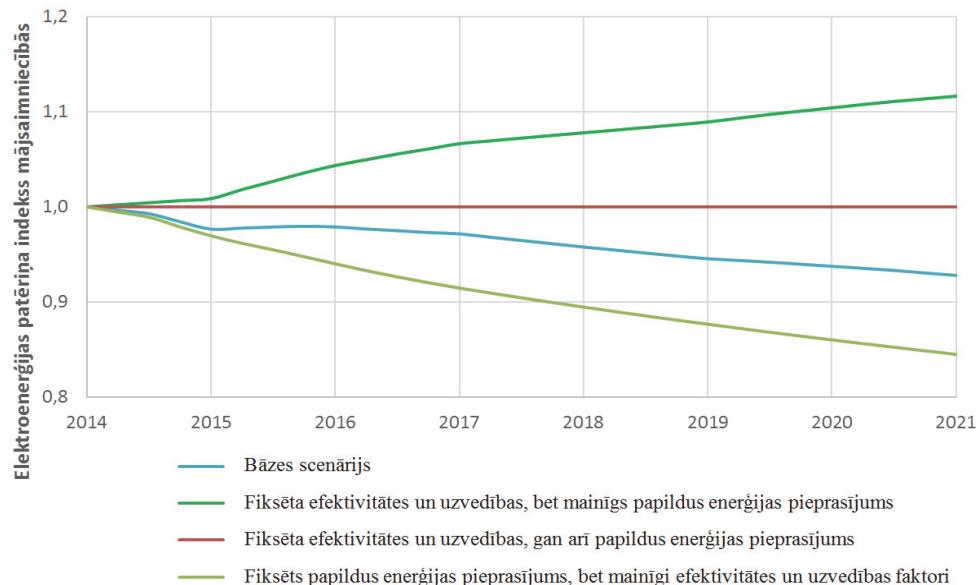
Savukārt elektroenerģijas patēriņa indekss mājsaimniecībās ar augstu ienākumu līmeni laika gaitā pakāpeniski palielinās (2.6. att.), ko nosaka ekonomiskā izaugsme un attiecīgi gan ienākumu pieaugums, gan mājsaimniecību skaita pieaugums ar augstiem ienākumiem. Ja modelī mājsaimniecību ar augstu ienākumu līmeni īpatsvars tiek noteikts nemainīgs, tad abās grupās elektroenerģijas patēriņš summāri samazinās.



2.6. att. Elektroenerģijas cenas un elektroenerģijas patēriņa rādītāji mājsaimniecībās ar augstu ienākumu.

Lai izanalizētu un interpretētu iegūtos rezultātus, tika papildus izveidoti speciāli scenāriji, kas paredz atsevišķu mainīgo faktoru aizstāšanu ar konstantēm. Šādā veidā ir vieglāk izvērtēt dažādu faktoru ietekmi uz gala rezultātu, un papildus tas kalpo modelim kā iebūvētās logikas validācija.

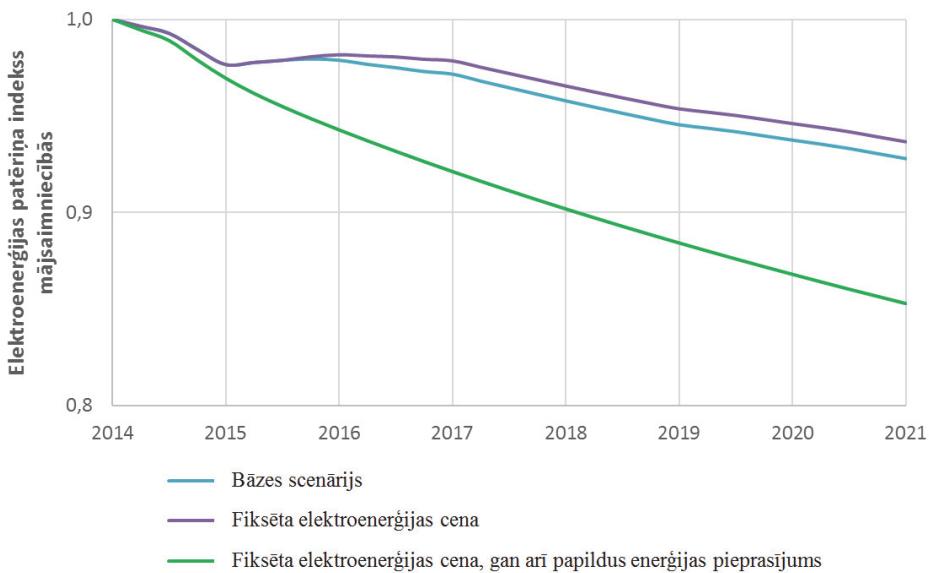
2.7. attēlā atainots bāzes scenārijs ar papildu atsevišķu faktoru fiksāciju. Šeit ir novērtējums situācijai, ja izmantoto tehnoloģiju efektivitātes uzlabošanās un to izmantošanas paradumi paliek nemainīgi.



