

Jana Teremranova

**VAIRĀKLĪMEŅU NOVĒRTĒJUMS GALALIETOTĀJU
IEGULDĪJUMAM ENERGOSISTĒMAS
TRANSFORMĀCIJĀ DEKARBONIZĀCIJAS VIRZIENĀ**

Promocijas darba kopsavilkums



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultāte

Enerģētikas institūts

Jana Teremranova

Doktora studiju programmas “Enerģētika un elektrotehnika” doktorante

**VAIRĀKLĪMĒŅU NOVĒRTĒJUMS
GALALIETOTĀJU IEGULDĪJUMAM
ENERGOSISTĒMAS TRANSFORMĀCIJĀ
DEKARBONIZĀCIJAS VIRZIENĀ**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji:

profesore *Dr. sc. ing.*
ANNA MUTULE,

asociētā profesore *Dr. sc. ing.*
DIĀNA ŽALOSTĪBA

RTU Izdevniecība
Rīga 2023

Teremranova, J. Vairāklīmeņu novērtējums galalietotāju ieguldījumam energosistēmas transformācijā dekarbonizācijas virzienā. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 58 lpp.

Publicēts saskaņā ar promocijas padomes "RTU P-05" 2023. gada 16. februāra lēmumu Nr. 90/23.



Promocijas darbs izstrādāts ar Rīgas Tehniskās universitātes doktora stipendiju programmas daļēju atbalstu Eiropas Sociālā fonda projekta Nr. 8.2.2.0/20/I/008 "Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantūras studentu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskajās specializācijas jomās" mērķī 8.2.2 "Stiprināt akadēmisko personālu augstākās izglītības iestāžu jomās", kas ietilpst darbības programmā "Izaugsme un nodarbinātība".



Promocijas darbs tapis ar pētījumu projektu "Ambiciozas enerģētikas politikas pieejas ietekme (AMBER)" un "Baltijas valstu ātra, elastīga un droša dekarbonizācija – iespējamā virzība nākamajos desmit gados (FasTen)" daļēju atbalstu, ko finansējusi organizācijas "Nordic Energy Research" Baltijas un Ziemeļvalstu Enerģētikas pētījumu programma.

<https://doi.org/10.7250/9789934228773>
ISBN 978-9934-22-877-3 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2023. gada 20. aprīlī plkst. 11.00 Rīgas Tehniskās universitātes Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātē, Āzenes ielā 12 k-1, 306. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Asociētā profesore *Dr. sc. ing.* Laila Zemīte,
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesore *Dr. sc. ing.* Irina Oļeiņikova,
Norvēģijas Zinātņu un tehnoloģiju universitāte (*Norwegian University of Science
and Technology*), Norvēģija

Vadošais pētnieks *Dr. sc. ing.* Arturas Klementavičius,
Lietuvas Enerģētikas institūts, Lietuva

APSTIPRINĀJUMS

Apliecinu, ka esmu izstrādājusi šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Jana Teremranova (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs uzrakstīts angļu valodā. Tajā ir ievads, piecas nodaļas, secinājumi, 59 attēli, 23 tabulas, trīs pielikumi, kopā 148 lappuses. Izmantoto avotu sarakstā ir 198 avoti.

SATURS

1. IEVADS	5
2. ENERĢIJAS GALALIJOTĀJU ANALĪZE PILSĒTU ENERĢĒTISKAJĀ VIDĒ	11
3. LĒMUMU PIENĒMŠANAS PIEEJA	13
4. VIEDO PILSĒTU APTAUJAS IZVEIDE.....	17
5. ENERĢOSISTĒMAS PĀREJAS MODELĒŠANA	22
5.1. Baltijas enerģosistēmas transformācijas modelēšana	23
5.2. Ēku sektora ietekmes uz dekarbonizāciju modelēšana	27
5.2.1. Scenāriji centralizētās siltumapgādes samazinājumam ēku renovācijas rezultātā Latvijā	27
5.2.2. Gadījumizpētes rezultāti un to apspriešana	29
5.2.3. Modelēto scenāriju kopējā ietekme uz Baltijas enerģijas bilanci	32
5.2.4. Scenāriju ietekme uz elektroenerģijas cenām	34
5.2.5. Rezultātu rādītāji	34
5.3. Nodaļas secinājumi	36
6. INFRASTRUKTŪRAS UN SEKTORU IZMAIŅU SCENĀRIJU MODELĒŠANA DEKARBONIZĀCIJAS PROCESA PAĀTRINĀŠANAI.....	37
6.1. Ēdiena gatavošanas iekārtu elektrifikācija Latvijā	37
6.1.1. Modelēšanas pieeja	39
6.1.2. Rezultāti un to apspriešana	41
6.1.3. Nodaļas secinājumi	43
6.2. Patērētāju enerģētiskās uzvedības izmaiņu modelēšana kopmītnēs	44
6.2.1. Metodoloģija	44
6.2.2. Rezultāti un to apspriešana	48
6.2.3. Nodaļas secinājumi	50
7. KOPĒJIE SECINĀJUMI	51
Izmantotās literatūras saraksts.....	52

1. IEVADS

Pētījuma priekšvēsture un tā aktualitāte

Sekojošā Parīzes nolīguma mērķiem [1], Eiropas Savienība (ES) ir noteikusi vērienīgas siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju mērķvērtības 2050. gadam [2], ieskaitot neto SEG emisiju samazinājumu **vismaz par 55 % līdz 2030. gadam** (pakotne *Fit to 55*) [3]. Lai sasniegtu šīs mērķvērtības, ir būtiski **samazināt emisijas enerģētikas sektorā**, kas veido ap 75 % no ES SEG emisijām [1]. Lai paātrinātu atjaunīgo enerģijas avotu ieviešanu, uzlabotu energoefektivitāti un energodrošību, kā arī veicinātu investīcijas un paātrinātu ēku atjaunošanas tempu Eiropas Savienībā, Eiropas Komisija ir izstrādājusi dokumentu pakotni “Tīru enerģiju ikvienam Eiropā” (*Clean energy for all Europeans*) [4].

2030. gada klimata un enerģētikas politikas satvarā [4] ietilpst mērķvērtības atjaunīgo enerģijas avotu (AEA) proporcijas palielināšanai galapatēriņā vismaz līdz 32 % līdz 2030. gadam. ES SEG emisijas enerģijas ražošanā un patēriņā veido vairāk nekā 75 % no visa emisiju apjoma 75 % [5], tāpēc, ņemot vērā to, ka ievērojama daļa no SEG emisijām sastāv no oglekļa dioksīda (ap 76 %), enerģētikas nozares dekarbonizācijai ir būtiska nozīme, lai līdz 2050. gadam varētu sasniegt neto nulles mērķvērtību. Tādējādi ir nepieciešams turpināt sistemātiskus centienus samazināt fosila kurināmā patēriņu, atrodot jaunas, zinātniski pamatotas iespējas un iniciatīvas pārejai uz tīru enerģētiku.

Kurināmā aizstāšanas politikas maksimālais efekts var būt pilsētās, kur notiek iedzīvotāju, ražošanas un resursu patēriņa koncentrācija. Tiecoties uz pilsētas energoavotu dekarbonizāciju, maksimālo energoefektivitāti un SEG **emisiju samazinājumu var panākt, koncentrējoties uz trīs galvenajām jomām** [6]: transporta nozarē – pārejot uz elektriskajiem dzinējiem maksimālam autoceļu transporta skaitam, kas ļaus ievērojami paaugstināt efektivitāti; **dzīvojamās ēkās, publiskās un komercietpās – tajās ir nepieciešams investēt efektīvākās tehnoloģijās, kurās tiek izmantota tīra elektroenerģija un siltumenerģija**, kā arī enerģijas taupīšanas tehnoloģijās. Veicot kompleksu elektrifikāciju, būtu jāņem vērā arī elektroenerģijas ražošanas avots un pakāpeniski jāpāriet uz tīru elektroenerģiju, kas ievērojami paaugstina dekarbonizācijas efektivitāti un tempu.

Notiekošo izmaiņu procesā ļoti liela nozīme ir enerģijas patērētājiem. Eiropas Komisija ir piedāvājusi jaunus noteikumus patērētājcentrētai tīrai enerģētikas pārkārtošanai [7], kur patērētāji tiek raksturoti kā galvenais elements nākotnes enerģijas tirgos. Saistībā ar šo rūpniecisko, komerciālo un dzīvojamā sektora enerģijas galalietotāju lielo nozīmi enerģijas tirgū kļūst iespējams risināt jautājumus, kas saistīti ar pārlietu lielajām rezerves jaudas izmaksām, lai padarītu tirgu caurskatāmu visiem tā dalībniekiem un turpināt atjaunīgo enerģijas avotu un jauno tehnoloģiju attīstību. Starptautiskā Enerģētikas aģentūra (*SEA/IEA*) [8] uzsver, ka nav iedomājams scenārijs ar neto nulles emisiju sasniegšanu līdz 2050. gadam, ja nemainīsies galalietotāju dzīvesveids un enerģijas izmantošanas paradumi, jo šādā gadījumā paliks nerealizēts individuālo patērētāju potenciāls ar savu izvēli ietekmēt visas energosistēmas pārveidi dekarbonizācijas virzienā, kā arī izvēlēto mērķu ieviešanas ilgtspēja.

Taču elektrifikācijas paplašināšanās rada jaunas grūtības valsts vai reģiona elektroenerģijas sistēmai [9], īpaši, vienlaikus aizstājot vairākus fosilo kurināmā veidus ar atjaunīgiem enerģijas

avotiem, piemēram, fotoelektriskajām tehnoloģijām, siltumsūkņiem, vēja enerģiju, elektroauto ar baterijām u. c. Pastāv problēmas saistībā ar papildu enerģijas vajadzībām, enerģijas trūkumu vai pārpalikumu, kā arī ar CO₂ emisiju efektīvu samazināšanu, ko ir lietderīgi vērtēt ar dinamiskām un datu vadītām pieejām. Acīmredzama ir vajadzība pēc noturīgas un elastīgas pieejas galalietotāju radītās ietekmes modelēšanai dažādos iesaistes līmeņos.

Šajā promocijas darbā apvienota dažādu sociāli ekonomisko līmeņu detalizēta analīze ar galalietotāju ietekmes novērtējumu, ieviešot patērētājcentrētu vairāklīmeņu struktūru. Tiek prezentēti liela mēroga modelēšanas rezultāti par Baltijas valstīm, modelējot energosistēmas ilgtspējīgu un elastīgu darbību gan gada, gan stundas griezumā. Pētījums sniedz pasākumu kopumu, kuru mērķis ir izpētīt un modelēt Latvijas un Baltijas valstu enerģijas patērētāju iespējamo ietekmi uz efektivitātes un elastības paaugstināšanu un enerģijas patēriņa samazināšanu energosistēmā.

Viena no enerģijas pārejas galvenajām iezīmēm ir tāda, ka mūsdienu patērētāji spēj regulēt savu enerģijas patēriņu, ražot enerģiju un tādējādi mijiedarboties ar energosistēmu. Šīs jaunās patērētāju īpašības maina pašu energoapgādes sistēmu un enerģētikas nozarē pastāvošās pieejas. Šajā promocijas darbā aprakstīta daudzpakāpju metodoloģiskā pieeja saistībā uz galalietotāju ieguldījumu energosistēmas transformācijā dekarbonizācijas virzienā, ko izstrādājusi autore. Katra šīs pieejas pakāpe ietver atsevišķas problēmas vai vairāku uzdevumu secīgu risinājumu, kam ir dažāds svarīgums un sarežģītība. Katram no tiem ir izstrādātas speciālas metodes un modeļi. Tika izstrādāti seši enerģijas ietaupījuma scenāriji mājokļos, aizstājot gāzes plītis ar elektriskajām un indukcijas plītīm. Papildus tam tika salīdzinātas elektrificēšanas izmaksas mājsaimniecībām, pāreju uz elektriskajām plītīm salīdzinot ar pāreju uz elektroauto. Savukārt enerģētiskās uzvedības modelēšana kopmītnēs attēlo galalietotāja neizmantoto potenciālu energokopienās.

Promocijas darba hipotēze, mērķis un uzdevumi

Hipotēze

Dažādu galalietotāju grupu enerģētiskās uzvedības maiņa būtiski ietekmē iespējas paaugstināt visas energosistēmas efektivitāti un elastību, palīdzot sasniegt valsts dekarbonizācijas mērķus.

Mērķis

Novērtēt, kā galalietotāju uzvedības izmaiņas ietekmē energosistēmas dekarbonizāciju, modelējot galalietotāju enerģētisko uzvedību dažādos enerģijas patēriņa līmeņos.

Uzdevumi

1. Izpētīt viedās pilsētvides potenciālu un tās ietekmi uz enerģijas galalietotājiem.
2. Izstrādāt metodoloģiju ilgtermiņa viedai, dekarbonizētai enerģētiskās vides attīstībai, novērtēšanai un trūkumu novēršanai.
3. Izveidot aptauju, lai izpētītu galalietotāju vajadzības un viņu zināšanas no viedā enerģijas patēriņa viedokļa.
4. Izveidot scenārijus, lai modelētu enerģijas patērētāju/ražotājlietotāju ietekmi uz energosistēmas vispārējo elastību, drošību un drošumu.

5. Izpētīt un modelēt ēku sektora potenciālu energosistēmas dekarbonizācijas paātrināšanai.

Pētījumu metodes un rīki

1. Lai modelētu un analizētu Baltijas energosistēmas pāreju uz klimatneitralitāti, bija pielāgots *Baltic Backbone* modelis, balstoties uz rīku **Backbone** (pielāgojams energosistēmu modelēšanas ietvars). Modelis izveidots **GAMS** (*General Algebraic Modelling System*) programmatūrā, ar tā palīdzību tika ieviestas un analizētas vairākas enerģētikas sektora sastāvdaļas, vienības, mezgli un līmeņi, kā arī tika modelēti Baltijas valstu un to kaimiņreģionu parametri dažādās detalizācijas pakāpēs. Datu ievadei un rezultātu analīzei izmantota arī programmatūra **Microsoft Excel** un **GAMS**. Papildus tam ievadinformācijas vākšanai tika izmantotas dažādas datubāzes: Latvijas, Lietuvas un Igaunijas statistikas datubāzes, Dānijas Enerģētikas aģentūras un *Energinet* tehnoloģijas datubāze, datubāze *ninja_europe_wind_v1.1 database*, kā arī enerģijas biržas *Nord Pool* datu kopa.
2. **Aptauja** tika izmantota, lai pētītu pastāvošos enerģijas patēriņa paradumus dažādās valstīs un apstākļos, lai attīstītu viedās pilsētas, kas ļauj iedzīvotājiem kļūt aktīvākiem un apzinīgākiem energoefektivitātes jomā, vairāk taupīt enerģiju un izmantot jaunas, progresīvas tehnoloģijas.
3. Pētot dekarbonizācijas iespējas ēdiena gatavošanas jomā, datu ievadei un rezultātu analīzei tika izmantota programmatūra **Microsoft Excel**.
4. Lai modelētu izmaiņas patērētāju enerģētiskajā uzvedībā kopmītnēs, tika izmantota vide **MATLAB** un programmatūra **Microsoft Excel**.

Zinātniskā novitāte

1. Veikts detalizēts novērtējums par viedo pilsētu lomu enerģijas patērētājiem un energosistēmas attīstībai dekarbonizācijas mērķu virzienā un piedāvāta patērētājcentrēta vairāk līmeņu struktūra.
2. Izstrādāta metodoloģiska lēmumu pieņemšanas pieeja viedas pilsētas enerģijas komponentes attīstībai. Algoritms ļauj realizēt pilsētas enerģētiskās attīstības vispārējo shēmu, identificējot vājās vietas, kurām vajadzīgi detalizētāki pētījumi to pārvarēšanai. Tādējādi galalietotāju ieguldījuma kopējā enerģētiskās attīstības struktūrā novērtējums tika atzīts par nepietiekami attīstītu pētītās literatūras sarakstā. Šāds trūkums kavē kopējās energosistēmas attīstību, līdz ar to neizmantots paliek galalietotāju potenciāls un noteiktajos termiņos netiek sasniegti enerģētiskie mērķi.
3. Izveidota un veikta unikāla galalietotāju aptauja, kas detalizēti pēta iedzīvotāju enerģētisko uzvedību un identificē uzskatus un paradumus, kas neļauj ātri ieviest klimata mērķus.
4. Rīks *Baltic Backbone* tika apstiprināts kā piemērots instruments dekarbonizācijas scenāriju izveidei Baltijas reģionā, īpaši fokusējoties uz Latvijas apstākļiem. Tika prezentēta analīze par galalietotāju ieguldījumu dekarbonizācijā, efektivitātē, noturībā un ilgtspējā valsts un reģionālajā līmenī, modelējot scenārijus ēku sektoram Baltijas reģionā, kas maksimizē vēl līdz galam neizmantoto aktīvo galalietotāju potenciālu.
5. Veikta analīze par iespējām un ietekmi, elektrificējot virtuves Latvijas dzīvojamā sektorā. Tika piedāvāti seši scenāriji, lai aizstātu iekārtas, kurās izmanto sašķidrināto naftas gāzi

(LPG) un dabasgāzi, ar elektroiekārtām. Salīdzinājumam tika veikts aprēķins par iespējamā aizstāt automašīnas, kam ir iekšdedzes dzinējs, ar elektroauto, kā arī par salīdzinošajām šādas aizstāšanas izmaksām.

6. Prezentēta modelētā kopmītnes galalietotāju uzvedības maiņas ietekme uz enerģijas patēriņu un efektivitāti kā piemērs potenciālam enerģētisko mērķu sasniegšanai kopienās.

Pētījumu praktiskā nozīme

Promocijas darba gaitā veiktā darba rezultāti tika izmantoti vairākos pētniecības projektos.

- *ERANet-LAC 2.* kopīgais uzaicinājums pētījumiem un inovācijām Latīņamerikas, Karību reģiona un Eiropas Savienības valstīm, projekts “*An ICT Platform for Sustainable Energy Ecosystem in Smart Cities*” (*ITCity*), (2017–2019).
- Nacionālās pētījumu programmas “Enerģētika” projekts “*Future-proof development of the Latvian power system in an integrated Europe*” (*FutureProof*) (2018–2021).
- Baltijas un Ziemeļvalstu enerģijas pētījumu programmas projekts “*Fasten: Fast, flexible and secure decarbonisation of the Baltic states — possible progress in the next ten years*” (2020–2021).
- Baltijas un Ziemeļvalstu enerģijas pētījumu programmas projekts “*Amber: Impacts of ambitious energy policy pathways*” (2021–2022).

Autores personiskais ieguldījums

Promocijas darba izstrādes laikā autore piedalījās vairākos starptautiskos projektos. Lēmumu pieņemšanas pieeju pilsētu enerģētiskās vides attīstībai autore izveidoja starptautiskajā projektā “*ITCity*”. Pašreizējās situācijas analīze, metodoloģijas izstrāde un kritēriju atlase viedo pilsētu vērtēšanai šajā projektā tika veiktas profesores A. Mutules vadībā. Autore arī konceptualizēja, izstrādāja un īstenoja aptauju par viedajām pilsētām, apstrādāja iegūtos datus un veica rezultātu analīzi.

Baltijas energosistēmas pārejas modelēšana tika veikta kopā ar asociēto profesori D. Žalostību, *VTT* pārstāvjiem T. Lindrosu (*Lindroos*), N. Putkonenu (*Putkonen*), LEI (Lietuva) un *TalTech* (Igaunija). Autore deva ieguldījumu visās pētniecības daļās, īpaši ieejas datubāzes informācijas vākšanā Latvijā, *Baltic Backbone* modeļa rezultātu testēšanā un validācijā, scenāriju modelēšanā ēku sektora ietekmes novērtēšanai uz dekarbonizācijas procesu Latvijā un Baltijas valstīs, kā arī rezultātu analīzē.

Analīzi par dekarbonizācijas iespējām Latvijas virtuvēs, aizvietojo gāzes plītis ar elektriskajām, autore veica profesora A. Sauhata vadībā. Autore piedalījās visās pētījumu stadijās, sākot ar pašreiz izmantoto ēdiena gatavošanas iekārtu analīzi un datu vākšanu par Latvijas mājsaimniecībām un beidzot ar jutības scenārijiem un iegūto rezultātu analīzi.

Visbeidzot, patērētāju enerģētiskās uzvedības izmaiņu modelēšana kopmītnēs tika veikta kopā ar profesori A. Mutuli, asoc. profesori A.-M. Dumitresku (*Dumitrescu*) un I. Zikmani. Autore piedalījās visās pētījumu stadijās, īpaši nepieciešamo ievaddatu vākšanā, modeļa konceptualizācijā un rezultātu analīzē.

Rezultātu aprobācija

Šī promocijas darba rezultāti tika prezentēti piecās zinātniskajās konferencēs.

1. The XI International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering, 2019. gada 28.–30. marts, Bukareste, Rumānija.
2. The 2020 IEEE 61th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 2020. gada novembris, Rīga, Latvija.
3. The 3rd International Conference on Smart and Sustainable Planning for Cities and Regions (SSPCR 2019), 2019. gada decembris, Bolcano, Itālija.
4. The 16th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems (SDEWES), 2021. gada 10.–15. oktobris, Dubrovnikā, Horvātija.
5. The 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON'2022), Rīga, Latvija, 2022. gada 9.–12. maijs.

Promocijas darbā iekļautie rezultāti ir publicēti zinātniskās publikācijās, kas indeksētas *Scopus* vai *Web of Science*.

1. Mutule, A., **Teremranova, J.**, Antoskovs, N. “Smart City Through a Flexible Approach to Smart Energy”. Rīga: Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 2018, No. 1, pp. 3–14. DOI: 10.2478/lpts-2018-0001.
2. Mutule, A., **Teremranova, J.** “Introduction of Energy Saving Principles: Technologies and Awareness, Latvian Experience”. Rīga: Latvian Journal of Physics and Technical Sciences, 2018, No. 6, pp. 52–62. DOI: 10.2478/lpts-2018-0044.
3. **Teremranova, J.**, Mutule, A. “Sustainable city development as a result of close cooperation with citizens: Europe and LAC experiences”. ISBN: 978-147997514-3. THE XI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING, March 28–30, 2019, Bucharest, Romania. DOI: 10.1109/ATEE.2019.8724958.
4. **Teremranova, J.**, Sauhats, A. “Electrification and Decarbonisation Potential Assessment of Latvian Dwellings”. Published in: 2020 IEEE 61th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON). DOI: 10.1109/RTUCON51174.2020.9316549.
5. **Teremranova, J.**, Mutule, A. „Smart Approach to Management of Energy Resources in Smart Cities: Evaluation of Models and Methods”. Published in: Smart and Sustainable Planning for Cities and Regions, Green Energy and Technology, https://doi.org/10.1007/978-3-030-57332-4_1.
6. Putkonen, N., Lindroos, T.J., Neniškis, E., Žalostība, D., Norvaiša, E., Galinis, A., **Teremranova, J.** & Kiviluoma, J. “Modeling the Baltic Countries’ Green Transition and Desynchronization from the Russian Electricity Grid”. International Journal of Sustainable Energy Planning and Management. May 2022. DOI: 10.54337/ijsepm.7059.
7. **Teremranova, J.**, Zalostība, D. “Modelling of Building Sector Impact on Decarbonisation of the Baltic Energy System” (presented at the 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON'2022) in Riga, Latvia, May 9–12, 2022). Doi: 10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830169.

Promocijas darba rezultātos balstīti vairāki populārzinātniskie raksti.

1. Mutule, A., **Teremranova, J.** “Vai Rīga ir vieda pilsēta?” ENERĢIJA & PASAULE, 1/2018, pp. 24–27.

2. Mutule, A., **Teremranova, J.** “Spēle kā viedo pilsētu transformācijas instruments”. REA edition, No. 35 2018, pp. 4–6.

Promocijas darba rezultāti bija prezentēti tiešsaistes ierakstā.

1. **Teremranova, J.**, Neniškis, E. “Fast energy transition and potential challenges in the Baltics”. Nordic Energy Research newsletter. 26 Oct 2021. <https://www.nordicenergy.org/article/fast-energy-transition-and-potential-challenges-in-the-baltics/>.

Promocijas darba apjoms un struktūra

Promocijas darbs uzrakstīts angļu valodā. Tajā ir ievads, piecas pamatnodaļas, secinājumi un izmantoto avotu saraksts ar 198 avotiem. Lappušu kopskaits ir 148, darbā iekļauti 59 attēli, 23 tabulas un trīs pielikumi.

Ievadā pamatota enerģijas patērētāju pieaugošā nozīme viedo pilsētu kontekstā, kas kļūst arvien lielāka, ņemot vērā pašreiz notiekošās klimata izmaiņas.

2. nodaļā apkopota vispārīga analīze par galalietotājiem un to struktūra, aprakstīta to spēja ietekmēt klimata un enerģētiskos mērķus, kā arī dots pārskats par likumdošanas aktiem, kas attiecas uz galalietotāju enerģijas patēriņu. Lai varētu izprast darbā izmantoto daudzlīmeņu pieeju galalietotāju ieguldījuma pētīšanai, tika prezentēta uz patērētāju centrēta daudzlīmeņu pieejas struktūra.

3. nodaļā apskatīta lēmumu pieņemšanas algoritma izveide energoapgādes, infrastruktūras un enerģijas plūsmu viedai vadībai pilsētas apstākļos. Nodaļā dots pārskats par pieejām viedas pilsētas enerģijas vides modelēšanai un attīstībai, kā arī šajā pārejā iesaistītajiem galalietotājiem; izvēlēti arī vērtēšanas kritēriji katras pieejas stipro un vājo pušu izprašanai.

4. nodaļa veltīta galalietotāju enerģētiskās uzvedības novērtējumam pilsētās, izmantojot viedo pilsētu aptauju. Izmantojot starptautisko projektu *ITCity*, tika analizēti specifiskie nosacījumi viedās enerģijas pilsētu izveidei ar iedzīvotājiem, kuri kļūst aktīvāki un zinošāki par energoefektivitāti, kā arī gatavāki ietaupīt enerģiju, un sistematizēti iegūtie secinājumi. Īpaša uzmanība veltīta Latvijas elektroenerģijas patērētāju vajadzību un zināšanu analīzei, to enerģētiskajai uzvedībai un pārejai uz dekarbonizētu un viedu pilsētu.

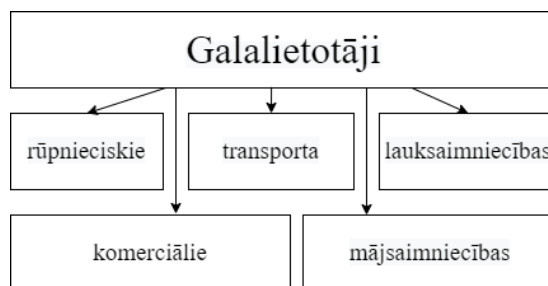
5. nodaļā veikta modelēšana Baltijas valstu energosistēmas pārejai klimata un enerģētikas mērķu virzienā, kā arī novērtējums par galalietotāju ietekmi uz dekarbonizācijas procesu. Izveidots 2030. gada atsauces scenārijs, lai ieviestu galvenās izmaiņas Baltijas sistēmā, un izstrādāti dažādi jutības scenāriji ēku sektora ietekmes novērtēšanai saistībā ar renovāciju un atjaunīgo energoavotu ieviešanu, izmantojot modernās tehnoloģijas.

6. nodaļa veltīta detalizētam pētījumam par dažādu galalietotāju grupu ietekmi uz elektrifikāciju un dekarbonizāciju, modelējot jaunu galalietotāju uzvedību virtuvēs un kopmītnēs.

Secinājumos dots promocijas darba kopējo rezultātu kopsavilkums.

2. ENERĢIJAS GALALIETOTĀJU ANALĪZE PILSĒTU ENERĢĒTISKAJĀ VIDĒ

Atkarībā no izpildītajām funkcijām, iespējām nodrošināt ārēju energoapgādes shēmu, patērētās elektroenerģijas un citas enerģijas apjoma un režīmiem, elektroenerģijas aprēķinam izmantotajiem tarifiem un sistēmām, kā arī elektroenerģijas izmantošanas noteikumu īpatnībām, enerģijas patērētāji parasti tiek iedalīti vairākās nosacītās grupās (2.1. att.).



2.1. att. Galalietotāju struktūra.

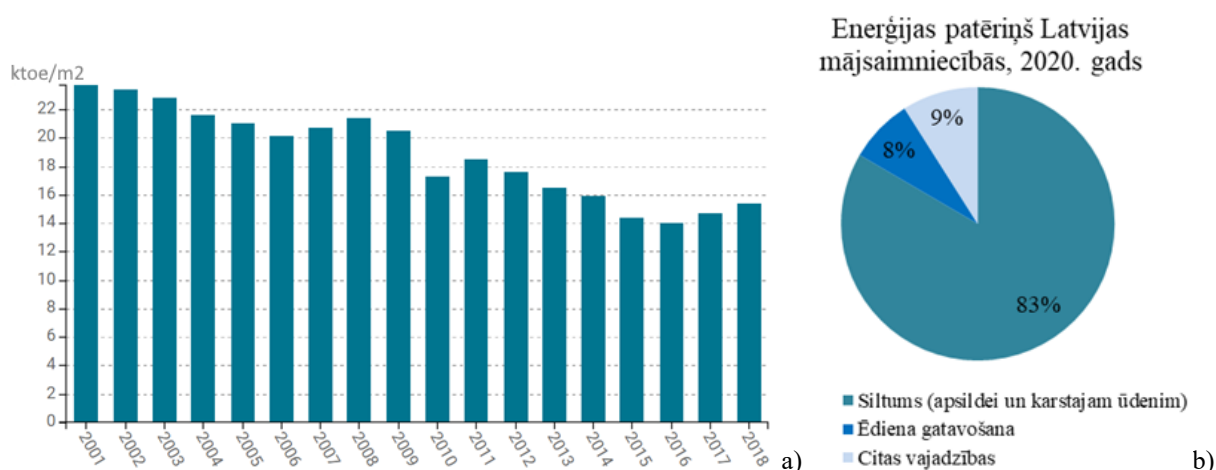
Rūpnieciskais, lauksaimniecības un transporta sektors ir cieši sasaistīti ar ieviestās ražošanas un izmantoto tehnoloģiju energointensitāti, tādēļ tos raksturo liela inerce pie straujām energoefektivitātes izmaiņām, savukārt komercsektors (kopā ar sabiedrisko sektoru) un īpaši mājsaimniecības daudz lielākā mērā ietekmē iepriekšminētos enerģētiskos un klimata mērķus. Tādēļ tika nolemts šī promocijas darba pētījumos koncentrēties uz mājsaimniecību un komercsektora patērētāju ietekmes pētīšanu un modelēšanu.

Eiropas Komisijas Ziemas dokumentu kopuma [10] priekšplānā ir **iedzīvotāji kā potenciālie aktīvie lietotāji** – ražotājlietotāji, kuri tiek stimulēti ražot, uzglabāt, patērēt un pārdot savu ģenerēto elektroenerģiju un siltumu visos organizētajos tirgos gan individuāli, gan arī ar agregatoru starpniecību. Ziemas dokumentu kopumā piedāvāta politika, kas ļaus ES līdz 2050. gadam sasniegt energoefektīvu un dekarbonizētu dzīvojamo fondu, izveidot investīcijām labvēlīgu vidi, savukārt patērētājiem un uzņēmumiem ļaus jēgpilni piedalīties politikas pasākumos, lai uzlabotu energosistēmas efektivitāti kopumā. Galalietotāji nozīmīgi ietekmē visus iepriekšminētos procesus, un ir nepieciešams analizēt, modelēt un novērtēt šo ieguldījumu pārejā uz viedu enerģiju. Tādēļ promocijas darba mērķis ir pētīt, cik liela var būt galalietotāju nozīme Latvijas un Baltijas enerģētiskajā pārejā uz ilgtspēju un cik lielā mērā galalietotāji var atbalstīt savu valsti, tai sastopoties ar izaicinājumiem enerģētikas un klimata jomā.

Mājsaimniecību sektora enerģijas patēriņš ir sasniedzis 23 % no kopējā enerģijas izmantošanas apjoma ES valstīs un turpina augt. Šī sektora ietekme uz enerģijas patēriņa samazinājumu ir kritiska, un tā noteikti ir saistīta ar iespējām sasniegt noteikto klimata mērķi. Saskaņā ar *Eurostat* datiem [11], Baltijas valstīs ir viens no augstākajiem procentiem enerģijas izmantošanā telpu apsildei: Igaunijā – 71,4 %, Lietuvā – 70,2 %, Latvijā – 65,8 % no kopējā dzīvojamā sektora patērētās enerģijas daudzuma 2019. gadā. Tas paver papildu iespējas dekarbonizācijai un zaļo energoresursu un inovāciju ieviešanai galalietotāju sektorā.

Kopumā ir redzama lēna pozitīva tendence samazināties siltuma patēriņam telpu apsildei (2.2. att.), taču, ņemot vērā, ka 83 % no Latvijas mājsaimniecību patērētajiem resursiem tiek izmantoti apsildei un karstajam ūdenim, jāsecina, ka ir neizmantots potenciāls mainīt kurināmo

uz videi draudzīgāku, kā arī samazināt siltuma patēriņu, kad tiek mainītas tehnoloģijas un patēriņa paradumi.

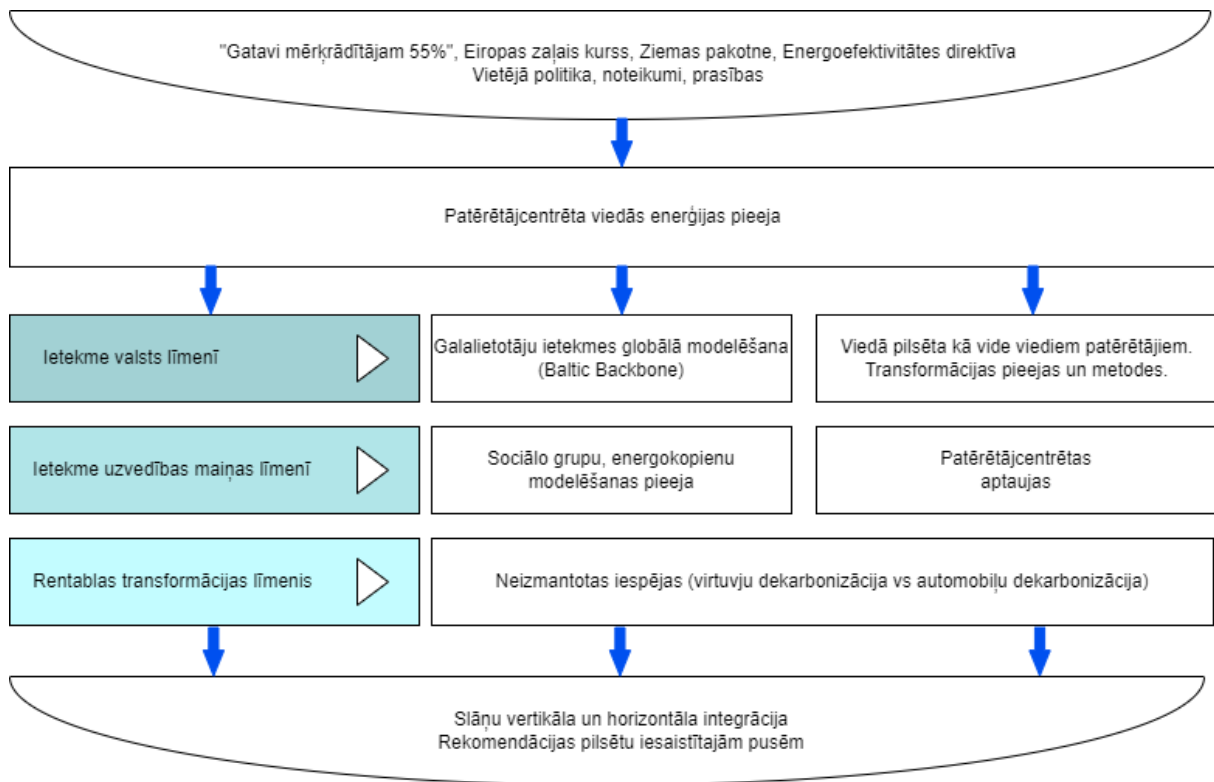


2.2. att. Enerģijas patēriņš telpu apsildei uz m² (normāls klimats) un energoresursu patēriņa tipi Latvijas mājāsaimniecībās (%). Avots: ODYSSEE [12] un Latvijas Centrālā statistikas pārvalde [13].

Lai precīzi noteiktu efektīvu veidu, kā ilgtermiņā samazināt enerģijas patēriņu enerģijas pakalpojumu sniegšanā, nepieciešams izpētīt daudzus ar patēriņu saistītus faktorus: jauno tehnoloģiju izmantošana; iedzīvotāju gatavība mainīt savus enerģijas patērišanas paradumus (energoefektivitāte); zināšanu līmenis attiecībā uz energoresursu patēriņa ietaupījumiem un pieejamajām jaunajām tehnoloģijām; finansiālās iespējas; iesaistes pakāpe valsts un pilsētas enerģijas un klimata mērķu sasniegšanā.

Vairums pasaules iedzīvotāju dzīvo pilsētās, turklāt līdz 2050. gadam šis procents var sasniegt 80 % no iedzīvotāju kopskaita pasaulē, tāpēc promocijas darbā nozīmīga vieta atvēlēta enerģētisko procesu viedai organizācijai pilsētās. Lai būtu iespējams izmērīt nepieciešamo tehnisko un uzvedības izmaiņu ietekmi, definēti vairāki uzdevumi: a) modelēt dekarbonizācijas scenārijus, pārejot uz jauniem veidiem un metodēm, kā galalietotāji patērē enerģiju, pilnībā vai daļēji aizstājot fosilos kurināmos ar jaunām tehnoloģijām; b) analizēt vispārīgās pieejas, kā tiek organizēta pilsēta kā viedās enerģijas pilsēta un kā vide dekarbonizācijas mērķu īstenošanai un patēriņa efektivitātes paaugstināšanai; c) apsvērt dekarbonizācijas iespējas atsevišķos sektoros, kuros patērētāju ietekmei var būt vislielākā nozīme; d) izstrādāt jaunas modelēšanas metodes enerģijas kopienai/galalietotāju grupai, kas ļaus izmantot viedo mērījumu rīkus, lai parādītu labumu, kādu var gūt no enerģētiskās uzvedības maiņas.

Lai izpētītu dekarbonizācijas iespējas izvēlētai galalietotāju daļai, par pamatu tika ņemta uz patērētāju centrēta vairāklīmeņu sistēma (2.3. att.).



2.3. att. Patērētājcentrēta vairāklīmeņu struktūra, lai pētītu galalietotāju ieguldījumu kopējā dekarbonizācijas mērķa sasniegšanā.

Piedāvātā struktūra ļauj atrast problēmas un to risinājumus dažādos slāņos (līmeņos), līdz ar to ir iespējams daudz pilnīgāk ietvert problēmu, kā arī lēmumu rezultātus.

3. LĒMUMU PIENĒMŠANAS PIEEJA

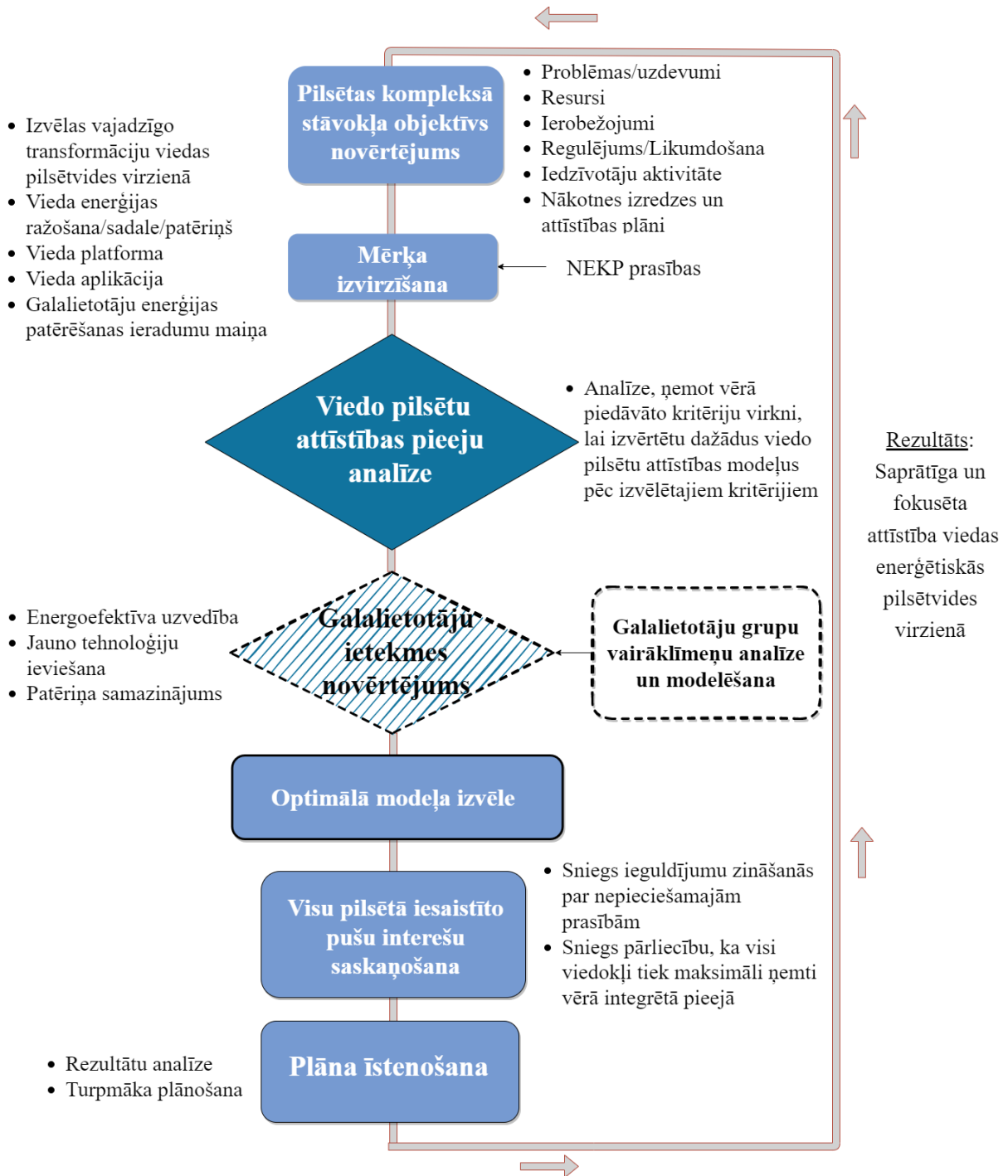
Viedā pilsētā vai vispār jebkurā pilsētā galalietotāji ir nozīmīga energosistēmas daļa, un katrs lietotājs spēj ietekmēt pilsētu savā unikālā veidā. Lietotāju uzvedība būtu jāskata kā korelācija starp zināšanām par enerģijas jautājumiem un izmaiņām enerģijas patēriņā. Lai pareizi modelētu paplašinātas lietotāja zināšanas, jārada ietekme uz enerģijas patēriņu. Nepilnīgi tiek saprasts ieguldījums, kādu dod katra dalībnieku grupa viedās pilsētas kā sistēmas attīstībā, kā arī **nav galalietotāju ietekmes mērīšanas metodoloģijas**. Dažādu pieeju pilsētvides infrastruktūrai pārpilnība, kā arī daudzās pieejas, kā interpretēt veidus, kā pilsēta var kļūt vieda un efektīva, neļauj skaidri izprast galalietotāju nozīmīgumu šajā procesā, kā arī izveidot metodoloģiju vai pieeju, kas varētu ievērojami uzlabot izpratni par galalietotāju lomu un to ieguldījumu pilsētai noteikto mērķu sasniegšanā.