2.7. att. Kopējais mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņa indekss dažādiem scenārijiem.

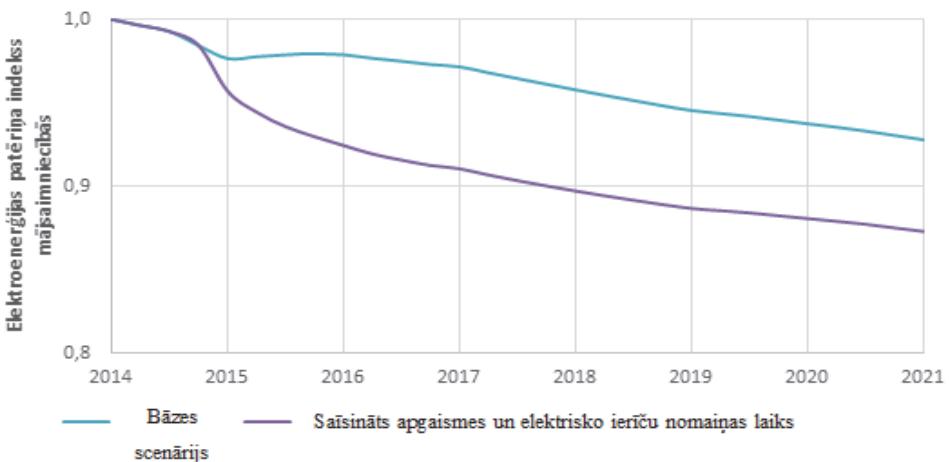
Šādā situācijā kopējais patēriņa indekss pieaug par vairāk nekā 10 %, ko faktiski izraisa ekonomiskā situācijas uzlabošanās rezultātā ģenerētais papildu energējas pieprasījums mājsaimniecību sektorā. Tas nozīmē, ka papildu elektroenerģijas pieprasījums, ko rosina ienākumu pieaugums, atbilst 1,6 % ikgadējam mājsaimniecību patēriņa pieaugumam, kas modelēšanas periodā kopā ir 1627 GWh papildu elektroenerģijas patēriņš. Savukārt, pieņemot, ka, pieaugot ienākumiem, nepieaug pieprasījums pēc papildu energoresursiem, var novērot diezgan būtisku elektroenerģijas patēriņa samazinājumu. Tomēr šie efekti nav simetriski, jo gala rezultātu ietekmē arī virkne citu faktorū.

Vēl viens jutības tests tika veikts elektroenerģijas patēriņa atkarībai no elektroenerģijas cenas pieaugumu, ko kā atgriezenisko rezultātu izraisa pieprasījuma samazinājums un attiecīgi vidējo fiksēto izmaksu pieaugums. 2.8. attēlā redzams, ka, pieņemot elektroenerģijas cenu konstantu, iegūtais elektroenerģijas patēriņš ir nedaudz lielāks, bet atšķirība no bāzes scenārija tomēr neveidojas būtiska, un modelēšanas perioda beigās tā ir aptuveni 1 %. Līdz ar to var secināt, ka elektroenerģijas sistēmas cenas pieaugums, ko varētu izraisīt energoefektivitātes pieaugums un attiecīgi patēriņa samazinājums, būtiski nemaina energējas ietaupījumus ilgtermiņā.



2.8. att. Kopējais mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņš cenu izmaiņu scenārijiem.

Savukārt 2.9. attēlā atainots iespējamais patēriņa samazinājuma potenciāls, ja ir iespējams saīsināt jauno tehnoloģiju ieviešanas laiku. Modelis ar šī brīža ieejas datiem uzrāda, ka šādā veidā iespējams samazināt vēl papildus 0,9 % ikgadēji elektroenerģijas patēriņu, kas kopā ir 593 GWh modelēšanas periodā.