3.1. tabulā apkopotas dažādas viedo pilsētu attīstīšanas metodes, sniedzot pārskatu par pieejām viedās pilsētu enerģijas vides modelēšanai un attīstībai, kā arī šajā pārejā iesaistītajiem galalietotājiem.

3.1. tabula
Pieejas viedo pilsētu attīstībai

Pieeja viedajām pilsētām	Apraksts	Avoti
Optimizācijas vai automatizācijas izmantošana atsevišķiem attīstības sektoriem	Viedās enerģijas risinājumi, lai atrisinātu atsevišķu pilsētas rajonu enerģētiskos jautājumus. Papildus tam tiek izmantotas darba pamatrādītāju (<i>key performance indicators, KPI</i>) kopas, kā arī pieejas, kas balstītas standartizācijā, inovatīvas informācijas tehnoloģijās balstītas pieejas, lai izveidotu piemērotu risinājumu	[14]; [15]; [16]
Viedā ilgtspēja (<i>Smartainability</i>)	Šajā pieejā tiek izmantoti kvalitatīvi un kvantitatīvi rādītāji, lai novērtētu tehnoloģijas intelektuālu risinājumu atrašanos, kas ir veidoti, lai uzlabotu energoefektivitāti un vides ilgtspēju pilsētā; vairāk koncentrējas uz integrētām intelektuālām mobilajām platformām	[17]; [18]; [19]
Jaunu pilsētu plānošana	Jaunu viedu rajonu vai pilsētas ar iepriekš izveidotu viedu enerģijas infrastruktūru (piem., 100 % atjaunīgu enerģijas avotu izmantošana, ēku apsilde/dzesēšana, tikai elektroauto izmantošana, sensoru izmantošana u. c.) plānošana un ieviešana, lai tālāk attīstītos un paplašinātos. Pieeja ņem vērā modernākās tehnoloģijas un prasības, lai nodrošinātu iedzīvotājiem vajadzīgo komforta līmeni un saudzētu vidi	[20]; [21]
Viedo pilsētu infrastruktūras arhitektūras modelis (<i>SCIAM</i>)	Vairāklīmeņu holistiska pieeja enerģijai viedā pilsētā; tā izmanto pilsētas enerģētiskās infrastruktūras sadalīšanu slāņos, līmeņos un zonās, ņemot vērā to mijiedarbību	[22]; [23]
Viedās enerģijas pilsētas (<i>smart energy city, SEC</i>) izveide	Viedā enerģētika tiek parādīta kā svarīgākais un nepieciešamākais aspekts viedas pilsētas veiksmīgā un ilgtspējīgā attīstībā	[24]; [25]; [26]; [27]
Enerģijas mezgla punkti (<i>energy hubs</i>), multienerģētikas sistēmas (<i>multi-energy systems</i>)	Viedās pilsētas izveide un darbība, radot t. s. enerģijas mezgla punktus, kuru mērķis ir elastīgi integrēt pilsētas dažādos energoresursus, lai panāktu efektīvāko, rentablāko un stabilāko resursu pārvaldības veidu	[28]; [29]; [30]; [31]; [32]; [33]; [34]
Blokķēdes	Apsver blokķēžu tehnoloģijas lietošanu viedās pilsētas kontekstā un enerģijas aspektā kā fokusētu uzdevumu, energoapgādes operācijām, mērot patērētās elektroenerģijas apjomu, izrakstot rēķinus par patērētajiem resursiem un veicot maksājumus	[35], [36]; [37]; [38]; [39]; [40]; [41]; [42]; [43]; [44]; [45], [46]
Taupīgā, sociālā viedā pilsēta	Jauna koncepcija viedajai pilsētai, piedāvāta Kasablankai Marokā. Tā balstās uz vispārēju augšupēju multidisciplināru pieeju, kas izmanto rentablu informatīvu un funkcionālu integrāciju starp dažādām sarežģītām pilsētas sistēmām, piem., enerģētika, transports, veselības aprūpe, pārvaldība utt.	[47], [48]
Platformizācija	Informācijas resursu kombinēšana attiecībā uz enerģijas ražošanu, pārvadi, sadali un lietošanu viedā pilsētā – parasti tie nav saistīti vienotā platformā; tādējādi tas ļauj vienkāršot un padarīt skaidrāku energoresursu kontroles un pārvaldības procesu gan iedzīvotājiem, gan arī pilsētas vadībai	[49], [50]; [51]; [52], [53]; [54]; [55]; [56]; [57]; [58]; [59]

Ņemot vērā iepriekš izklāstīto analīzi par pieejām pilsētvides attīstībai un kritēriju analīzi, autore izveidoja vispārīgu algoritmu viedas pilsētas enerģijas komponentes attīstībai (3.1. att.).



3.1. att. Lēmumu pieņemšanas algoritms attīstības metodoloģijas izvēlei viedā pilsētā.

Jāņem vērā, ka pašreiz šī algoritma vājākais posms ir cieša mijiedarbība ar galalietotājiem un vispusīgs novērtējums par viņu ieguldījumu enerģētiskās transformācijas procesā valstī vai reģionā.

Nodaļas secinājumi

Piedāvātajā lēmumu pieņemšanas algoritmā viedās pilsētas attīstības metodoloģijas izvēlei un blokshēmas blokā integrētajā pieejā tiks ņemti vērā visi rezultāti, kas iegūti, analizējot iespējas un resursus reģionā, kā arī šis algoritms un integrētā pieeja dos ieguldījumu labākās prakses uzkrāšanā un īstenošanā. Šis ir ceļš uz sekmīgu, kvalitatīvu ilgtermiņa virzību uz klimata un enerģijas mērķiem. Kalpojot kā vadlīnijas optimālā modeļa izvēlei, izvērtēšanas kritēriji viedās pilsētas attīstības modelim palīdz pilsētas vadībai, pilsētplānotājiem un iesaistītajām pusēm. Dzīvotspējīgākajam, efektīvākajam un stabilākajam viedās pilsētas modelim jābūt elastīgam un spējīgam pielāgoties resursiem un vajadzībām, kā arī jāņem vērā galalietotāju neapšaubāmi būtiskais ieguldījums pārejā uz bezoglekļa enerģētisko attīstību. Šāds uzticams modelis kopā ar labas kvalitātes novērtējumu, kur tiek izmantoti piedāvātie daudzfunkcionālie kritēriji, var apmierināt iedzīvotāju un citu pilsētas infrastruktūras dalībnieku ar jebkuru prasību līmeni un jebkuru pieejamo līdzekļu apjomu vajadzības, iegūto pozitīvo pieredzi iespējams izplatīt un pavairot citās pilsētās un reģionos.

Ņemot vērā to, ka mijiedarbības novērtējums un galalietotāju ietekmes modelēšana tika atzīti par vājāko un ievainojamāko posmu pilsētvides attīstībā, promocijas darba nākamajā daļā dziļāk izpētīta iedzīvotāju enerģētiskā uzvedība, lai identificētu tos uzskatus un paradumus, kas neļauj strauji īstenot klimata plānus.

4. VIEDO PILSĒTU APTAUJAS IZVEIDE

Šis promocijas darba daļas mērķis ir noskaidrot, kādā pakāpē intelektuālo risinājumu izplatīšana un lietošana enerģētikas nozarē ir atkarīga no personas lēmuma tos izmantot vai neizmanto, kā arī atrast efektīvu motivāciju Eiropas un Latīņamerikas pilsētu iedzīvotājiem, kas ļaus viņiem mainīt pastāvošo situāciju uz dinamiskāku, progresīvāku, energotaupīgāku un uz viedumu virzītu. Lai pētītu šo problēmu, tika veikts pētījums šādās valstīs: Latvijā, Rumānijā, Brazīlijā un Čīlē. Respondenti bija dažāda vecuma iedzīvotāji ar dažādu labklājības līmeni un dažādu kultūras un lingvistisko raksturojumu.

Respondentiem tika anonīmi jautāts, vai viņi zina par viediem risinājumiem un iniciatīvām viedās pilsētās, vai viņi zina, vai tādas ir jebkad tikušas izmantotas; kādā mērā viņi uzticas energoefektīviem risinājumiem, cik lielu naudas summu viņi būtu gatavi investēt enerģiju taupošās tehnoloģijās un kura no piedāvātajām iespējām viņus motivē visvairāk. Aptaujas rezultāti apkopoti 4.1. tabulā.

4.1. tabula

Aptaujas rezultāti: atšķirīgais un kopīgais

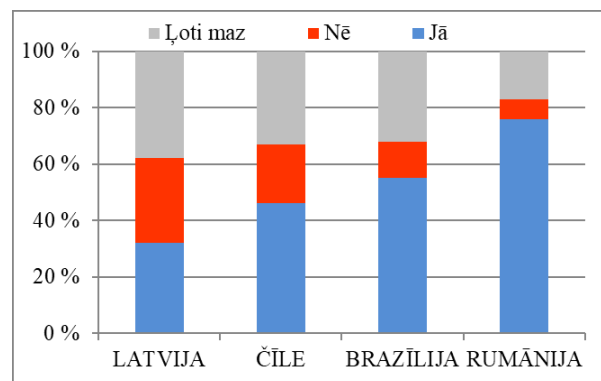
Kopīgās iezīmes
Aptauja parādīja, ka visu iesaistīto valstu iedzīvotājiem bija maz zināšanu par to, kas ir viedā pilsēta un kāda veida viedās iniciatīvas ir īstenotas pilsētās, kurās viņi dzīvo. Gandrīz visi respondenti ir ieinteresēti enerģijas taupīšanā. Vispopulārākā attieksme bija šāda: "Es zinu par enerģiju taupošām tehnoloģijām un mazliet tās izmantoju". Savukārt ap 80 % respondentu pieņem automātisku enerģiju taupošu ierīču ieviešanu, ap 20 % dod priekšroku enerģijas patēriņa manuālai regulēšanai. Absolūtais vairākums uzskata, ka ir svarīgi viņu mājokļos izmantot modernās tehnoloģijas.

Atšķirīgās iezīmes
Dažādās valstīs atšķiras izplatītākās motivācijas, kas mudina cilvēkus vairāk lietot enerģiju taupošas tehnoloģijas: respondenti Čīlē un Rumānijā vispirms cenšas saglabāt dabas resursus, kas viņiem jau ir, izplatītākā atbilde par motivāciju izmantot jaunas tehnoloģijas bija "izpratne par to, ka es saglabāšu dabas resursus saviem bērniem", savukārt respondenti Brazīlijā un Latvijā bija pragmatiskāki, vispirmām kārtām atzīmējot "spilgti prezentētos enerģijas un finansiālos ietaupījumus".

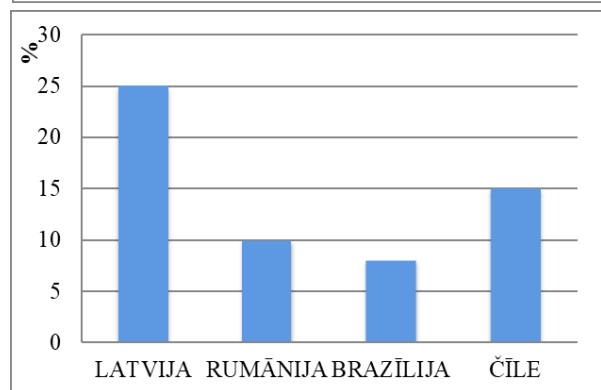
Rezultāti un to apspriešana

Aptauja parādīja (4.1. a att.), ka Rumānijas iedzīvotāji ir informētāki par to, kas ir viedā pilsēta un kādas iniciatīvas pilsētas vieduma paaugstināšanā tiek īstenotas viņu pilsētā (76 % atbildēja, ka viņi zina par to). Brazīlijā un Čīlē šis procents bija zemāks (ap 50 %), viszemākais procents tika atzīmēts Latvijā – 32 %.

Lai gan tieši Latvijā vērojamas visdaudzveidīgākās iespējas izvēlēties energoresursu pārvaldību un enerģijas taupīšanu, jāatzīst, ka tieši šeit iedzīvotāju zināšanu līmenis par šīm iespējām ir viszemākais – ap 25 % nezina neko par iespējām šajā jomā (4.1. b att.). Acīmredzami ir vajadzīgi padziļināti pētījumi, lai noskaidrotu, kā motivēt cilvēkus būt aktīvākiem attiecībā uz viņu rīcībā esošo energoresursu pārvaldību.



a)



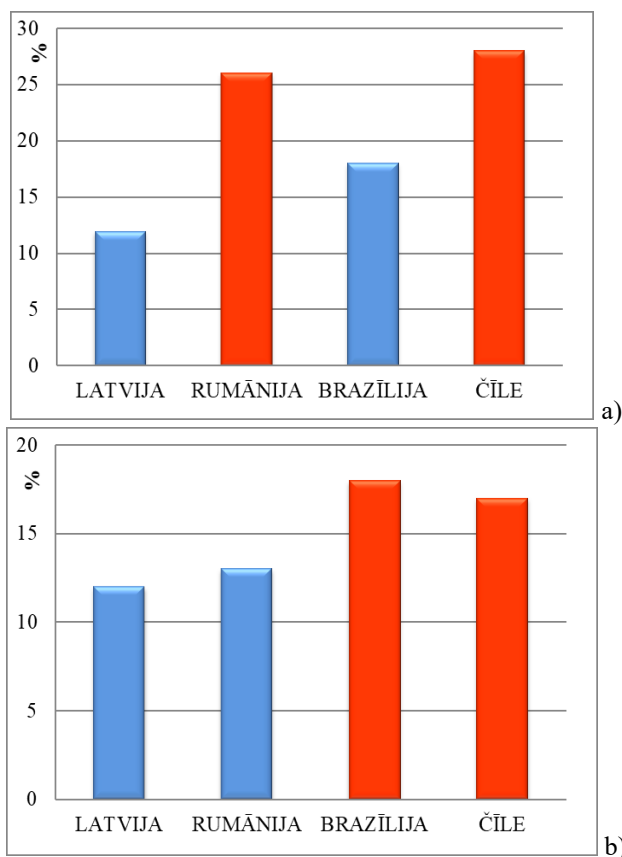
b)

4.1. att. a) Iedzīvotāju zināšanas par viedajām iniciatīvām viņu pilsētā; b) iedzīvotāju zināšanas par enerģijas taupīšanas iespējām, kas pieejamas viņu valstī: iedzīvotāju procents, kuri nezina neko par iespēju mainīt savu enerģijas patēriņa režīmu uz efektīvāku.

Tas kalpos kā impulss iedzīvotājiem mainīt savu vecmodīgo domāšanas paradigmu un kļūt gataviem sadarboties, pievērsties viedam patēriņam un pat enerģijas ražošanai. Tas uzreiz nenozīmē, ka Latvijā nav informācijas par šādām iespējām vai tās ir maz. Iemesls drīzāk ir iedzīvotāju pārmērīgais konservatīvisms un neuzticēšanās, kā arī piemērotu saziņas kanālu izvēles problēma, lai informētu cilvēkus par enerģiju taupošām tehnoloģijām un motivētu viņus; šeit šādas informācijas izplatīšanas metodei ir izšķiroša nozīme.

Čīles valdība pievērš lielu uzmanību enerģijas ražošanas procesā iesaistīto varas iestāžu, iedzīvotāju un uzņēmumu mijiedarbībai, lai to pastiprinātu un paplašinātu iedzīvotāju zināšanas par enerģijas patērišanu, ražošanu un taupīšanu, kā arī jauno tehnoloģiju izmantošanu. Rezultāts redzams 4.2. attēlā, kas rāda, ka čīlieši lielā mērā ir gatavi pārmaiņām, kas attiecas uz iespējamību mainīt enerģijas patēriņa un regulēšanas režīmu uz energoefektīvāku, kā arī gatavību piedalīties mobilajā lietotnē, apgūstot enerģijas taupīšanas un patērēto resursu regulēšanas principus ar spēles palīdzību.

No otras puses, izvēlēto valstu iedzīvotāju atšķirīgo motivāciju var izskaidrot ar elektroenerģijas cenu atšķirībām. Piemēram, Rumānijas iedzīvotājiem princips saglabāt valsts resursus nākamajām paaudzēm ir svarīgāks par finansiālo ietaupījumu, jo, ņemot vērā zemu elektroenerģijas cenu, resursu taupīšana ievērojami nepalielinās majsaimniecību budžetu. Savukārt Latvijā un Brazīlijā iedzīvotāji ir vairāk norūpējušies par savu elektrības rēķinu un attiecīgi arī par iespēju to samazināt.



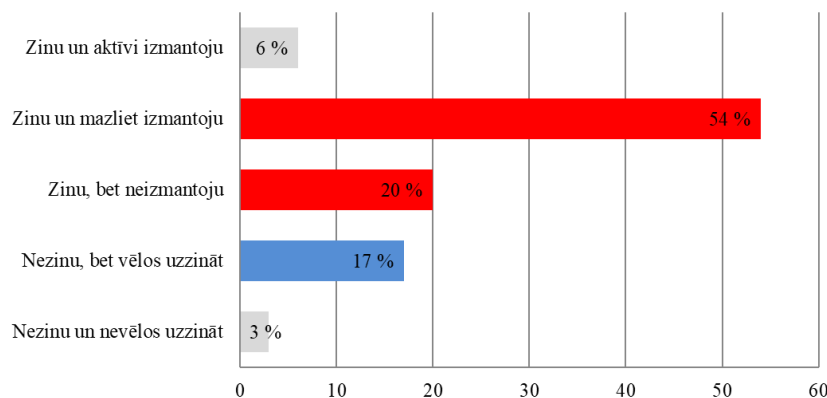
4.2. att. Eiropas un Latīņamerikas iedzīvotāju gatavība mainīt savus enerģijas patērišanas paradumus: a) iedzīvotāju procents, kas gatavi mainīt savu enerģijas patērišanas veidu; b) iedzīvotāju procents, kas gatavi izmantot mobilo lietotni, lai iepazītos ar enerģiju taupošu uzvedību.

Tādējādi šiem jautājumiem būtu jābūt par pamatu izglītojošiem un informējošiem pasākumiem, kas orientēti uz šo valstu iedzīvotājiem. Nozīmīga ietekme ir arī “zaļās” enerģijas atbalsta politikai, un tas būtu jāņem vērā.

Saskaņā ar *Lattelecom* Latvijā veiktajiem tirgus pētījumiem [65], par spīti tam, ka elektroenerģijas tirgus Latvijā tika atvērts 2015. gada 1. janvārī, pašlaik 97 % māsaimniecību Latvijā izmanto galvenā tirgotāja pakalpojumus, un tikai 3 % no iedzīvotājiem izmanto jaunas iespējas, kā samazināt enerģijas patēriņa izmaksas, mainot patēriņa tarifu un/vai tirgotāju.

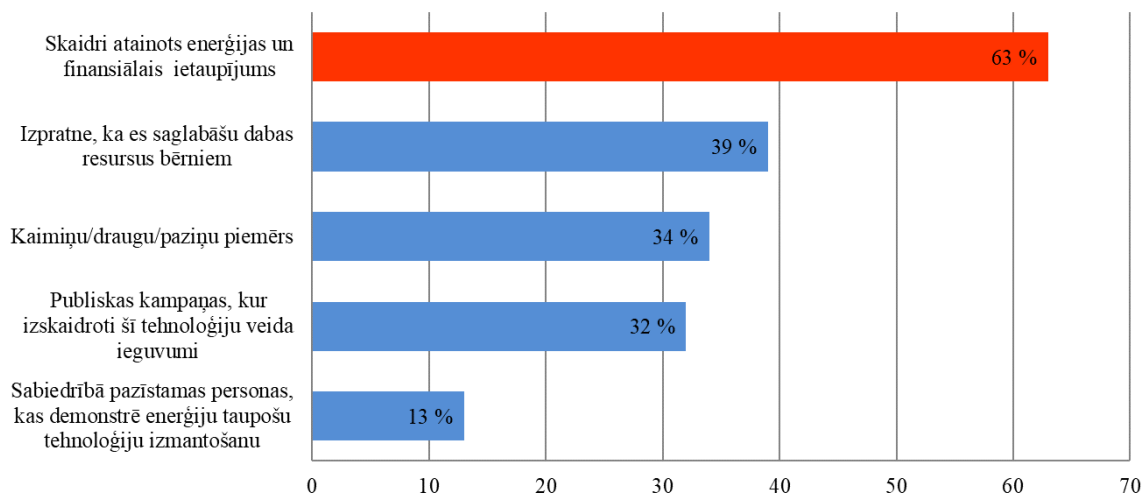
Bez tam efektīva mijiedarbība ar patērētājiem ir izšķiroši svarīga elektroenerģijas piegādātājam [66], kurš uzstāda viedos skaitītājus un sistēmas un ietver atšķirīgu enerģijas patēriņa tarifu izmantošanu, ieskaitot dinamisko tarifu, t. i., mainīgu cenu katru mēnesi saskaņā ar cenu elektroenerģijas biržā. Parasti patērētājiem nav pieredzes vai ir neliela pieredze mijiedarbībā ar viediem skaitītājiem, to sniegtajiem ikstundas datiem un enerģijas patēriņa regulēšanu savā māsaimniecībā. Daži komunālie dienesti ievieš jaunus laika tarifus, piemēram, dinamisko tarifu, t. i., katru mēnesi atšķirīga cena saskaņā ar cenu elektroenerģijas biržā, slodžu pārvaldību, kā arī citas uz lietotāju orientētas programmas, kas palīdz viņiem izpētīt savus enerģijas patērišanas modeļus, saprast, kā programmas ietekmēs tarifus, un pieņemt pamatotus lēmumus attiecībā uz enerģijas izmantošanu un regulēšanu. Šīs programmas ir efektīvas vienīgi tad, ja klientiem ir laba izpratne par izmaksām, peļņu un piedāvājuma vērtību un viņi gatavi aktīvi piedalīties sava enerģijas patēriņa un izdevumu pārvaldībā.