2.9. att. Kopējais mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņš palielināta inovāciju ieviešanas ātruma scenārijam.

Analizējot modeli, tika identificēti vairāki tā uzlabošanas virzieni, lai uz tā bāzes būtu iespējams precīzāk novērtēt dažādu enerģētikas politiku izmaiņu iespāidu uz mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņu. Viens no uzlabojumiem būtu detalizētāk sadalīt gan vecās, gan jaunās iekārtas ar dažādiem energoefektivitātes raksturlielumiem, kas ir atkarīgi arī no iekārtas iegādes laika. Papildus šiem dažādajiem tehniskajiem aspektiem modeli būtu nepieciešams arī paplašināt, iekļaujot papildu sociālos faktorus, kas var izraisīt patērētāju uzvedības izmaiņas. Kā jau tika identificēts pētījumos, piemērojot nolūka teorijas ietvaru, bez racionālo ieguvumu motivācijas arī normatīvie mērķi bija patērētājiem nozīmīgi.

## **SECINĀJUMI**

### **Viedo skaitītāju ieviešanas un energoefektivitātes analīze**

- Sākotnējā viedo skaitītāju ieviešanas izmaksu un ieguvumu analīze uzrādīja, ka sociāli ekonomisks ieguvums sabiedrībai veidojas, realizējot ierobežotu skaitītāju ieviešanas programmu, kas paredz viedo skaitītāju uzstādīšanu objektiem ar gada patēriņu virs 2500 kWh un kas attiecīgi sasnietgu 23 % elektroenerģijas skaitītāju nomaiņu. Šāds scenārijs uzrādīja pozitīvu summāro ieguvumu valsts līmenī 4,4 miljoni EUR 10 gadu periodam, bet pašu skaitītāju nomaiņas projekta ieviešana tika plānota laika posmā no 2015. līdz 2017. gadam. Šī scenārija pozitīvo ekonomisko bilanci lielā mērā noteica ārējās vides faktori – klientu ieguvumi 20,9 miljoni EUR, ko pamatā veido energoefektivitātes paaugstināšanas iespēja, un CO<sub>2</sub> emisiju samazinājums 3,9 miljoni EUR, kas arī savukārt izriet no elektroenerģijas patēriņa samazinājuma. Tālākajam viedo skaitītāju izvēršanas programmas ekonomiskajam pamatojumam nepieciešams tehnoloģiju izmaksu samazinājums nākotnē un sadales tīklu darbības optimizācijas iespēju realizācija.
- Izmaksu un ieguvumu analīzes validācijai tika realizēts viedo skaitītāju pilotprojekts. Balstoties uz rezultātiem, kas tika iegūti pilotprojekta laikā un kas ir normalizēti atbilstoši Latvijas mājsaimniecību patēriņa sadalījumam, varam konstatēt, ka statistiski ticams ir 8,6 % elektroenerģijas samazinājums pie viedo skaitītāju ieviešanas un atbilstošas atgriezeniskās informatīvās saites nodrošināšanas. Šis rezultāts ir ievērojami virs 5 % no enerģijas patēriņa ietaupījuma, kas iekļauts skaitītāju izmaksu un ieguvumu analīzē. Tas arī ļautu pieņemt, ka pie sagaidāma lielāka patēriņa ietaupījuma līmeņa var palielināt skaitītāju ieviešanas apjomu. To apstiprina arī fakts, ka mājsaimniecībām, kuru vidējais gada patēriņš ir mazāks nekā 2500 kWh gadā, vidējais relatīvais ietaupījums bija konstatēts pat nedaudz virs vidējā rādītāja. Tomēr šāds pieņēmums prasītu ilgstošāku izpēti, jo pastāv varbūtība, ka ilgākā termiņā šis efekts var mazināties.
- Izmaksu un ieguvumu analīzes pozitīvajā bilancē būtiska komponente ir vides ieguvumi no CO<sub>2</sub> izmešu samazinājuma, kas ir novērtēti 3,9 miljoni EUR apjomā. Emisijas ietaupījums tiek iegūts, jo, pieaugot energoefektivitātei, tiek samazināts nepieciešamais elektroenerģijas ražošanas apjoms. Aprēķinos tika pieņemts, ka elektroenerģijas patēriņa samazinājums ļaus samazināt CO<sub>2</sub> izmešu apjomu 0,397 tCO<sub>2</sub>/MWh, kas aptuveni atbilst kondensācijas režīmam *Latvenergo* termoelektrostacijās. Paralēli skaitītāju ieviešanai Latvijas elektroenerģijas tirgus strauji integrējas Ziemeļvalstu tirgos, kas raksturīgi ar ļoti zemu oglekļa izmešu īpatsvaru, tāpēc tika veikta daudzfaktoru regresijas analīze, lai novērtētu CO<sub>2</sub> emisiju ietekmi uz elektroenerģijas tirgus cenu.
- Regresijas analīzes rezultātā tika konstatēts, ka Ziemeļvalstu elektroenerģijas tirgus cenas būtisks prediktors ir CO<sub>2</sub> emisiju cena, kas ir būtiski nozīmīgāks nekā to varētu sagaidīt no fosilās ģenerācijas īpatsvara kopējā ģenerācijā un kas atbilstošā laika periodā ir svārstījies nedaudz virs 20 %. Ziemeļvalstu kopējās sistēmas cenas ietekme tika konstatēta 0,55, kas nozīmē, ka 1 EUR izmaiņa CO<sub>2</sub> emisiju cenā par 0,55 EUR izmainītu elektroenerģijas cenu. To hipotētiski varētu skaidrot ar faktu, ka Ziemeļvalstu hidroelektrostacijām ir apjomīgas

ūdens uzkrāšanas iespējas, kas ļauj efektīvi optimizēt garākā laika periodā šo ģenerācijas avotu faktisku aizstāšanu un attiecīgi iecenot fosilās ģenerācijas izspiešanas izmaksas arī periodos, kad šāda ģenerācija fiziski tirgū nepiedalās.

- Lai izvērtētu elektroenerģijas CO<sub>2</sub> emisiju faktoru Latvijā, kur savu ietekmi atstāj ne tikai vietējā ražošana, bet arī dažādu virzienu importa plūsmas, tika veikta 2017. gada ģenerācijas marginālo izmaksu analīze, veidojot potenciālo piedāvājuma rindu (*merit order*) stundu detalizācijā. Izmantojot šo analīzi, tika novērtēts noslēdzosās elektroenerģijas ģenerācijas vai importa piegādes avoti gada ietvaros, kas tad arī formē CO<sub>2</sub> emisiju faktoru Latvijā. Novērtējot marginālās emisijas šādā veidā, varam konstatēt, ka ieguvums no 1 MWh elektroenerģijas patēriņa samazinājuma varētu būt 0,566 tCO<sub>2</sub>, ja emisiju cena ir 7,5 EUR/t CO<sub>2</sub>, kas aptuveni atbilst pašreizējai tirgus situācijai. Papildus tika izveidota ģenerācijas marginālo izmaksu analīze, ja CO<sub>2</sub> emisiju cena ir 20 EUR/t, atstājot citu primāro primāro energijas avotu cenas nemainīgas. Šāda scenārija gadījumā 1 MWh elektroenerģijas patēriņa samazinājuma varētu būt 0,492 tCO<sub>2</sub>.
- Kopumā analizētie scenāriji un to jutības analīzes uzrādīja, ka ieguvums no 1 MWh elektroenerģijas patēriņa samazinājuma varētu būt intervālā no 0,419 tCO<sub>2</sub>/MWh līdz 0,566 tCO<sub>2</sub>/MWh. Tāpēc, vērtējot viedo skaitītāju izmaksu un ieguvumu analīzē iekļauto emisijas faktoru, jākonstatē, ka tas varētu tikt izmantots lielāks nekā pašlaik normatīvi noteiktais 0,397 tCO<sub>2</sub>/MWh. Līdz ar to lielāku emisiju faktoru varētu attiecināt uz vides ieguvumiem arī citu energoefektivitātes pasākumu gadījumā, vērtējot ietaupījumus, ko dod elektroenerģijas patēriņa samazinājums. Kopumā varam secināt, ka Latvijas elektroenerģijas tirgus liberalizācija un integrācija Ziemeļvalstu tirgū noteikti nerada risku, ka vides ieguvumi no CO<sub>2</sub> emisiju samazinājuma, realizējot energoefektivitātes pasākumus, varētu samazināties.