No Latvijas iedzīvotājiem iegūtie dati atspoguļo nepietiekamu informētības līmeni attiecībā uz iniciatīvām, kas saistītas ar viedo tehnoloģiju ieviešanu viedā pilsētā. Respondentiem tika jautāts, kāda ir viņu attieksme pret enerģiju taupošām tehnoloģijām. Viņu atbildes uzrāda zināšanu līmeni, kāds pašlaik ir Latvijā (4.3. att.). 74 % (ar sarkanu atzīmētās grupas) atbildēja, ka ir informēti par enerģiju taupošām tehnoloģijām, taču nelieto tās vai arī lieto maz. Strādājot ar šiem klientiem, ir izšķiroši svarīgi noskaidrot iemeslus, kādēļ klients atsakās mēģināt izmantot viedās tehnoloģijas. Diezgan bieži galvenais ir neuzticība un/vai vēlme saglabāt ierasto dzīvesveidu un patēriņa paradumus; mazliet mazāk par piektdaļu iedzīvotāju nezina par enerģijas taupīšanu, bet vēlas par to uzzināt. Šajā gadījumā ir svarīgi tālāk pētīt veidus, kā cilvēki izmanto informāciju, un to, kādi avoti būtu jāizmanto, lai apmainītos ar informāciju un komunicētu ar viņiem. Jauniem cilvēkiem vispiemērotākās būtu mobilās lietotnes un informācija sociālajos tīklos, savukārt pusmūža un vecākiem cilvēkiem izšķiroša loma būtu personiskajam kontaktam.



4.3. att. Respondentu attieksme pret enerģiju taupošām tehnoloģijām Latvijā.

Jautājums par Latvijas iedzīvotāju motivāciju izmantot enerģiju taupošas tehnoloģijas (4.4. att.) ir diezgan interesants un nozīmīgs (respondentiem bija iespēja atzīmēt vairākas izvēles, kas ir viņiem tuvas un motivējošas. Pārlicinošs respondentu vairākums, t. i., 63 %, ir droši, ka viņi iegūtu no spilgti atainotiem enerģijas un finanšu ietaupījumiem; 39 % respondentu ir svarīgi veicināt vides saglabāšanu saviem bērniem.



4.4. att. Motivācija izmantot enerģiju taupošas tehnoloģijas. Uzdots jautājums: “Kas pamudinātu Jūs biežāk izmantot enerģiju taupošas tehnoloģijas?”.

Aptaujas gaitā autore ir pētījusi arī Latvijas iedzīvotāju uztveres stereotipus attiecībā uz jaunām enerģijas regulēšanas un taupīšanas iespējām, piemēram, gatavību mainīt pakalpojumu sniedzēju vai pārslēgties uz citu enerģijas patēriņa un apmaksas režīmu, kā arī vēlmi un gatavību modelēt savu patēriņu, izmantojot mobilās lietotnes ar spēles elementiem (4.5. att.).



4.5. att. Gatavība izvēlēties citu elektroenerģijas patēriņa režīmu: “Kādas ir Jūsu domas par cita elektroenerģijas patēriņa režīma izvēli, lai ietaupītu resursus un finanšu līdzekļus?”.

Kopumā aptaujas rezultāti rāda, ka Latvijas iedzīvotāju zināšanas par viedu pilsētu veidošanu nav sevišķi lielas. Daudzi nevēlas izmantot jaunas iespējas un tehnoloģijas, kas ļauj būt energoefektīvākiem resursu patēriņa ziņā. Konservatīvisms un nevēlēšanās zaudēt pašreizējo komforta līmeni liek viņiem turpināt izmantot bieži finansiāli neizdevīgus patēriņa nosacījumus, bet informācijas trūkums neveicina zināšanu paplašināšanos par šo tēmu.

Nodaļas secinājumi

Latvijas, Rumānijas, Čīles un Brazīlijas pilsētās veiktie pētījumi ir atklājuši lielu atšķirību starp iedzīvotāju teorētiskajām zināšanām attiecībā uz jaunām enerģijas patēriņa tehnoloģijām un inovāciju praktisko apguvi un izmantošanu ikdienas dzīvē. Vidēji dažādu pilsētu pieaugušo iedzīvotāju skaits, kuriem ir zināšanas par viedajiem risinājumiem, ir divas reizes lielāks nekā viedo risinājumu lietotāju skaits. Turklāt risinājumi, kas ļauj piemērot digitālas tehnoloģijas pastāvošiem plaši izplatītiem procesiem, iegūst lielāku popularitāti nekā tie, kas prasa mainīt pastāvošos uzvedības stereotipus. Parasti patērētājiem ir neliela pieredze vai arī nav pieredzes mijiedarbībā ar viedajiem skaitītājiem, to sniegtajiem ikstundas datiem un enerģijas patēriņa pārvaldībā savā mājāsaimniecībā.

Ņemot vērā veikto analīzi, ir jāizstrādā noteikti pasākumi, kas motivē un stimulē energoresursu pasīvo patērētāju pārveidi par aktīviem patērētājiem un/vai ražotājlietotājiem. Jaunajām tehnoloģijām un praktiskajiem risinājumiem, kas parādās tirgū, būtu jāietver zināšanas par uzvedības modeli, kāds ir konkrētā reģiona iedzīvotājiem, kā arī iespējamie veidi, kā mainīt videi nedraudzīgu uzvedību, balstoties atklātajās likumsakarībās.

Kā liecina aptaujas rezultāti par viedajām pilsētām, atbildīgāka enerģijas patērēšana un viedāka enerģijas izmantošana ir viens no primārajiem viedās enerģijas pilsētu attīstības uzdevumiem. Patērētāji dod ievērojamu ieguldījumu elastības sasniegšanā energosistēmās, mainot enerģijas patēriņa apjomu un metodi, kas var palīdzēt palielināt visas energosistēmas stabilitāti un samazināt sistēmas slodzi maksimumstundās.

Tomēr, kā rāda veiktie pētījumi, daudzi cilvēki labprāt vēlas uzzināt ko vairāk, viņiem ir svarīgi redzēt un paplašināt vispārējo ainu par to, kas notiek enerģijas tirgū, lai spētu aktīvi piedalīties lēmumu pieņemšanā. Tas ļautu panākt efektīvāku resursu patēriņu ne vien individuāli, bet arī valsts un reģionu līmenī. Tam ir nepieciešams aprēķināt galalietotāju ieguldījumu dekarbonizācijā, efektivitātē, noturībā un ilgtspējā valsts un reģionālā līmenī, modelējot scenārijus, kas maksimizē aktīvo galalietotāju vēl līdz galam nerealizēto potenciālu. Nākamajā nodaļā pētīts šis potenciāls, modelējot dekarbonizācijas scenārijus Baltijas reģionā ar īpašu uzsvāri uz Latviju.

5. ENERGOSISTĒMAS PĀREJAS MODELĒŠANA

Lai modelētu galalietotāju ietekmi uz kopējo energosistēmu, modelēšanas sistēmai jāietver modelēšanas sistēmu apkopojums no dažādajām grupām, kas minētas iepriekš. Tas nozīmē, ka vajadzīgajam uzdevumam nepieciešams izvēlēties vairāksektoru, elastīgu, vairāklīmeņu pieeju. Ievērojot izklāstītos izaicinājumus, kā vispiemērotākais šīs promocijas darba nodaļas uzdevumu risināšanai tika izvēlēts modelēšanas rīks *Backbone*. Satvaru *Backbone* izstrādājis tehniskās pētniecības centrs “VTT” Somijā, tas ir detalizēti aprakstīts [67]. *Backbone* ļauj

modelēt savienotu energosistēmu, kombinējot dažādus sektorus (ieskaitot detalizētu ēku sektoru, kas interesē promocijas darba autori) un reģionus ar ikstundas laika izšķirtspēju, modelējot dažādus dekarbonizācijas ceļus, ņemot vērā mainīgo stohastisko uzvedību.

Tādēļ šīs promocijas darba nodaļas uzdevumi, kas risināmi ar modelēšanas satvaru *Backbone*, ir šādi: (a) identificēt Latvijas un Baltijas valstu ēku sektora potenciālu attiecībā uz 2030. gadu ceļā uz dekarbonizācijas mērķi 2050. gadā; (b) noteikt izmaiņas, kādas nepieciešamas ēku sektora enerģijas patēriņam (galalietotāju) enerģētiskajā uzvedībā; (c) modelēt ietekmi, kāda būtu jaunu tehnoloģiju ieviešanai šajā sektorā. Lai ietvertu šos uzdevumus, izstrādāti dažādi ēku fonda enerģētiskās modelēšanas scenāriji, izmantojot *Backbone* modeli, lai atrastu rentablus veidus, kā apmierināt visas vajadzības. Šajā promocijas darba daļā galvenokārt analizētas ēku sektora ietekme (kas ietver galalietotājus – iedzīvotājus un komerciālos galalietotājus) uz Baltijas energosistēmas dekarbonizāciju, ievērojot mērķvērtības, kādas noteiktas nacionālajos klimata un enerģijas plānos un ES Klimata un enerģijas satvarā.

5.1. Baltijas energosistēmas transformācijas modelēšana

Modeļa mērķa funkcija ietver energosistēmas gada izmaksu minimizāciju un šādus parametrus:

$$v^{obj} = \sum_{f,t \in FT} p_{f,t}^{prob} x (v_{f,t}^{vomCost} + v_{f,t}^{fuelCost}) + v^{stateValue} + v^{fomCost} + v^{unitInvestCost} + v^{lineInvestCost}, \quad (5.1)$$

kur $p_{f,t}^{prob}$ – intervāla f,t varbūtība vai svars; $v_{f,t}^{vomCost}$ – mainīgās ekspluatācijas un apkopes izmaksas; $v_{f,t}^{fuelCost}$ – kurināmā un emisiju izmaksas; $v^{stateValue}$ – stāvokļa maiņas vērtība; $v^{fomCost}$ – nemainīgās ekspluatācijas un apkopes izmaksas; $v^{unitInvestCost}$ – vienības investīciju izmaksas; $v^{lineInvestCost}$ – pārvades līniju (investīcijas tīklā) izmaksas.

Visi sektori tiek optimizēti vienlaikus, darbojoties visu gadu ar ikstundas laika izšķirtspēju, lai minimizētu kopējās gada sistēmas izmaksas. Modelēšanas rezultāti ietver ražošanas, pārvades, jaudas vērtības, izmaksas, CO₂ emisijas, atjaunīgo enerģijas avotu daļu, enerģijas drošības rādītājus gada un stundas perspektīvā. Modelis ir labi piemērots, lai analizētu scenārijus gan veselām energosistēmām, gan arī atsevišķiem reģioniem un sektoriem. Detalizētāks parametru un ierobežojumu apraksts atrodams [67].

Lai modelētu un analizētu Baltijas energosistēmas pāreju uz klimatneitralitāti, tika izveidota atvērtā pirmkoda datu kopa un uz modelēšanas satvara *Backbone* bāzes izstrādāts modelis *Baltic Backbone*. Modelis ir izstrādāts sistēmā *GAMS* (angļu val. – *General Algebraic Modelling System*) un ļauj iesaistīt vairākus sektorus un reģionus ar atšķirīgu detalizācijas pakāpi. Modelis *Baltic Backbone* un izmantotā datu kopa ir aprakstīta un brīvi pieejama *GitLab* [68].

Modelis *Baltic Backbone* ir pārbaudīts un apstiprināts vēsturisko datu bāzes pētījumu projektos “*FasTen*: Baltijas valstu ātra, elastīga un droša dekarbonizācija – iespējamā virzība nākamajos desmit gados” (2020–2021) un “*Amber*: Ambiciozas enerģētiskās politikas pieejas ietekme” (2021–2022), ko finansējusi organizācijas *Nordic Energy Research* Baltijas un Ziemeļvalstu Enerģētiskās pētījumu programma. Modelis *Baltic Backbone* izveidots, izmantojot modelēšanas satvaru *Backbone*.

Scenārija modelēšanai tika nolemts atainot elektrotīklu ar Igaunijas, Latvijas un Lietuvas elektrotīkliem un to pārrobežu savienojumiem ar Somiju, Zviedriju, Poliju, Krieviju un Baltkrieviju. Centralizētajai siltumapgādei tika nolemts sadalīt katru valsti divos apgabalos: galvaspilsēta un visu pārējo reģionu kopums. Lai detalizētāk modelētu ēku enerģijas izmantojumu, tika izvēlēts tas pats sadalījums starp galvaspilsētu un pārējo valsti.

Modelis darbojas ar stundas laika soli ar pārvirzāmu horizontu, izmantojot lineāro optimizāciju. Tas uzskata enerģētiskās vienības par dotiem resursiem un optimizē to ikgadējo un ikstundas izmantošanu, lai minimizētu kopējās gada sistēmas izmaksas, tajā pašā laikā uzturot piedāvājuma un pieprasījuma līdzsvaru, prasības attiecībā uz rezervi un citus fiksētus ierobežojumus. Galvenie parametri, kas modelēti elektroenerģijai un centralizētajai siltumapgādei 2030. gadam, apkopoti 5.1. tabulā.

5.1. tabula

Kopsavilkums par modelēto elektroenerģijas un centralizētās siltumapgādes slodzi pa valstīm 2017. gadā un izmaiņas 2030. gadā

	Slodze gadā [GWh]					
	Igaunija		Latvija		Lietuva	
	2017	2030	2017	2030	2017	2030
Elektroenerģija	7736	+7 %	6485	+9 %	10730	+6 %
..Transports	46	+168 %	104	+67 %	74	+209 %
..Ēkas	4656	0 %	4423	0 %	6145	0 %
..Citi	3034	+16 %	1958	+26 %	4511	+11 %
Centralizētā siltumapgāde	4602	-10 %	7034	-10 %	10817	-19 %
..Ēkas	3812	-10 %	5986	-10 %	7873	-22 %
..Citi	790	-10 %	1048	-10 %	2944	-11 %

Valsts līmeņa aplēses un citas prognozes paredz, ka no 2017. līdz 2030. gadam siltumapgādes un karstā ūdens slodze ēku sektorā samazināsies par 10 %. Tas samazinātu fosilā kurināmā un centralizētās siltumapgādes izmantojumu. Paredzams, ka siltumsūkņu skaits Baltijā pieaugs no 160 000 2017. gadā (0,6 TWh) līdz 300 000 2030. gadā (1,1 TWh). Kopā šie faktori samazina fosilā kurināmā, biomasas un centralizētās siltumapgādes izmantojumu ēku sektorā. Ņemot vērā valsts līmeņa aplēses, paredzams, ka kopējā centralizētās siltumapgādes slodze ēku sektorā samazināsies par 10 % Igaunijā un Latvijā un par 22 % Lietuvā. Izmaiņas, kādas pieņemam fosilā kurināmā izmantojumā, balstītas [69].

2017. un 2030. gada atsauces scenāriju modelēšana: izmaiņas enerģijas ražošanas un patēriņa ainā

Modeļa *Baltic Backbone* validācijai tika izvēlēti 2017. gada dati. Atšķirības starp statistiskajiem datiem un modelēšanas rezultātiem ir relatīvi nelielas, un modelis tika uzskatīts par pietiekami kalibrētu un piemērotu veicamajai analīzei.

2030. gada atsauces scenārijs izveidots, lai ieviestu galvenās izmaiņas Baltijas enerģosistēmā. Te ietilpst atjaunīgie enerģijas avoti, kas aizstāj fosilo kurināmo, kā arī atspoguļots kopējā enerģijas apjoma samazinājums Igaunijā, Latvijā un Lietuvā; galvenās izmaiņas, kas apkopotas 5.2. tabulā, balstās nacionālā enerģijas un klimata plāna mērķvērtībās un ekspertu viedokļos.

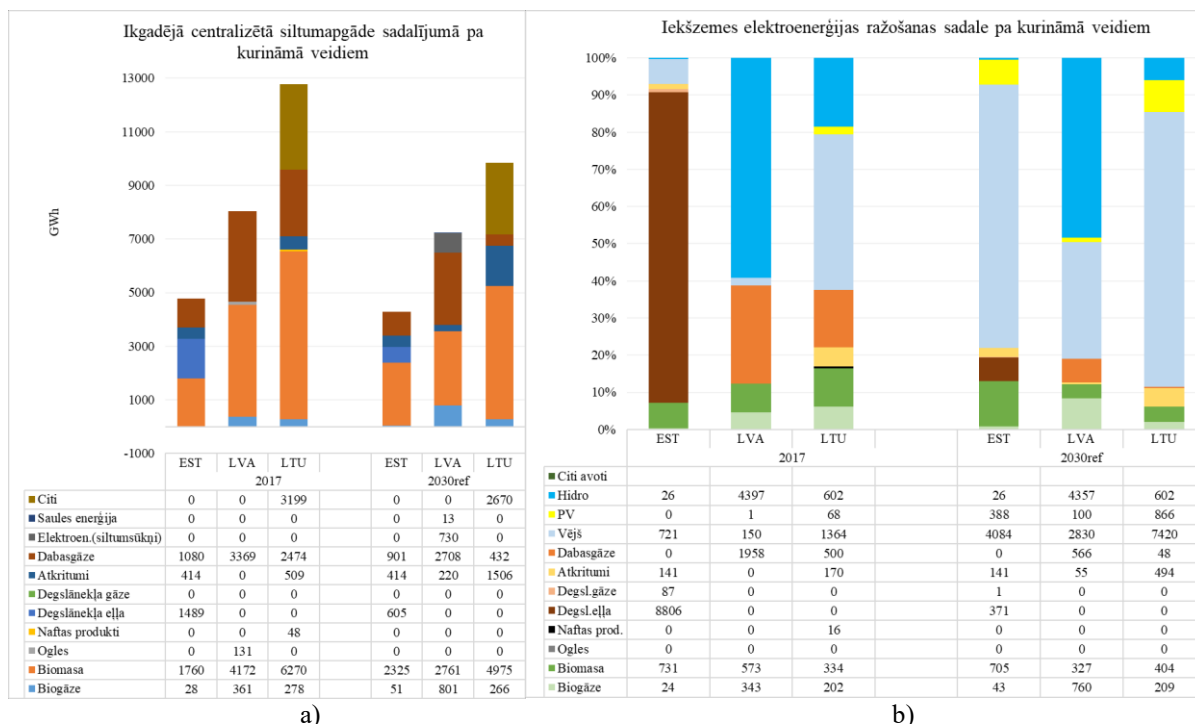
5.2. tabula

Pieņēmumi par galvenajām enerģijas patēriņa izmaiņām no 2017. gada uz 2030. gada atsaucēs scenāriju

	EST	LVA	LTU
Ogles	-75 %	-75 %	-50 %
Nafta un naftas produkti	-40 %	-40 %	-35 %
Dabaszāze	-10 %	-10 %	-5 %
Biomasa	-15 %	-8 %	0 %
Elektroenerģija	0 %	0 %	0 %
Centralizētā siltumapgāde	-10 %	-10 %	-22 %
Apsilde un karstais ūdens	-10 %	-10 %	-10 %
Siltumsūkņu (SS) skaits	225 000	20 000	60 000
SS saražotā enerģija (GWh)	0,81	0,07	0,21
Dzīvojamā sektora SS daļa	0,9	0,9	0,9
Komercsektora SS daļa	0,1	0,1	0,1
Ieviestā fotoelektrisko tehnoloģiju jauda, MW	415	107	895

Kā redzams 5.2. tabulā, degslānekļa ģenerācijas jaudu atslēgšana Igaunijā, fosilā kurināmā aizstāšana visās valstīs ar vēja un saules enerģiju un ar siltumsūkņiem, kā arī atslēgšanās no *BRELL* rada ievērojamas izmaiņas elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanā, eksportā/importā un atjaunīgo resursu proporcijā no vietējās ģenerācijas.

Samazinājums fosilā kurināmā izmantošanā un tā aizstāšana ar “zaļo” enerģiju dod ievērojamu emisiju samazinājumu 2030. gadā (11,011 kt CO₂ emisiju tirdzniecības shēmā (ETS) un 61 kt CO₂ sektoriem, kas neietilpst ETS). Galvenie 2030. gada atsaucēs scenārija rezultāti redzami 5.1. attēlā.



5.1. att. a) Ikgadējā centralizētā siltumapgāde sadalījumā pa kurināmā veidiem; b) valstu iekšzemes elektroenerģijas ražošanas proporcijas sadalījumā pa kurināmā veidiem (%).

Iekšzemes elektroenerģijas ražošanas proporcija no atjaunīgajiem avotiem pieaug, un tas saskan ar nacionālajiem enerģētikas plāniem. Tomēr kopumā Baltijas valstis joprojām paliek atkarīgas no importa; pārtraukumainajiem atjaunīgajiem enerģijas avotiem joprojām ir nepieciešama papildu balansēšanas jauda; joprojām vērojama nepietiekama siltumapgādes dekarbonizācija un galalietotāju elektrifikācija. Lai noteiktu ēku sektora iespējamo ietekmi uz Baltijas energosistēmas dekarbonizāciju, nepieciešams veikt jutības analīzi, mainot galvenos mainīgos un veicot modelēšanu.

Izstrādāto scenāriju jutības analīze

Lai izpētītu galalietotāju enerģētiskās uzvedības iespējamo ietekmi uz izmaiņām kopējā Baltijas valstu energosistēmā un novērtētu to skaitliskās vērtībās, ir izveidoti vairāki scenāriji (5.3. tab.).

Ēku sektora modelēšanai ieviestie scenāriji

Scenārijs	Apraksts
<i>2030ref</i>	-10 % centralizētās siltumapgādes lietojuma, salīdzinot ar 2017. gadu (centralizētās siltumapgādes sistēmas lietderības koeficienta pieaugums, sāka ēku atjaunošana)
<i>2030ref_lowDH1</i>	-25 % centralizētās siltumapgādes lietojuma, salīdzinot ar 2017. gadu (ēku atjaunošana)
<i>2030ref_lowDH2</i>	-45% centralizētās siltumapgādes lietojuma, salīdzinot ar 2017. gadu (dziļa ēku renovācija, liela mēroga centralizētās siltumapgādes siltumsūkņu ieviešana)
<i>2030ref_locHP1</i>	+200 GW enerģijas, kas saražota ar lokāliem siltumsūkņiem (salīdzinot ar <i>2030ref</i>), katrai valstij
<i>2030ref_locHP2</i>	+500 GW enerģijas, kas saražota ar lokāliem siltumsūkņiem (salīdzinot ar <i>2030ref</i>) katrai valstij
<i>2030_PV_Eps</i>	Netiek pievienotas jaunas fotoelektrisko iekārtu jaudas

Papildu scenāriji ir iepriekš aprakstīto scenāriju kombinācija. Par pamatu tika ņemts scenārijs *2030ref*, kas papildināts ar scenārijiem, kuros ņemts vērā samazinājums centralizētās siltumapgādes lietošanā ēku renovācijas rezultātā. Modelēšanas vajadzībām tika pieņemts, ka renovācijas process paātrināsies, pateicoties politiskam atbalstam un moderno tehnoloģiju ieviešanai (piemēram, centralizēti un decentralizēti siltumsūkņi); tādēļ tiek modelēts 25 % un 45 % samazinājums centralizētās siltumapgādes lietošanā.

Siltumsūkņi ir visnoderīgākā tehnoloģija, kādu paredzēts ieviest līdz 2030. gadam, tāpēc ir modelēti scenāriji ar papildu siltumsūkņu skaita pieaugumu privātmājās un daudzdzīvokļu ēkās.

Decentralizētu saules paneļu uzstādīšana tiek modelēta saskaņā ar scenāriju *2030ref* (+1335 MW Baltijas valstīm), uzturot 2017. gada fotoelektrisko iekārtu jaudas līmeni (84 MW) saskaņā ar scenāriju *2030_PV_Eps*. Papildus tam veikta jutības analīze, izmainot divus mainīgos (piemēram, siltumsūkņu un centralizētās siltumapgādes daļa, fotoelektriskās iekārtas un centralizētā siltumapgāde, fotoelektriskās iekārtas un siltumsūkņi). Galvenie rezultāti ir aprakstīti nākamajā apakšnodaļā, sniedzot arī to kopsavilkumu. Lai salīdzinātu scenārijus un novērtētu rezultātus, tika ieviesta virkne rādītāju.

5.2. Ēku sektora ietekmes uz dekarbonizāciju modelēšana

5.2.1. Scenāriji centralizētās siltumapgādes samazinājumam ēku renovācijas rezultātā Latvijā

No 2014. līdz 2020. gadam Latvijā bija pieejamas vairākas programmas renovācijas atbalstam [70], [71]. Pieņemot, ka ēku fonda renovācija saglabās tādu pašu tempu kā iepriekš – 2014.–2020. gada periodā tika renovēts ap 1700 ēku [4], [8] – atsaucēs gados (2017. un 2030.) renovēto ēku aprēķina skaits Latvijā var sasniegt 4000. Tādējādi Latvijas māsaimniecību renovētās daudzdzīvokļu mājās kopējie siltumenerģijas ietaupījumi 2030. gadā var sasniegt vismaz 800 GWh (5.4. tab.).

Centralizētās siltumapgādes enerģijas prognozētais ietaupījums, renovējot ēku fondu Latvijā līdz 2030. gadam

	Mājsaimniecību sektors, daudzdzīvokļu ēkas	Mājsaimniecību sektors, privātmājas	Publiskais sektors	Komercsektors	Kopā
Siltumenerģijas ietaupījums, GWh	800	30	97	60 ^a	987

^a Autores pieņēmums. Komercsektorā enerģijas ietaupījumi ir vairāk atkarīgi no modernu tehnoloģiju uzstādīšanas, mazāk – no ēku renovācijas.

Pēc ekspertu domām [72], līdz 2030. gadam ir iespējams veikt rentablu renovāciju 70 % no ēku kopskaita, atlikušos 30 % renovēt nebūs lietderīgi. Lai renovētu 30 % daudzdzīvokļu māju līdz 2030. gadam, kopā jārenovē 8100 daudzdzīvokļu māju. Ņemot vērā potenciāli ieinteresēto mājokļu īpašnieku viedokļi, kuri būtu gatavi ieviest energoefektivitātes pasākumus, lai sasniegtu noteikto mērķi, nepieciešams renovēt 4860 daudzdzīvokļu mājas, kas būtu jānosaka kā primārais mērķis. Šī mērķvērtība ir tuva promocijas darbā veiktajam aprēķinam ar 4000 daudzdzīvokļu mājām, ko varētu renovēt līdz 2030. gadam un kas tika ņemts par bāzes scenāriju siltuma patēriņa samazinājumu aprēķināšanai. Finansiālā atbalsta rezultātā ir plānots līdz 2030. gadam samazināt primāro enerģijas patēriņu valsts un pašvaldību ēkās aptuveni līdz attiecīgi 29 714 MWh un 68 000 MWh gadā [72]. Kopējie siltumenerģijas ietaupījumi no visa ēku fonda renovācijas programmas īstenošanas Latvijā var sasniegt 987 GWh, kas ir 17 % no kopējā centralizētās siltumapgādes siltuma daudzuma, kas patērēts 2017. gadā.

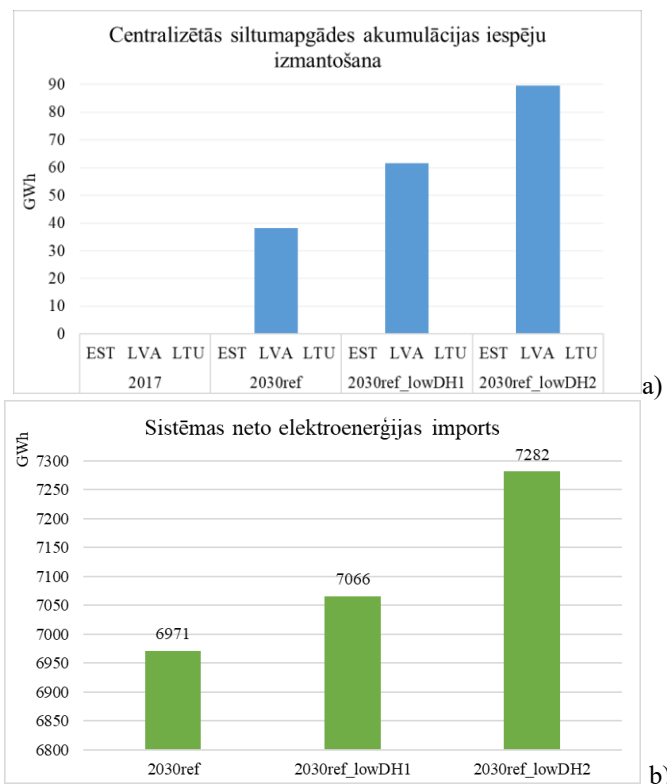
Apkures (un dzesēšanas) sektora elektrifikācija nodrošinātu rentablu veidu, kā izmantot zema oglekļa tehnoloģijas, palielinot atjaunīgo enerģijas avotu proporcionālo daļu. Tehnoloģijas, kas pārveido elektroenerģiju siltumenerģijā, var ieviest centralizētā vai decentralizētā līmenī. Promocijas darba centrā ir enerģijas izmantošana ēkās, tāpēc tiek apskatīts tikai otrais variants. Siltumsūkņi ir lietderīga, sektorus sasaistoša un ar zemu CO₂ emisiju daudzumu raksturojama tehnoloģija dzīvojamo telpu apsildē [73]. Kā parādīts [8], lokālie/individuālie siltumsūkņi varētu konkurēt ar centralizēto siltumapgādi pat daudzdzīvokļu ēkās, to izmantošana Baltijā ir ilgtspējīga, taču nepieciešams izvērtēt atkarību no centralizētās siltumapgādes cenām un izmantotajām tehnoloģijām.

5.2.2. Gadījumizpētes rezultāti un to apspriešana

Scenāriji ar samazinātu centralizētā siltuma patēriņu ēku renovācijas rezultātā (5.2. un 5.3. att.) rāda atjaunīgo enerģijas avotu proporcionālās daļas pieaugumu ģenerācijā.



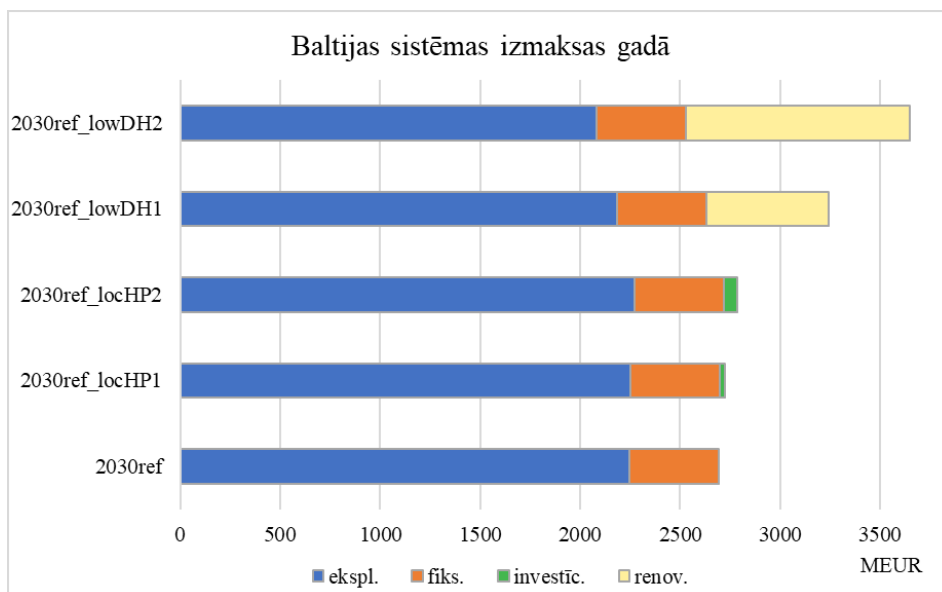
5.2. att. Atjaunīgo energoresursu proporcionālā daļa centralizētai siltuma ražošanai.



5.3. att. a) Centralizētās siltumapgādes akumulācijas izmantošana; b) neto elektroenerģijas imports Baltijā.

Vislielākā ietekme uz *RES-H* (siltumenerģijas daudzums, saražots no atjaunīgiem enerģijas avotiem) bija vērojama Tallinā, Viļņā un Rīgā (tas saistīts ar plašu centralizētās siltumapgādes izmantošanu galvaspilsētās). Ietekmes uz *RES-E* (elektroenerģijas daudzums, saražots no atjaunīgiem enerģijas avotiem) ražošanas proporcionālo daļu un iekšzemes elektroenerģijas ražošanu nav. Vērojams centralizētās siltumapgādes akumulācijas spējas pieaugums, kas rodas racionālākas siltumenerģijas izmantošanas rezultātā.

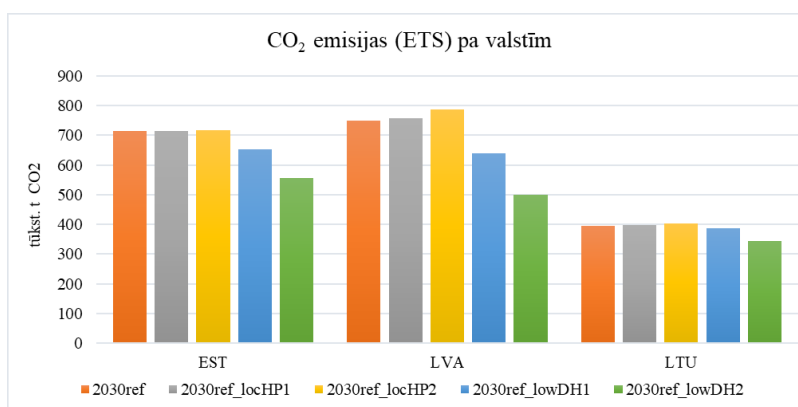
Modelī priekšroka tiek dota vēja, fotoelektriskajai enerģijai, hidroenerģijai un no atkritumiem ražotajai enerģijai. Centralizētās siltumapgādes patēriņa samazinājums scenārijos atspoguļojas attiecīgi dabasgāzes, biogāzes un biomasas patēriņā, taču visvairāk – sistēmas importa/eksporta izmaiņās. Latvijā izmantotā centralizētās siltumapgādes siltuma akumulācijas spēja pieauga. Scenāriji ar zemu centralizētās siltumapgādes izmantojumu sniedz ievērojamu sistēmas ekspluatācijas izmaksu ietaupījumu (5.4. att.).



5.4. att. Baltijas sistēmas izmaksas 2030. gada scenārijiem.

Investīcijas renovācijā ievērojami palielina sistēmas kopējās izmaksas. Tomēr, kā uzsvērts [74], ir svarīgi prognozēt un aprēķināt nepieciešamo investīciju apjomu, jo faktiskais piešķirto līdzekļu apjoms var ievērojami atšķirties no tā, kāds nepieciešams renovācijai.

Kā daļa no investīciju mērķa jāņem vērā arī emisiju daudzuma un enerģijas patēriņa dzīvojamā sektorā samazinājums, kā arī iedzīvotāju komforts. 5.5. attēlā redzams emisiju samazinājums emisiju tirdzniecības shēmas ietvaros.



5.5. att. Baltijas sistēmas emisijas.

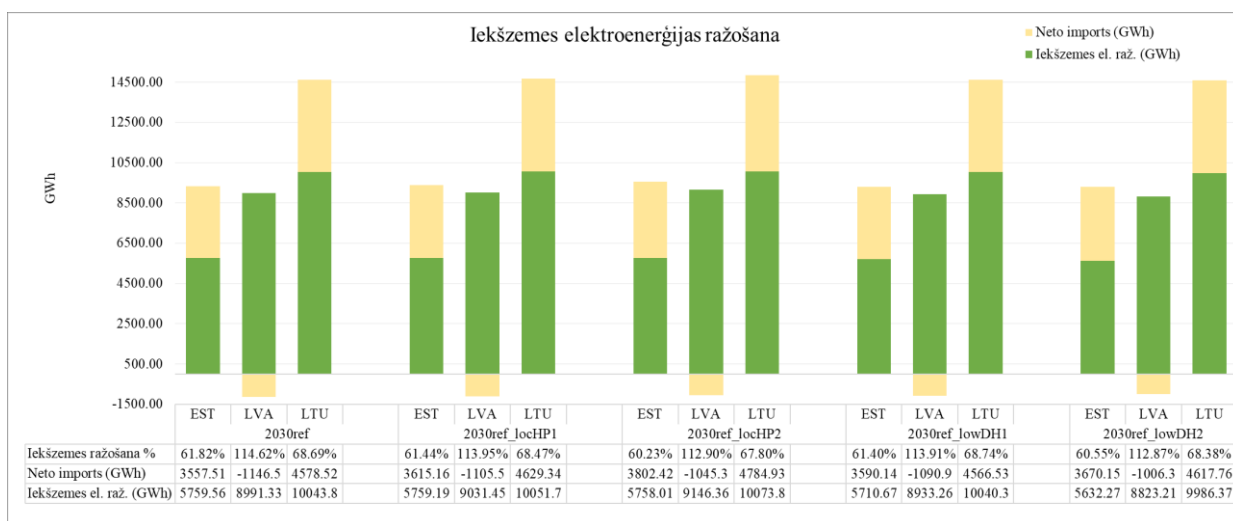
Scenāriji *2030ref_lowDH1* un *2030ref_lowDH2* rāda vislielāko ETS emisiju kritumu Latvijā: 109 kt un 248 kt CO₂, Igaunijā – 63 kt un 158 kt CO₂; Lietuvai šī ietekme bija minimāla – attiecīgi 7 kt un 51 kt CO₂. CO₂ emisiju ārpus emisiju tirdzniecības shēmas samazinājums ir izteiktāks scenārijos *2030ref_locHP1* un *2030ref_locHP2*.

Modelis pamanāmi palielina neto sistēmas elektroenerģijas importu, lai kompensētu pieaugušo elektroenerģijas pieprasījumu no siltumsūkņiem scenārijos, kur pieaug lokālo siltumsūkņu skaits. Šie scenāriji ir īpaši rentabli Latvijai no elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanas viedokļa ar maksimālajām vērtībām reģionos ārpus galvaspilsētas.

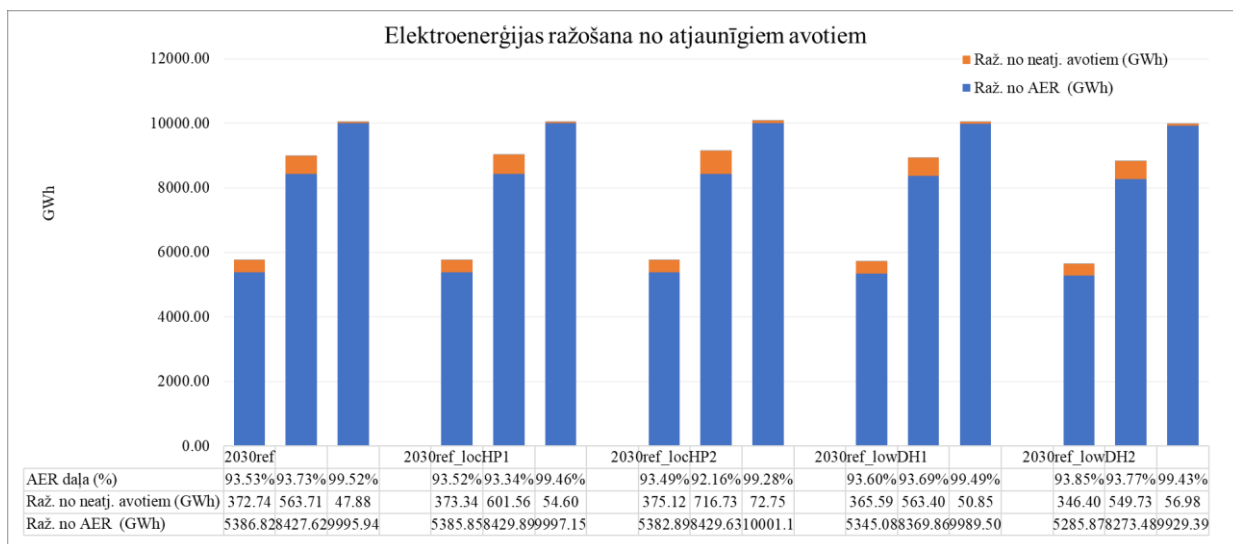
Lokālo siltumsūkņu ieviešana ietekmē centralizētās siltumapgādes kurināmā lietošanu. Augstākas elektroenerģijas cenas atsevišķās stundās ietekmē centralizētās siltumapgādes siltumsūkņu lietošanu (samazinājums) un dabasgāzes lietošanu (pieaugums). Analīze rāda, ka Latvijā centralizētās siltumapgādes akumulācija ir stabila ar nelielu pieaugumu scenārijā 2030ref_locHP2.

5.2.3. Modelēto scenāriju kopējā ietekme uz Baltijas enerģijas bilanci

Situācija Latvijā, Lietuvā un Igaunijā attiecībā uz vietējo elektroenerģijas ražošanu atšķiras (5.6. att.). Modelētajos scenārijos Latvija pilnībā nodrošina savas elektroenerģijas vajadzības, īstenojot arī vietēji ražotas elektroenerģijas eksportu, savukārt Igaunija un Lietuva tikai daļēji izmanto vietējo elektroenerģiju patēriņam, joprojām paliekot atkarīgas no importētās enerģijas.