## **Energoefektivitāti ietekmējošo faktoru un dinamikas analīze**

- Energoefektivitātes pasākumu ieviešanas procesu var analizēt, izmantojot inovāciju difūzijas pieeju, kas paredz, ka pēc informācijas saņemšanas par ieejamajiem risinājumiem apgaismojuma vai citu mājsaimniecības iekārtu energoefektivitātes uzlabošanā individuāls formē savu attieksmi un pieņem lēmumu. Savukārt, lai analizētu attieksmes formēšanas un lēmumu pieņemšanas aspektus, tika izvēlēta nolūka ietvara teorijas (*goal-framing theory*) pieejā. Atbilstoši tai tika veikta aptauja un izveidots daudzfaktoru loģistikas regresijas modelis. Regresijas modeļa rezultāti neuzrādīja vienu dominējošu motivāciju, tomēr korelācijas analīzē normatīvais mērķis nedaudz vairāk tika novērots respondentos, kuri bija aktīvāki energoefektivitātes pasākumu ieviešanā. Izveidotais energoefektivitātes motivācijas modelis, kas satur normatīvo, hedonisko, ieguvumu mērķus un citus mērķus, izskaidroja 51,4 % novirzi un 13,0 % pielāgoto novirzi, kas ir zemāks rādītājs, salīdzinot ar līdzīgiem ekozināciju ieviešanas pētījumiem. Viens no iemesliem, kāpēc neuzrādījās kāds dominējošais motivācijas mērķis un arī bija zems modeļa prognozēšanas līmenis, varētu būt, ka šāda motivācija precīzāk veidojas konkrēta lēmuma vai darbības veikšanas brīdī, ko apgrūtinoši ir simulēt pārāk vispārējā attieksmes aptaujā. Tādējādi metodiskās pieejas

izmantojamību varētu uzlabot, sašaurinot aptauju uz pēc iespējas konkrētāku situācijas kontekstu, piemēram, motivācijas izpēti *LED* vai konkrētas A+++ klasses mājsaimniecības iekārtu iegādes situācijā.

- Lai novērtētu energoefektivitātes pasākumu veikšanas ilgtermiņa ieguvumus, tika izveidots sistēmdinamikas modelis, kas papildus energoefektivitātes motivācijai iekļauj arī elektroenerģijas cenu izmaiņas mājsaimniecību ienākumu pieaugumu un tehnoloģiju nomaiņu procesu. Pētījumā tika izmantota sistēmdinamikas modelēšanas metode, jo tā ļauj veikt procesa dinamikas analīzi, iekļaujot pozitīvo un negatīvo atgriezenisko saišu un kavējumu efektus. Papildus tika veikta aptauja ar mērķi novērtēt, kā elektroenerģijas izmaksu un ienākumu attiecības ietekmē energoefektivitātes motivāciju.
- Modeļa rezultāti liecina, ka saskaņā ar pašreizējiem pieņēumiem un izvirzīto dinamisko hipotēzi kopējais mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņš līdz 2020. gadam samazināsies no 1887 GWh līdz 1751 GWh gadā, kas atbilst 1,1 % ik gadējam patēriņa samazinājumam. Tas nozīmē, ka energoefektivitātes tendences pilnībā nosedz papildu elektroenerģijas pieprasījumu, ko rosina ienākumu pieaugums. Šis papildus pieprasījums atbilst 1,6 % ik gadējam mājsaimniecību patēriņa pieaugumam, kas modelēšanas periodā kopā veido 1627 GWh. Papildus tika identificēts iespējamais patēriņa samazinājuma potenciāls, ko iespējams sasniegt, maksimāli saīsinot jauno tehnoloģiju ieviešanas laiku. Modelis ar šī brīža ieejas datiem uzrāda, ka šādā veidā iespējams vēl samazināt līdz 0,9 % gada elektroenerģijas patēriņu, kas kopā modelēšanas periodā ir 593 GWh.
- Kopumā var secināt, ka viedo skaitītāju ieviešana atstās pozitīvu ietekmi uz energoefektivitātes palielināšanu un līdz ar to arī uz CO<sub>2</sub> emisiju samazinājumu arī Latvijas apstākļos un ka šo ietekmi nozīmīgi iespāido elektroenerģijas gala lietotāju uzvedības aspekti.