5.6. att. Iekšzemes elektroenerģijas ražošanas procentuālā daļa.

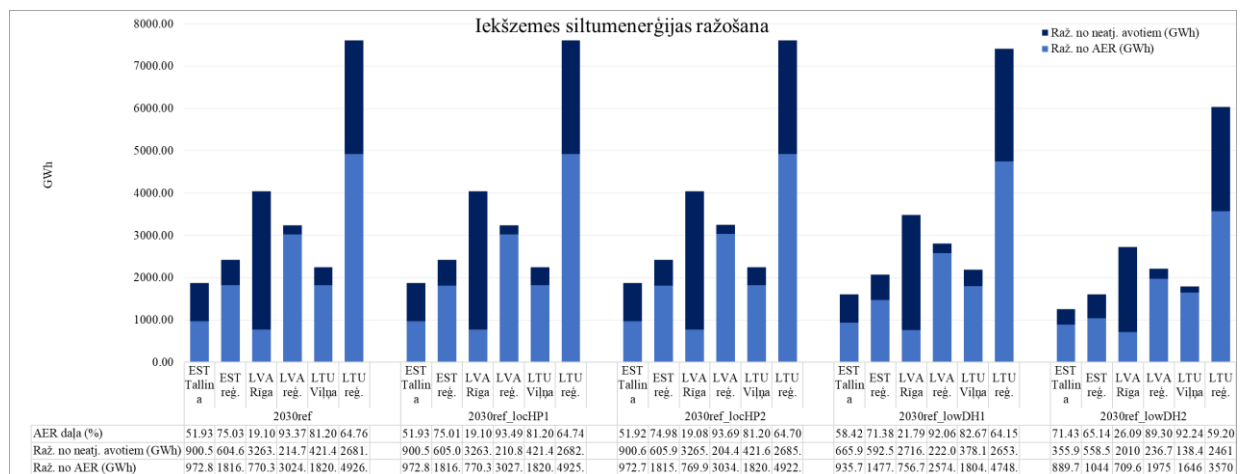


5.7. att. No atjaunīgajiem avotiem ražotās elektroenerģijas daļa.

Saskaņā ar modelēšanas rezultātiem, Igaunija saražos 60–62 % savas elektroenerģijas no vietējiem resursiem, Lietuva – 68–69 %, savukārt Latvija sasniedz jaunu drošības līmeni un saražo 112–115 % no nepieciešamā patēriņa līmeņa, t. i., nodrošina arī eksportu.

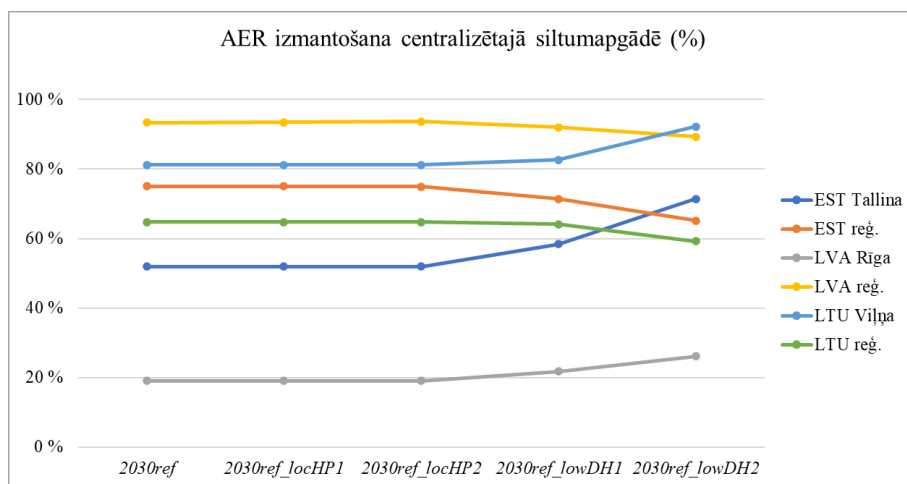
5.7. attēlā redzams elektroenerģijas ražošanas līmenis no atjaunīgajiem resursiem, ieskaitot atkritumus. Šeit situācija ir labvēlīgāka, it īpaši Lietuvā, kur tiek slēgtas vecās koģenerācijas stacijas un notiek pāreja uz dažādiem biokurināmā veidiem.

Lietuva gandrīz pilnībā nodrošina elektroenerģijas ražošanu no atjaunīgajiem resursiem un atkritumiem (ap 99,5 %), Igaunija un Latvija tikai nedaudz atpaliek ar attiecīgi 93–94 % un 92–94 %. Siltumenerģijas ražošanā no vietējā kurināmā (5.8. att.) aina ir nevienmērīgāka, rādītāji Baltijas valstu galvaspilsētās un reģionos atšķiras. Maksimālais siltumenerģijas ražošanas procents no vietējiem resursiem, ieskaitot atkritumus, vērojams Latvijas reģionos – 89–93 %, savukārt Latvijas galvaspilsētā šis procents ir minimāls – 19–26 %, saistībā ar vēsturiski izveidojušos liela mēroga koģenerācijas izmantošanu uz dabasgāzes pamata. Tomēr pat Igaunijā saglabājas augsta siltumenerģijas ražošanas proporcija no vietējiem resursiem, savukārt Lietuvā situācija ir pretēja.



5.8. att. Iekšzemes siltumenerģijas ražošanas proporcionālā daļa.

Vēl cits svarīgs rādītājs – atjaunīgo avotu proporcionālā daļa centralizētā siltuma ražošanā – maz mainās scenārijos ar lokālajiem siltumsūkņiem, taču izmaiņas ir izteiktas scenārijos ar zemu centralizētās siltumapgādes lietojumu (5.9. att.).

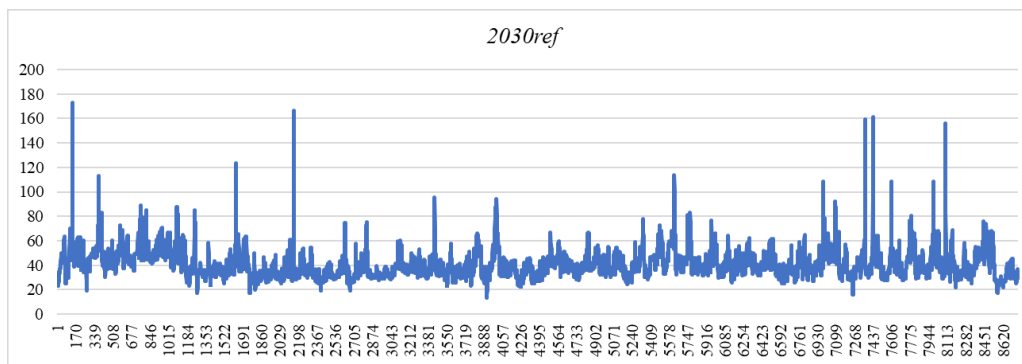


5.9. att. Atjaunīgo resursu proporcionālā daļa centralizētajā siltuma ražošanā.

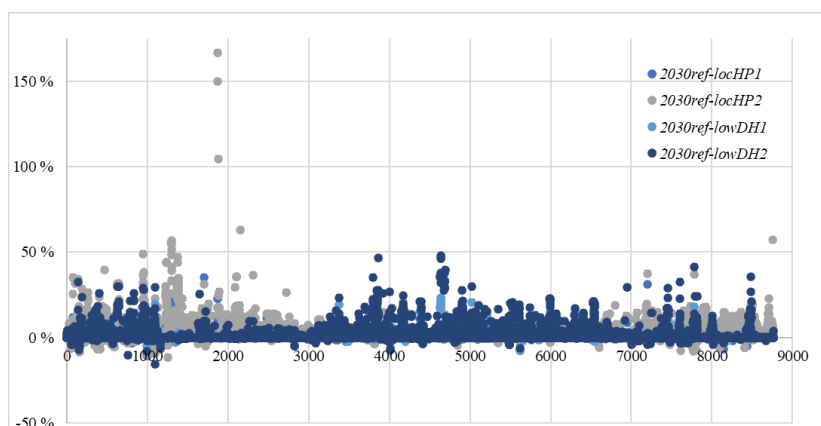
Mazāks siltuma patēriņš ēku apkurei renovācijas rezultātā ievērojami ietekmē siltuma, kas ražots no vietējām izejvielām, procentuālo sadalījumu, veidojot labvēlīgu situāciju Rīgā, Viļņā un Tallinā un samazinot šo rādītāju reģionos ārpus galvaspilsētām.

5.2.4. Scenāriju ietekme uz elektroenerģijas cenām

Bāzes scenārija *2030ref* un atlasīto scenāriju ietekme uz elektroenerģijas cenām (Eur/MWh) redzama 5.10.–5.11. attēlā.



5.10. att. Elektroenerģijas robežcenas scenārijam *2030ref*, Eur/MWh.



5.11. att. Jūtīguma scenāriju cenu atšķirību salīdzinājums ar bāzes scenāriju *2030ref*.

Augstās cenas dažās no stundām liecina par jaudas trūkumu. Scenārijs *locHP2* rada pārmērīgu cenu palielinājumu atsevišķās stundās saistībā ar palielinātu enerģijas patēriņu siltumsūkņiem. Šāds darbības veids uzrāda arī augstākas cenas atsevišķās stundās, kuru iemesls var būt koģenerācijas stacijas režīma maiņa, samazinot siltumenerģijas ražošanu.

5.2.5. Rezultātu rādītāji

Lai izvērtētu dažādus scenārijus, apkopoti un salīdzināti šādi rezultātu rādītāji: 1) dekarbonizācijai – CO₂ emisiju daudzums ETS ietvaros un ārpus tās, *RES-E* un *RES-H* proporcionālā daļa; 2) energoefektivitātei – primārās enerģijas un galapatēriņa daudzums; 3) enerģētiskajai drošībai – iekšzemes ražošana; 4) izmaksām – sistēmu ekspluatācijas izmaksas. Katram atsevišķajam scenārijam ir savi ieguvumi un/vai vājās vietas. Tāpēc visizdevīgāk ir apvienot divus vai vairāk scenārijus (mainot tikai dažus mainīgos), lai saglabātu sistēmas elastību un paaugstinātu tās stabilitāti, kā arī atrastu iespēju samazināt kopējās investīciju izmaksas un neto importu.

Modelēto scenāriju pamatrādītāji apkopoti 5.5. tabulā; tumši zaļajās rūtīs – pozitīva ietekme, gaiši zaļajās – nedaudz pozitīva, sārtajās – nedaudz negatīva, sarkanajās – negatīva ietekme.

5.5. tabula

Ieguvumi no dažādiem pasākumiem, vērtējot pamatrādītājus

Rādītāji		Baltijas valstu enerģosistēma													
		2030ref	2030_PV_Eps	2030ref_locHP1	2030ref_locHP2	2030ref_lowDHI	2030ref_lowDH2	2030_DHI_HP1	2030_DHI_HP2	2030_DH2_HP1	2030_DH2_HP2	2030_DHI_PV0	2030_DH2_PV0	2030_HP1_PV0	2030_HP2_PV0
Dekarbonizācija	ETS CO ₂ (ktCO ₂)	1860	1917	1872	1908	1680	1402	1693	1730	1418	1457	1740	1475	1934	1975
	ne-ETS CO ₂ (ktCO ₂)	8062	8062	7926	7712	8062	8062	7926	7712	7926	7712	8062	8062	7926	7712
	RES-E	96.00%	95.10%	95.80%	95.30%	96.00%	96.10%	95.80%	95.30%	95.90%	95.40%	95.10%	95.10%	94.90%	94.30%
	RES-H	65.70%	65.40%	65.60%	65.60%	66.50%	67.00%	66.50%	66.40%	66.90%	66.80%	66.20%	66.60%	65.40%	65.30%
Energoefektivitāte	Primārā enerģijas raž.(GWh)	73043	73358	72506	71811	70870	66730	70337	69639	66196	65511	71200	67109	72843	72201
	Galapatēriņš (GWh)	97840	97831	97431	97035	96160	92651	95749	95353	92240	91842	96150	92639	97421	97026
Enerģētiskā drošība	Iekšzemes ražošana (GWh)	24797	23706	24844	24979	24686	24442	24735	24867	24492	24620	23600	23374	23769	23934
Izmaksas ^b	Sistēmas ekspl. izmaksas (MEUR)	4121	4183	4116	4109	4063	3958	4058	4051	3953	3947	4126	4022	4179	4172

b Nav iekļautas investīciju izmaksas

Tālāk izklāstītie apsvērumi izsecināti no modelēšanas rezultātiem.

- Ēku renovācija ar tai sekojošu centralizētā siltuma patēriņa samazinājumu par 25 % un 45 % dod ievērojamu ieguldījumu emisiju tirdzniecības shēmas CO₂ emisiju mazināšanā (attiecīgi 180 tūkstoši tonnu un 1119 tūkstoši tonnu CO₂), lai gan scenārijs ar 45 % siltumenerģijas patēriņa samazinājumu ir pārāk optimistisks ieviešanai Baltijā līdz 2030. gadam un ir realizējams tikai, izlēmīgi pilnā apmērā pastiprinot visus dekarbonizācijas pasākumus.
- Precīzi aprēķināt investīcijas, kādas nepieciešamas ēku renovācijai bāzes scenārijā *2030ref*, kā arī pievienoto vērtību, rēķinot izvēlētos pasākumus ar samazinātu centralizētā siltuma patēriņu, šī darba ietvaros nav iespējams, ņemot vērā vairākus faktoriem, piemēram, varas iestāžu lēmumi nākamo 10 gadu laikā par palīdzības apjomu renovācijā, prognoze par iedzīvotāju mainīgo aktivitāti un zināšanām, ekonomiskās situācijas stabilitāte reģionā, īrēto dzīvokļu procents un daudzi citi.
- Renovācija kombinācijā ar siltumsūkņu uzstādīšanu pastiprina dekarbonizācijas efektu.
- Siltumsūkņu kā inovatīvas tehnoloģijas ieviešana, lai samazinātu emisijas un paaugstinātu dekarbonizācijas līmeni, nefunkcionē pilnībā efektīvi, neiesaistot vēl kādu progresīvu tehnoloģiju, piemēram, fotoelektriskās tehnoloģijas, ar kuras palīdzību iespējams apmierināt paaugstinājušos elektroenerģijas pieprasījumus, nepalielinot gada CO₂ emisiju apjomu. Kā alternatīvu varētu apsvērt scenāriju ar decentralizētām fotoelektriskajām iekārtām un viedām elektriskajām siltuma akumulācijas sistēmām [73], [75].
- Modelis spēcīgi reaģē, palielinot vai samazinot elektroenerģijas importu dažādu scenāriju ietvaros. Tāpēc nākamie soļi var būt: izpētīt jutību, kāda ir elektroenerģijas importa/eksporta cenu izmaiņām, CO₂ emisijām un kurināmā cenu izmaiņām pret enerģijas ražošanas kopējām izlīdzinātajām izmaksām (*LCOE*) un izmantoto kurināmo.
- Modelēšanas rezultāti rāda, ka sakarā ar plašu atjaunīgo enerģijas avotu ieviešanu un desinhronizāciju ar *BRELL* enerģijas cenas atsevišķās stundās/atsevišķos periodos varētu ievērojami pieaugt. Tas varētu negatīvi ietekmēt enerģētiski nabadzīgās māsaimniecības un

to spēju uzturēt pietiekamu siltumu mājoklī, kā arī samaksāt komunālos maksājumus. Lai šo ietekmi mazinātu, nepieciešams paredzēt īpašus pasākumus [76]. Viena no šādām iniciatīvām varētu būt vietējās enerģijas kopienas, kas veicina gan tehnoloģiskas, gan sociālas inovācijas. Kā parādīts [77], varētu izmantot dažādas tehnoloģijas un biznesa modeļus, atvieglojot 2030. un 2050. gada enerģētikas un klimata izmaiņu mazināšanas mērķus, kā arī ieviešot jaunus piegādes tarifus vai shēmas. Cits ceļš ir plānot nepieciešamās izmaiņas viedās pilsētas ietvarā [78], kas ļautu enerģijas patērētājiem izvēlēties un ieviest tieši tos enerģijas resursus un modeļus, kas nesīs visrentablākos rezultātus visām enerģētiskā iesaistītajām pusēm [79].

5.3. Nodaļas secinājumi

Saskaņā ar šī darba rezultātiem Baltijas energosistēmu plānotās izmaiņas līdz 2030. gadam šķiet gan iespējamā, gan dzīvotspējīgas. Izvēlētie scenāriji rāda pārejas sniegtos ieguvumus, taču parādījās arī iespējamie enerģētiskās drošības problēmjautājumi katrā valstī. Pētījums parādīja izaicinājumus emisiju samazinājuma mērķvērtību sasniegšanā kopīgo centienos sektoros un analizēja plānoto investīciju iespējamo dažāda veida ietekmi uz izmaksām.

Modelēšanas rezultāti liecina, ka Baltijas valstīm energosistēmas atjaunināšanā jārikojas ātri un proaktīvi, bet arī jāpaliek reaģētspējīgām uz izmaiņām darbības vidē. Lai gan izaicinājumi, ar kādiem saskaras katra no Baltijas valstīm, ir atšķirīgi, tiek veicināta reģionāla sadarbība plānošanā un investīcijās. Lai drošā veidā panāktu norādīto energosistēmas pāreju, koncentrēšanās uz enerģijas ražošanu no atjaunīgiem avotiem būtu jāpapildina ar politiku enerģētiskās drošības atbalstam, kā arī tādu, kas atbalsta transporta un ēku elektrifikāciju un elastību.

Ēku sektors var nozīmīgi ietekmēt Baltijas energosistēmu kopumā, palielinot apzinīgumu par t. s. “zaļajām” tehnoloģijām. Siltumsūkņu un saules paneļu uzstādīšana, kā arī ēku renovācija ir tiešā veidā atkarīgas no iedzīvotāju zināšanām un viņu vēlmes ne tikai mazināt savas enerģijas izmaksas, bet arī dot ieguldījumu kopējā dekarbonizācijas mērķa sasniegšanā. Savukārt liela mēroga siltumstaciju modernizācija un pāreja uz “zaļo” enerģiju lielās koģenerācijas stacijās ir atkarīgas no lejupējiem risinājumiem, vietējās “zaļās” enerģijas tehnoloģijas ieviešanu ēku sektorā raksturo augšupēja pieeja. Šajā gadījumā plaši izplatīta apzinātība par modernajām tehnoloģijām un to ieviešanas, kā arī ekonomiski pamatotu aprēķinu pieejamība var nest ievērojamu ieguldījumu nacionālo enerģētikas un klimata plānu izpildē, kā arī definēto mērķu sasniegšanā.

Analizētie scenāriji piedāvā izpildāmas iespējas, lai attīstītu dekarbonizācijas virzienus ēku sektorā. Inovatīvu tehnoloģiju ieviešana palīdz paaugstināt mainīgo atjaunīgo enerģijas avotu proporcionālo daļu un ražot vietējo enerģiju, lai uzlabotu sistēmas drošību; taču tās rezultātā pieaug scenārija ieviešanas izmaksas. Ēku renovācija ir viens no visefektīvākajiem pasākumiem nacionālo plānu ieviešanai, taču tikai tādā gadījumā, ja galalietotāji/patērētāji ir aktīvi iesaistīti dekarbonizācijas procesā.

Kad bija izpētīts galalietotāju potenciāls Baltijas reģionā, tālāk tika pievērsta uzmanība vēl neizmantoto iespēju pētīšanai valsts līmenī un detalizētākai dekarbonizācijas procesu apskatei, kā arī veidam, kā tiek izmantoti energoresursi. Neraugoties uz nelielām izmaiņām atsevišķu

mājsaimniecību līmenī, kopumā elektrifikācijas process var kalpot kā skaidrs piemērs neizmantota potenciāla realizācijai valstī kopumā vai atsevišķā sektorā.

6. INFRASTRUKTŪRAS UN SEKTORU IZMAIŅU SCENĀRIJU MODELĒŠANA DEKARBONIZĀCIJAS PROCESA PAĀTRINĀŠANAI

Izmaiņām noteiktos sektoros un noteiktā infrastruktūrā var būt ievērojama ietekme uz dekarbonizācijas procesu. Dažādām enerģijas struktūrām un sektoriem jākonkurē, meklējot prioritātes dekarbonizācijas mērķu sasniegšanai [80]. Viens no galvenajiem izaicinājumiem ir samazināt fosilā kurināmā izmantošanu un aizstāt to ar atjaunīgiem enerģijas avotiem, tajā skaitā galalietotāju sektoros. Pilsētu infrastruktūras un atsevišķu mājsaimniecību elektrifikācija ir apstiprināta kā viens no efektīviem dekarbonizācijas pasākumiem, un ir parādījusies nepieciešamība identificēt vispieņemamāko risinājumu šajā virzienā. Tāpēc tika pētīta dažādu galalietotāju grupu un sektoru ietekme uz CO₂ emisiju samazināšanas potenciālu.

6.1. Ēdiena gatavošanas iekārtu elektrifikācija Latvijā

Viena no dekarbonizācijas un elektrifikācijas jomām, kas vēl nav pietiekami izpētīta, ir ēdiena gatavošanas iekārtu elektrifikācija. Tā ir saistīta ar virtuvēs izmantoto iekārtu un plītīs izmantotā kurināmā īpašībām katrā valstī. Taču, analizējot tādu plīšu darbības parametrus, kas darbojas ar sašķidrināto naftas gāzi (SNG), elektrisko un indukcijas plīšu darbības parametrus, redzams, ka plītis, kas darbojas ar SNG, ievērojami palielina CO₂-e (oglekļa dioksīda ekvivalenta) emisiju atmosfērā [81] un to gatavošanas laiks ir ilgāks, bet lietderības koeficients – zemāks nekā indukcijas plītīm.

Vietējā līmenī nav pētījumu par dekarbonizācijas potenciālu virtuvju elektrifikācijā Latvijā, aizstājot iekārtas, kas darbojas ar fosilo kurināmo (dabāsgāzi un sašķidrināto naftas gāzi – LPG), ar elektriskajām un indukcijas plītīm. Šis neizmantotais potenciāls var dot ievērojamu ieguldījumu, samazinot SEG emisijas un ieviešot drošākas un efektīvākas tehnoloģijas. Tādēļ šajā nodaļā pētīti elektrifikācijas paņēmieni, ko iespējams ieviest Latvijā, to iespējas un potenciāls. Šajā apakšnodaļā tika novērtēts mājsaimniecību skaits ar aizstātām plītīm, aizstājot gāzes plītis ar elektriskajām, kas palīdz Latvijai sasniegt tās klimata mērķi, un tika aprēķinātas atbilstošās CO₂ emisijas. Tādā pašā veidā salīdzināšanas nolūkā tika veikti aprēķini par vajadzīgo pasažieru transportlīdzekļu skaitu Latvijā, kuriem jāpāriet no iekšdedzes dzinēja uz elektroauto, un iegūto emisiju samazinājumu.

2020. gadā Latvijas mājsaimniecībās 7,6 % no kopā patērētās enerģijas tika izmantota ēdiena gatavošanai (6.1. tab.).

6.1. tabula

Energoresursu patēriņa tipi (%)

	1996	2006	2010	2015	2020
Kopā	100	100	100	100	100
Siltums (apkure un karstais ūdens)	87,2	75,4	79,5	83,4	83,4
Ēdiena gatavošana	8,8	13,9	11,4	7,3	7,6
Citas vajadzības	4,0	10,7	9,1	9,3	9,0

Datu avots: Latvijas Centrālā statistikas pārvalde [82].

Saskaņā ar Latvijas 2020. gada statistiskajiem datiem 25,6 % mājsaimniecību izmanto elektriskās plītis, 28,7 % – gāzes plītis (kas darbojas ar dabasgāzi), 19,8 % – sašķidrinātās naftas gāzes iekārtas (6.2. tab.).

6.2. tabula

Ēdiena gatavošanai izmantotie resursu veidi (%)

	1996	2001	2006	2010	2015	2020
Kopā	100	100	100	100	100	100
Elektroenerģija	6,6	7,2	11,0	17,9	32,7	39,4
Dabasgāze	37,8	35,4	34,9	41,2	29,7	28,7
Sašķidrinātā naftas gāze	30,8	31,6	29,3	25,2	24,1	19,8
Citi kurināmā veidi (koksne u. c.)	24,8	25,8	24,8	15,7	13,5	12,1

Datu avots: Latvijas Centrālā statistikas pārvalde [82].

Statistikas dati laika periodā no 1996. līdz 2020. gadam rāda, ka arvien vairāk mājsaimniecību Latvijā izmanto iespēju lietot elektrisko plīti kā inovatīvāku iekārtu. Daļēji tas notiek tādēļ, ka tiek būvētas jaunas ēkas bez gāzes apgādes infrastruktūras, kas ievērojami pazemina 1 m² nekustamā īpašuma vērtību. Tomēr viss pārejas process ir nepietiekami ātrs, un gāzes plīšu skaits joprojām ir liels. Šis process ir īpaši lēns mājsaimniecībās ar sašķidrinātās naftas gāzes plīti, kas, iespējams, ir saistīts ar faktu, ka to vairums atrodas Latvijas lauku rajonos, kur nav dabasgāzes cauruļvadu. Rajonu iedzīvotāju finansiālās iespējas parasti ir ierobežotas, un veco gāzes plīšu izmantošana turpinās.

6.1.1. Modelēšanas pieeja

Lai salīdzinātu rādītājus attiecībā uz ēdiena gatavošanu ar plītim, kur izmantoti dažādi kurināmā veidi, 6.3. tabulā tika aprēķināts dabasgāzes un elektroenerģijas patēriņš ēdiena gatavošanai.

6.3. tabula

Mājsaimniecību elektroenerģijas patēriņš virtuvē. Salīdzinoša analīze

Vidējais mājsaimniecību patēriņš, gatavojot ēdienu					
	ar dabasgāzes plīti		ar elektrisko plīti* ar		ar indukcijas plīti
			elektriskajām spirālēm	stikla keramikas virsmu	
mēnesī	8 m ³	74 kWh	35 kWh	26 kWh	19 kWh
gadā	96 m ³	931 kWh	396 kWh	317 kWh	233 kWh
Ēdiena gatavošanas lietderības koeficients	28–55 %		39–60 %	70 %	70–90 %
CO ₂ aprēķini, tCO ₂ -e gadā	0,18		0	0	0
Ēdiena gatavošanas izmaksas, EUR gadā (ieskaitot nemainīgos maksājumus)**	72		108	86	64

* Autore ir pieņēmusi, ka elektriskajās un indukcijas plītīs izmantotā elektroenerģija ir pilnībā “zaļa”, t. i., elektroenerģijas ražošanai izmantoti tikai atjaunīgie enerģijas avoti.

** Šajā pētījumā izmaksu aprēķināšanai izmantotas 2019.–2020. gada cenas.

Dati par elektroenerģijas patēriņu indukcijas plītīs ņemti no [83], kur tie balstās praktiskā pieredzē. Ziņas par ēdiena gatavošanas lietderības koeficientu ņemti no dažādiem avotiem [84]–[86], gan teorētiskiem, gan praktiskiem, lai salīdzinātu un ņemtu vērā vidējos rādītājus. Šie paši avoti norāda, ka stikla keramikas virsmas lietderības koeficients ir ap 20 % augstāks nekā plītij ar elektriskajām spirālēm. CO₂ emisijas, sadedzinot dabasgāzi, aprēķinātas [87].

Savukārt autore izmantoja tālāk izklāstīto metodoloģiju, lai aprēķinātu oglekļa dioksīda emisijas, gatavojot ēdienu ar plīti, kas izmanto SNG. 1 l sašķidrinātās naftas gāzes sver 550 g; pēc sastāva tā ir maisījums no šķidrā butāna (C₄H₁₀) un propāna (C₃H₈), sastāv no 82 masas % oglekļa un 18% ūdeņraža jeb 454 g oglekļa uz litru sašķidrinātās naftas gāzes. 1 kg SNG sadegšanai nepieciešams ap 15,6 kg gaisa (t. i., ap 12 kg slāpekļa un 3,6 kg skābekļa); reakcijas rezultātā rodas ap 12 kg slāpekļa (šī gāze ir ķīmiski neitrāla, tāpēc tā sadegšanā nepiedalās), 3 kg oglekļa dioksīda (CO₂) un 1,6 kg ūdens (H₂O). Lai sadedzinātu 454 g oglekļa līdz CO₂, nepieciešams 1211 g skābekļa. Summā tiek iegūts 454 + 1211 = 1665 g CO₂ uz litru sašķidrinātās naftas gāzes.

No gāzu blīvuma parametriem izriet, ka 1 litra SNG (propāns + butāns) sastāvā ir 0,230 m³ brīvās gāzes. Autores veiktā aptauja Latvijas pilsētā Aizputē, kur dabasgāzes cauruļvadu nav un plītīs tiek izmantota sašķidrinātā naftas gāze, liecina, ka vidējais SNG patēriņš ēdiena gatavošanai uz cilvēku mēnesī ir 1,8 m³. 1 l sašķidrinātās naftas gāzes satur 0,203 m³ brīvās gāzes, tādējādi tās vidējais patēriņš litros ir 1,8/0,23=7,82 l. Kā minēts iepriekš, šī veida plītis ir novecojušas, vēsturiski to izmantošana sākās padomju laikā, un atbilstošos dokumentos ir atrodamī dati par vidējo SNG patēriņu ēdiena gatavošanai, kas korelē ar datiem, kas doti [88].

Tādējādi vidējā trīs cilvēku ģimene, izmantojot ēdiena gatavošanai SNG, patērē $7,82 \times 3 = 23,5$ l mēnesī jeb 282 l gadā, radot 0,5 tonnu CO₂ emisiju atmosfērā gadā. Šis apjoms ievērojami pārsniedz pat šo pašu parametru dabasgāzes plītīm, un vēl lielāka ir atšķirība, salīdzinot ar elektriskajām un indukcijas plītīm, kas darbojas ar “zaļu” enerģiju.

6.4. tabulā apkopoti statistiskie dati par Latvijas mājsaimniecībām, kurās ēdiena gatavošanai izmanto gāzes plītis (gan tādas, kas darbojas ar dabasgāzi, gan tādas, kas darbojas ar sašķidrināto naftas gāzi). Autore aprēķinu veica, balstoties Latvijas Centrālās statistikas pārvaldes datos – pārskatā “Enerģijas patēriņš mājsaimniecībās” [82].

6.4. tabula

Dabasgāzes un sašķidrinātās naftas gāzes plīts izmantošana ēdiena gatavošanai Latvijā

Mājokļu raksturlielumi	2020	Kopā
Mājsaimniecību kopskaits, tūkst.	834,7	
Vidējais cilvēku skaits mājsaimniecībā Latvijā	2,2	
Mājsaimniecību skaits, kurās ēdiena gatavošanai izmanto dabasgāzi, %	28,7	
Mājsaimniecību skaits, kurās ēdiena gatavošanai izmanto sašķidrināto naftas gāzi, %	19,8	
Mājsaimniecību skaits Latvijā, kurās izmanto gāzes plīti, tūkst.	239,6	404,9 tūkst.
Mājsaimniecību skaits Latvijā, kurās izmanto sašķidrinātās naftas gāzes plīti, tūkst.	165,3	

Tabulā redzams Latvijas ievērojams neizmantots potenciāls elektrifikācijai un CO₂ līmeņa samazināšanai mājsaimniecībās. Gandrīz 30 % mājsaimniecību jeb 404,9 tūkstoši izmanto gāzes plītis, kas piedalās siltumnīcefekta gāzu emisijā atmosfērā.

Nākamajā solī tika veikta efektīvākā dekarbonizācijas potenciāla noteikšana, salīdzinot plīšu elektrifikāciju un pasažieru automašīnu elektrifikāciju Latvijā. 6.5. tabulā doti raksturlielumi par pasažieru automašīnām, kas ņemti no Latvijas Ceļu satiksmes drošības direkcijas (CSDD) un Centrālās statistikas pārvaldes (CSP), kā arī aprēķini par CO₂ emisiju daudzumu, ko rada vidējais ar fosilo kurināmo darbināmais auto Latvijas gadījumā.

6.5. tabula

Ar degvielu darbināmo pasažieru automašīnu raksturlielumi un emisiju aprēķins

Raksturlielums	Vērtība
Aktīvo pasažieru automašīnu skaits Latvijā	739 124
Vidējais gadā nobraukto kilometru skaits	13 737
Vidējais automašīnas patērētās degvielas daudzums pilsētā uz 100 km (litros)	8
Vidējās CO ₂ emisijas (g/km)	225
Kopējais aplēses degvielas patēriņš pasažieru automašīnām Latvijā gadā (tūkst. litru)	812 268
CO ₂ emisiju kopējais apjoms visām pasažieru automašīnām (tCO ₂ -e gadā)	2 284 499
CO ₂ emisiju vidējā vērtība uz 1 automašīnu (tCO ₂ -e gadā)	3,091

Balstīts Latvijas CSDD [89] un CSP [82] datos.

Aprēķinu rezultāti aprakstīti nākamajā nodaļā.

6.1.2. Rezultāti un to apspriešana

Aprēķinu rezultāti rāda, ka ēdiena gatavošana, izmantojot elektrisko plīti, zināmā mērā ir dārgāka nekā gāzes plīti, vai apmēram tikpat dārga, cik gatavošana, izmantojot indukcijas plīti (taču tas ir atkarīgs arī ar mājsaimniecības dalībnieku konkrētajiem paradumiem). Enerģijas ietaupījumi, pārejot no gāzes uz indukcijas plīti, redzami 6.6. tabulā.

6.6. tabula

Enerģijas ietaupījumu apēķins, pārejot no gāzes plītīm (dabasgāzes un sašķidrinātās naftas gāzes) uz indukcijas plītīm

	Enerģijas ietaupījums, tūkst. kWh	CO ₂ emisiju samazinājums, tCO ₂ -e gadā
Patēriņa starpība (enerģijas ietaupījums) starp dabasgāzes plīti un indukcijas plīti gadā	0,698	0,18
Patēriņa starpība (enerģijas ietaupījums) starp sašķidrinātās naftas gāzes plīti un indukcijas plīti gadā	2,115	0,5

6.7. tabulā redzami aprēķinu rezultāti par gada enerģijas ietaupījumu un CO₂ emisiju samazinājumu dažādās procentu kombinācijās, aizstājot gāzes plītis ar indukcijas plītīm Latvijas gadījumā, tika pētīti dažādi aizstāšanas scenāriji virtuvēs Latvijā.

6.7. tabula

Gāzes plīšu aizstāšana ar indukcijas plītīm: scenāriji

Scenārija Nr.	Gāzes plīšu procents, ko aizstāj ar indukcijas plītīm	Enerģijas ietaupījums, milj. kWh gadā	CO ₂ emisiju samazinājums, tūkst. tCO ₂ -e gadā
1	100 % sašķidrinātās naftas gāzes plīšu	349,6095	82,65
2	20 % dabasgāzes plīšu un 20 % sašķidrinātās naftas gāzes plīšu	103,37006	25,1556
3	40 % dabasgāzes plīšu un 40 % sašķidrinātās naftas gāzes plīšu	206,74012	50,3112
4	60 % dabasgāzes plīšu un 60 % sašķidrinātās naftas gāzes plīšu	310,11018	75,4668
5	80 % dabasgāzes plīšu un 80 % sašķidrinātās naftas gāzes plīšu	413,48024	100,6224
6	100 % dabasgāzes plīšu un 100 % sašķidrinātās naftas gāzes plīšu	516,8503	125,778

Par pirmo scenāriju, kam ir vislielākā ietekme uz dekarbonizācijas līmeni, tika izvēlēta 100 % sašķidrinātās naftas gāzes plīšu aizstāšana ar indukcijas plītīm. Šī scenārija ieviešana ļauj ietaupīt 350 milj. kWh un neemitēt 83 tCO₂-e gadā. Tomēr ir vērts paturēt prātā, ka vairums sašķidrinātās naftas gāzes plīšu atrodas valsts lauku reģionos, un būtu ļoti vēlams atbalstīt un/vai subsidēt šādu aizstāšanu ar likumdošanas aktiem, jo šajos reģionos iedzīvotāju finansiālās iespējas bieži ir ierobežotas.

2.–6. scenārijs ataino iespējamus Latvijas virtuvju elektrifikācijas veidus izdevīgākos vai ne tik izdevīgos apstākļos. Enerģijas ietaupījums un CO₂ samazinājums pieaug, palielinoties aizstāto virtuves iekārtu skaitam, un šos rādītājus var ņemt vērā enerģētikas politikas veidotāji, plānojot enerģētikas attīstību kādā pilsētā vai reģionā. Jāatzīmē, ka šis process virzīsies ātrāk, ja tiks attīstīta atbilstoša likumdošana un piešķirts finansējums.

Savukārt 6.8. tabulā redzami enerģijas ietaupījumi un CO₂ emisiju samazinājumi, aizstājot automašīnu ar iekšdedzes dzinēju ar elektroauto, kā arī dažādi scenāriji pārejai no degvielu izmantojošām automašīnām uz elektroauto.

6.8. tabula

Enerģijas ietaupījuma aprēķini, pārejot no automašīnām ar iekšdedzes dzinēju uz elektroauto

	Automašīnu ar iekšdedzes dzinēju patēriņš *	Elektroauto patēriņš **	Enerģijas ietaupījums (kWh gadā)	CO ₂ emisiju samazinājums, tCO ₂ -e gadā
Enerģijas patēriņš gadā, kWh	9 891	2 060	7 831	3,091
Patēriņa starpība (enerģijas ietaupījums), pārejot no iekšdedzes dzinēja automašīnām uz elektroauto, gadā (kWh), kad ar elektroauto aizstāto automašīnu skaits ir:				
1 % (7,4 tūkst. automašīnu)	73 107	15 226	57 881	22 846
5 % (37 tūkst. automašīnu)	365 534	76 130	289 404	114 232
20 % (148 tūkst. automašīnu)	1 462 135	304 519	1 157 616	456 926
100 %	7 310 675	1 522 595	5 788 080	2 284 632

* Tiek pieņemts, ka 1 l benzīna atbilst 9 kWh. ** Tiek pieņemts, ka elektroautomobilis patērē 15 kWh/100 km.

Tālāk tika salīdzinātas izmaksas virtuvju elektrifikācijai un pasažieru automašīnu elektrifikācijai Latvijā, ja tiek panākts vienāds emisiju samazinājuma līmenis. 6.9. tabulā parādītas vidējās izmaksas, lai iegādātos elektroauto, kā arī vidējās izmaksas, lai iegādātos un uzstādītu elektriskās vai indukcijas plīts virsmas Latvijā. Tika aprēķinātas kopējās izmaksas, ja tiek panākts emisiju samazinājums 20 tūkstoši tCO₂-e gadā, pārejot uz elektroauto vai pārejot uz elektriskām plīts virsmām.

6.9. tabula

Elektroauto un elektrisko plīšu vidējās izmaksas Latvijā

	Vidējās izmaksas (EUR)	Pārejas vienību skaits	Izmaksas, ietaupot 20 tūkst. tCO ₂ -e gadā (milj. EUR)
Elektroauto	40 000	6,7 tūkst. auto	268
Elektriskā plīts ar keramikas virsmu	340	62 tūkst. plīšu	21,08
Indukcijas elektriskā plīts	540	62 tūkst. plīšu	33,48

Citi rezultāti parādīti 6.10. tabulā, kur salīdzināti CO₂ samazinājumi, ja būtu piešķirtas subsīdijas dekarbonizācijai Latvijā 1 milj. EUR apmērā.

6.10. tabula

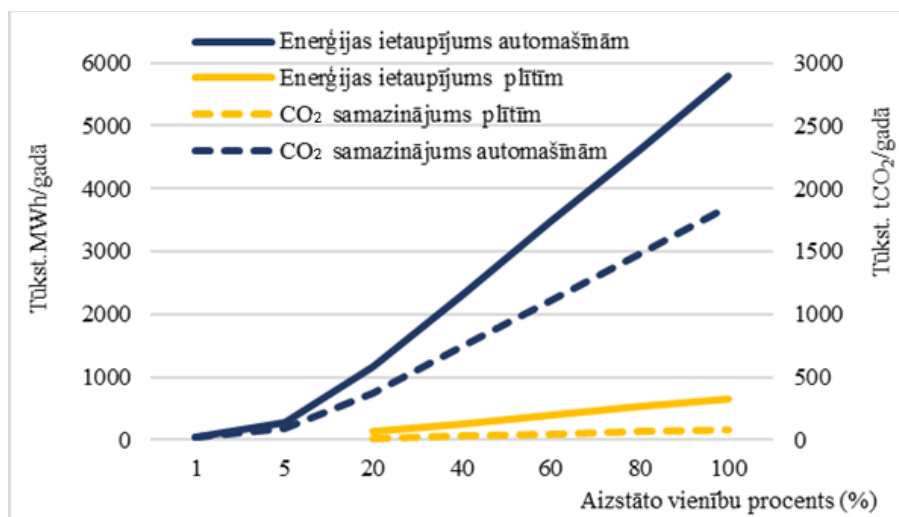
CO₂ samazinājuma salīdzinājums, nomainot automašīnas/plītis, ja subsīdijas dekarbonizācijai ir 1 milj. EUR

	Iekšd. dzinēju nomaīna ar elektroauto	SNG plīšu nomaīna ar indukcijas plīšīm	Dabagāzes plīšu nomaīna ar indukcijas plīšīm
Samazinājums, t CO ₂ -e gadā	77	926	333

Tādējādi, lai ietaupītu 20 tūkstošus tonnu CO₂-e gadā, Latvijas mājsaimniecībām būs nepieciešams aizstāt 6,7 tūkstošus pasažieru automašīnu ar iekšdedzes dzinēju ar elektroauto vai arī aizstāt 62 tūkstošus gāzes plīšu (gan dabagāzes, gan sašķidrītās naftas gāzes), kas atbilst 12 % no gāzes plīšu kopskaita, ar elektriskajām/indukcijas virsmām. Tajā pašā laikā, ja

tiek piešķirtas subsīdijas 1 milj. EUR apmērā Latvijas māsaimniecību dekarbonizācijai, tiek iegūts daudz labāks rezultāts oglekļa dioksīda emisiju mazināšanā, ieguldot šos līdzekļus plīšu nomaiņā.

Kopaina ar enerģijas ietaupījuma un CO₂ samazinājuma dinamiku dažādiem elektrifikācijas scenārijiem (aizstāšanas procents), aizstājot automašīnas vai plītis ar elektriskām iekārtām, redzama 6.1. attēlā.



6.1. att. Enerģijas ietaupījums un CO₂ samazinājums.

Nav šaubu, ka visu pasažieru automašīnu ar iekšdedzes dzinēju aizstāšana ar elektroauto ļauj ietaupīt daudz vairāk energoresursu, taču pirmajos elektrifikācijas posmos priekšroka dodama visu Latvijas plīšu nomaiņa ar elektriskām vai indukcijas plītis virsmām.

6.1.3. Nodaļas secinājumi

Pētījuma rezultāti parādīja, ka virtuves iekārtu nomaiņa var pozitīvi ietekmēt māsaimniecību dekarbonizācijas procesu, samazināt emisijas un paātrināt māsaimniecību elektrifikāciju. Lai iegūtu tādu pašu CO₂ emisiju samazinājumu, ir racionālāk un efektīvāk sākt ar plīšu nomaiņu nekā aizstāt automašīnas, kas izmanto degvielu, ar elektroauto. Tas prasa daudz mazāk izdevumu gan mājokļu īpašniekiem, gan arī valsts pārvaldes struktūrām, kas var sniegt likumdošanas atbalstu un subsīdijas, lai paātrinātu transformācijas procesu. Indukcijas ēdiena gatavošanas iekārtas ir dārgākas, taču ir jāprognozē nākotnes tendences, lai izvēlētos labāko risinājumu – šī tipa iekārtu enerģijas patēriņš ir efektīvāks un lietotājiem drošāks. Tāpēc izvēle būtu jāizdara par labu indukcijas virsmām.

Šajā promocijas darba nodaļā tika pierādīts, ka, ja valsts ir gatava ieguldīt vienu miljonu EUR Latvijas māsaimniecību dekarbonizācijā, efektīvāk ir sākt pieejamos līdzekļus ieguldīt gāzes plīšu nomaiņā, īpaši tādu, kur tiek izmantota sašķidrināta naftas gāze, ar indukcijas plītīm. Tas samazinās ikgadējās oglekļa emisijas par 926 t, nomainot SNG plītis, vai par 333 t, nomainot dabasgāzes plītis, savukārt, ja šie 1 milj. EUR tiek ieguldīti iekšdedzes dzinēja automašīnu nomaiņā ar elektroauto, oglekļa dioksīda gada emisijas samazināsies tikai par 77 t (tas var nedaudz mainīties, ja elektroauto cenas kritīsies, piemēram, uz 103 t CO₂ gadā, ja elektroauto izmaksas ir 30 tūkst. EUR). Tas neatceļ prasības par dekarbonizāciju transporta sektorā, bet uzsver prioritātes efektīvai resursu izmantošanai Latvijā.

Māsaimniecību dekarbonizācijas stratēģijā būtu jāiekļauj visi iespējamie veidi, kā daļēji un/vai līdz nullei samazināt fosilās degvielas izmantošanu transportlīdzekļos, kā arī māsaimniecību

iekārtās, kur tiek izmantots fosilais kurināmais. Taču pirmais, Latvijas apstākļiem vispiemērotākais solis būtu iekārtu, kas darbojas ar fosilo kurināmo un ko izmanto mājokļos, skaita samazināšana, proti, plītis, kur tiek izmantota dabasgāze un sašķidrinātā naftas gāze, aizstājot ar elektriskajām un indukcijas virsmām.

Elektrificējot mājāsaimniecības, nākotnē ir iespējams uz šīs bāzes attīstīt vieglākus un ērtākus veidus, kā pievienot vietējo elektroenerģijas ražošanu no atjaunīgajiem avotiem katram mājoklim (pārvēršot pasīvus patērētājus ražotājlietotājos), samazinot elektroenerģijas izmaksas un kaitīgo gāzu emisijas. Tā ir iespēja optimizēt energoapgādi, izmantot vietējo energoresursu zemāko cenu un samazināt atkarību no enerģijas importa, uzlabot vides kvalitāti un paaugstināt iedzīvotāju pašpārliecību.

6.2. Patērētāju enerģētiskās uzvedības izmaiņu modelēšana kopmītnēs

Lai praksē identificētu pakāpi, kādā iedzīvotāju enerģijas patēriņa paradumi ietekmē energosistēmas rādītājus, starptautiskā projektā “*ITCity*” (*An ICT platform for sustainable energy ecosystem in smart cities* – IKT platforma ilgtspējīgai enerģijas ekosistēmai viedās pilsētās) tika veikts pētījums Bukarestes Politehniskās universitātes (Rumānija) kopmītņu ēkās. Projekta “*ITCity*” mērķis bija apmierināt iedzīvotāju vajadzību pēc jauniem informācijas tehnoloģiju lietojumiem dažādu enerģētikas tehnoloģiju izmantošanā, viedī integrējot tās pilsētas līmenī, izmantojot platformu. Projekta gaitā Bukarestes Politehniskās universitātes (UPB) kopmītnēs Bukarestē, Rumānijā, tika uzstādītas piecas pilotiekārtas. Šajā nodaļā definēta un modelēta konkrētā patēriņa slodžu līkne, balstoties kopmītņu iedzīvotāju uzvedībā.

6.2.1. Metodoloģija

Katrā no piecām kopmītņu ēkām tika uzstādīti viedie skaitītāji, un modelēšanas sākuma brīdī bija pagājis gads, kopš bija sākta datu ieguve un agregācija. Savāktie dati kalpo kā bāze nemainītai parastajai kopmītņu patēriņa ainai, kas tiek izmantota modelēšanas procesā. Modelēšanas vajadzībām tiek izmantotas četras kopmītņu ēkas. Atlasīto kopmītņu vispārējs pārskats apkopots 6.11. tabulā.

6.11. tabula

Kopmītņu vispārējs pārskats

	Stāvu skaits	Lietotāji		Apdzīvojamā telpa		Gada enerģijas patēriņš, kWh
		stāvā, skaits	vienā istabā, skaits	stāvā, m ²	istabā, m ²	
1. kopmītne	5	60	5	360	30	109 440
2. kopmītne	5	80	2	480	12	253 635
3. kopmītne	5	80	2	480	12	246 097
4. kopmītne	5	80	2	480	12	321 194

Apkopotie dati, kas iegūti, izmantojot dažādus avotus (aptaujas, viedo skaitītāju rādījumi, papildu informācija), sniedza informāciju par ikdienas izmaiņām.

Patēriņa aptauja un viedo skaitītāju mērījumi

Patēriņa aptauja tika veikta, lai noskaidrotu izmantoto iekārtu sarakstu un to lietošanas paradumus, sniedzot pārskatu par potenciālo patēriņu gadījumos, kad nav pieejamas patēriņa

uzskaites ierīces. Aptaujā ietverts 24 stundu intervāls darba dienām un nedēļas nogalēm ar konkrētiem 15 minūšu intervāliem, kas tika izvēlēti, lai dotu lietotājiem iespēju pietiekamā mērā regulēt paziņoto patēriņu (6.2. att.).

Šī aptauja tika veikta, lai noteiktu izmantotās iekārtas un vispārējos lietotāju paradumus, lai noteiktu patēriņu vietās, kur nav uzstādīti viedie skaitītāji.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AI		
3																																				
4	#	Device	Average Power [W]	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00	3:15	3:30	3:45	4:00	4:15	4:30	4:45	5:00	5:15	5:30	5:45	6:00	6:15	6:30	6:45	7:00	7:15	7:30		
5	01	Stereo	60																																	
6	02	Air conditioning up to 7,500 BTU	1200																																	
7	03	Air conditioning of 10,000 BTU	1600																																	
8	04	Air conditioning of 12,000 BTU	1760																																	
9	05	Air conditioning of 18,000 BTU	2530																																	
10	06	Hot tub	180																																	
11	07	Food mixer	60																																	
12	08	Gas Boiler	30																																	
13	09	Boiler up to 80 liters	1500																																	
14	10	Boiler from 100 up to 150 liters	2500																																	
15	11	Water pump up to 3/4 HP	1153																																	
16	12	1HP Water Pump	1338																																	
17	13	Electric coffee maker	1000																																	
18	14	Centrifuge for juices	100																																	
19	15	Air circulator	30																																	
20	16	Computer	250	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
21	17	Foam wrapper	65																																	
22	18	Fax	100																																	
23	19	Clothes iron	1000																																	
24	20	Electric oven	2500																																	
25	21	Microwave oven	2000																																	
26	22	Freezer	100																																	
27	23	Refrigerator	40	1			1			1			1			1			1			1			1			1								
28	24	Grill	500																																	
29	25	Blender	100																																	
30	26	Lawn mower	250																																	
31	27	Sewing machine	50																																	
32	28	Washing machine dishes	1500																																	
33	29	Washing machine	1500																																	
34	30	Mixer	100																																	
35	31	Hair dryer	600																																	
36	32	Clothes dryer	600																																	
37	33	Sauna up to 5,000 W	5000																																	

6.2. att. Patēriņa aptaujas fragments.

Bukarestes Politehniskās universitātes studentu kopmītnēs tika uzstādīti viedie skaitītāji. Viedo skaitītāju mērījumi tiek izmantoti, lai salīdzinātu datu precizitāti un reaģētu uz nelielām patēriņa izmaiņām. No viedajiem skaitītājiem tika izmantoti divi datu tipi.

- Nepārtraukts nedēļas patēriņa iztvērums – fragments no reāla nepārtraukta patēriņa ziemas un vasaras sezonā. Šī informācija izmantota, lai salīdzinātu modelēto uzvedību modelī ar faktisko uzvedību, meklējot līdzīgas situācijas, lai apzīmētu modeļa precizitātes pakāpi.
- Gada enerģijas patēriņš – šis rādītājs dots katram stāvam un kopmītnei kopumā; tas tiek izmantots, lai atlasītu atbilstošos modelētos studentus – patērētājus, kuri precīzāk atainotu viedā skaitītāja izmērīto patēriņu.

Lai modelētu situāciju ar dabisko apgaismojumu, no tiešsaistes avota tika ņemta informācija par dabisko apgaismojumu Bukarestē [90].

Modeļu izstrāde

Tika apsvērtas divas modeļu kategorijas – palīgmodeļi (laikrindu analīze) un rezumējošie modeļi. Palīgmodeļi modelē specifiskas detaļas, kas saistītas ar lietotāju patēriņu. Šajā kategorijā ietilpst lietotāju uzvedības, dienasgaismas un iekārtu modeļi. Savukārt rezumējošie modeļi sasaista palīgmodeļu sniegto informāciju, lai iegūtu kopējo modelēto lietotāju patēriņu un modelētu lietotāju apzinīgo enerģētisko uzvedību.

Palīgmodeļi

Palīgmodeļos iegūtie rezultāti saistīti ar pamata ietekmējošiem faktoriem, kas ietekmē individuālo lietotāju patēriņa uzvedību. Iegūtie dati kalpo kā atsaucis masīvs, nodrošinot

rezumējošajam modelim pamatzināšanas par lietotājiem. Palīgmodeļa daļa ietver lietotāju uzvedības modeli, dienasgaismas modeli un iekārtu modeli.

A. Lietotāju uzvedības modelis

Lietotāju uzvedības modelis rada nepieciešamo atsauces bāzi lietotāju ikdienas aktivitātei. Tā ietver miega periodu, ārpusmājas aktivitāti un mājas aktivitāti. Ārpusmājas aktivitāte ir jebkura aktivitāte, kurā lietotājs ir iesaistīts ārpus savas dzīvojamās telpas. Savukārt mājas aktivitāte nozīmē, ka lietotājs atrodas dzīvojamā telpā un, iespējams, piedalās kopējā patēriņā.

Lietotāju uzvedības izpētē pirmais informācijas veids, kas tiek ņemts vērā, ir individuālais studiju grafiks, kas liecina par ārpusmājas aktivitāti darba dienās [91]. Katram lietotājam tiek izmantots viens no 48 savāktajiem studentu grafikiem, iegūstot informāciju par studiju aktivitāti katrai akadēmiskā gada darba dienai.

Studiju grafiks sniedz informāciju par telpu noslodzi darba dienās, bet nedēļas nogalēs paredzētas ārpusmājas aktivitātes, pievienots randomizēts algoritms. Šī algoritma uzdevums ir veidot unikālas aktivitātes nedēļas nogalei. Katra aktivitāte tiek modelēta, randomizēti izvēloties aktivitātes sākuma momentu un tās ilgumu, kas var būt no 1 līdz 10 stundām. Līdzīgi kā citām ārpusmājas aktivitātēm, tiek izmantots līdz vienu stundu garš papildu laiks ceļam gan pirms, gan pēc noteiktas aktivitātes.

Modelēšanā tiek pieņemts, ka lietotājs guļ 6–9 stundas; konkrēto laiku izvēlas, balstoties randomizēta algoritma izdarītajā izvēlē. Turklāt tiek pieņemts, ka lietotājiem ir vismaz viena stunda pirms miega, kā arī pirms došanās ārpusmājas aktivitātēs. 6.3. attēlā redzams potenciālā ikdienas sadalījuma piemērs pa periodiem. Jāatzīmē, ka miega periods, kas seko vakara periodam, tiek ģenerēts, ņemot vērā nākamās dienas informāciju, kas nozīmē, ka lietotājam var būt vakara periods, kas ilgst vēl pēc pusnakts, ja izvēlētais miega periods to atļauj.

6.12. tabulā parādīts lietotāja uzvedības ikstundas piemērs. Lietotāja uzvedība tiek iedalīta 15 minūšu periodos, bet, lai parādītu plašāku periodu, piemēra tabula ir pārvērsta stundās. Ārpusmājas aktivitātes, mājas aktivitātes un miegs attēloti ar noteiktu krāsu un skaitli.

6.12. tabula

Aktivitāšu piemērs pa stundām

Plkst.	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	17.00	18.00	19.00	20.00	21.00	22.00
Aktivitāšu apzīmējums	0	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	0

B. Dienasgaismas modelis

Dienasgaismas modelis tiek izmantots, lai organizētu datus, kas iegūti no tiešsaistes meteoroloģisko datu avota. Dienasgaismas tiek izmantota kā mākslīgajam apgaismojumam alternatīvs risinājums. Modelēšanas procesā tiek pieņemts, ka lietotāji – studenti, pieaugot apzinīgumam enerģijas lietošanā, visticamāk, izvēlēsies efektīvi izmantot dabisko apgaismojumu, kad tas būs iespējams. Dienasgaismas modelis tiek veidots, ģenerējot datu masīvu ar vērtībām, kas ataino katru gada dienu ar divām vērtībām – dienasgaismas perioda sākumu un beigām.

C. Iekārtu modelis

Tika novērtētas un individuāli modelētas visas studentu – lietotāju izmantotās iekārtas, kopā 24. Iekārtu modeļiem, lai gan tie ir unikāli un cits no cita atšķirīgi, ir līdzīgi darbības un vadības principi, jo pastāv iepriekšformēts aptaujas laika soļa mēroga ierobežojums. Tas nozīmē, ka modelētais iekārtas patēriņš tiek veidots vispārinātāks un mazāk detalizēts, izmantojot šo 15 minūšu laika soli.

Iekārtu modeļos tiek izmantoti divi darbības laika periodi – rīts un vakars, kas redzams 6.3. attēlā, kur parādīts viens piemērs. Šie divi darbības laika periodi ir konkrēti noteikti dažām iekārtām, kurām vajadzīga mijiedarbība ar lietotāju, piemēram, televizoram, personālajam datoram u. c., bet tie var būt elastīgi iekārtām, kurām gan ir vajadzīga mijiedarbība ar lietotāju, bet kuras darbojas ārpus noteiktajām laika zonām, piemēram, veļas mazgājamā mašīna, telefona lādētājs u. c. Šīs zonas nav nozīmīgas iekārtām, kas aktīvi darbojas visu diennakti.



6.3. att. Dienas sadalījums periodos.

Katras iekārtas vadības iestatījums ir padarīts unikāls, ņemot vērā šādus parametrus (iestatījumi ir pieejami visām iekārtām, izņemot tās, kas darbojas visu diennakti): iekārtas patēriņš; minimālais darbības laiks; maksimālais darbības laiks; iekārtas izmantošanas iespējas; darbības “logs”; vēlamais izmantošanas periods.

Rezumējošie modeļi

Rezumējošais modelis izmanto palīgmodeļu rezultātu, lai modelētu individuālo patēriņu, ieviestu izmaiņas un pārbaudītu risinājumu īstenojamību.

Lietotāja patēriņa modelis projektē individuālā lietotāja patēriņa uzvedību, ģenerējot lietotāja patēriņa ainu, ņemot informāciju, ko sniedz lietotāja uzvedības modelis un iekārtu modelis, kas ir veidots, balstoties konkrētā informācijā par to, kādam iekārtu lietojumam lietotājs dod priekšroku.

Lai modelētu katra lietotāja uzvedību, lietotāja patēriņa modelī tiek izmantots moduļu šablons, kurā ietilpst informācija par lietotāju uzvedību, saraksts ar 24 iekārtu modeļiem un informācija par to, kādam iekārtu lietojumam lietotāji dod priekšroku. Izmantojot šo modeli, tiek izveidoti 48 unikāli lietotāju patēriņa veidi, izmantojot vienu patēriņa aptauju un 48 dažādus studiju grafikus. Te tiek modelēti 48 indivīdu uzvedība ar līdzīgām vēlmēm, bet unikālu patēriņu. Atšķirība starp modelētajiem lietotāju patēriņiem tiek modelēta, izmantojot dažādas iekārtas un lietotāju doto priekšroku dažādu iekārtu lietošanai. Unikālu rezultātu radīšana no viena un tā paša datu avota notiek ar randomizētām vērtībām. Katrai iekārtai ir minimālais un maksimālais darbības laiks, kas tiek izvēlēts nejaušā veidā katru reizi, kad iekārta tiek lietota. Visbeidzot, katrai iekārtai ir nejauši izvēlēts moments, kad lietotājs sāk to lietot.

Izmantojot lietotāju patēriņa modeli, ir modelēts vairāk nekā 3000 unikālu patēriņa veidu. Modelētie patēriņa veidi neatkārtojas, jo katrs no ģenerētajiem veidiem izmanto unikālu kombināciju, kas ietver lietotāju uzvedību un informāciju par to, kādam iekārtu lietojumam

lietotājs dod priekšroku. Tā rezultātā rodas liels datu masīvs par kopējā patēriņa svārstībām. Šāda dažādība ir nepieciešama, lai dotu lielāku patēriņa daudzveidību, kas tiks izmantota, lai atainotu faktisko patērētāju grupu.

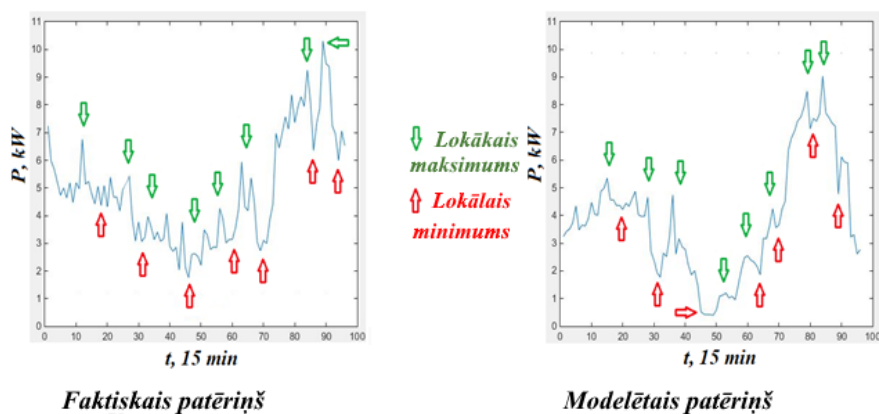
Pēc tam, kad ir modelēts liels dažādu lietotāju skaits atkarībā no kopmītņu iedzīvotāju skaita vienā stāvā, tiek atlasīti 60 vai 80 nejaušu lietotāju modeļi no pabeigtajiem modelējumiem un salīdzināti ar reālajiem viedo skaitītāju mērījumiem, lai atrastu vislabāk atdarināto lietotāju grupu, kas visprecīzāk atspoguļo reālos mērījumus. Tas tiek turpināts, līdz visi četru kopmītņu stāvi ir salasīti ar modelētiem patērētājiem. Šie modelētie patērētāji tiek atlasīti kā potenciālie reālu studentu patēriņa atainotāji un tiek izmantoti patēriņa izmaiņu testēšanai.

Iekārtu patēriņa samazinājuma modeli risināts lietotāju apzinīguma izmaiņu pētīšanas uzdevums, modelējot enerģijas lietošanas apzinīguma pieaugumu trīs patēriņa samazinājuma algoritmu tipu veidā izvēlētām iekārtām: iekārtām, kas tiek lietotas visu diennakti, bet ko nebūtu jālieto tik ilgu laiku; lietotāju apzinīguma pieauguma rezultātā lietotājs centīsies izmantot atsevišķas iekārtas mazāk; attiecībā uz apgaismes risinājumiem, kombinējot dienasgaismas modeli un mākslīgā apgaismojuma izmantošanu. Visi šie algoritmi darbojas, ņemot vērā vienus un tos pašus lietotāju apzinīguma principus un pēta lietotāju apzinīguma ietekmi uz enerģijas lietojumu, izmantojot pakāpenisku apzinīguma pieaugumu no 0 % līdz 100 % iesaistītajiem lietotājiem. Pakāpeniskais apzinīguma pieaugums tiek pētīts ar 5 % soli, ļaujot redzēt, kā katrs ietekmēto lietotāju procents veido ieguvumu, jo 5 % apzinīguma pieaugums tiešā veidā nenozīmē 5 % patēriņa samazinājumu sakarā ar lietotāju aktivitātēm, kas nozīmē, ka vienā gadījumā apzinīgums varētu sniegt lielāku samazinājumu nekā citā.

6.2.2. Rezultāti un to apspriešana

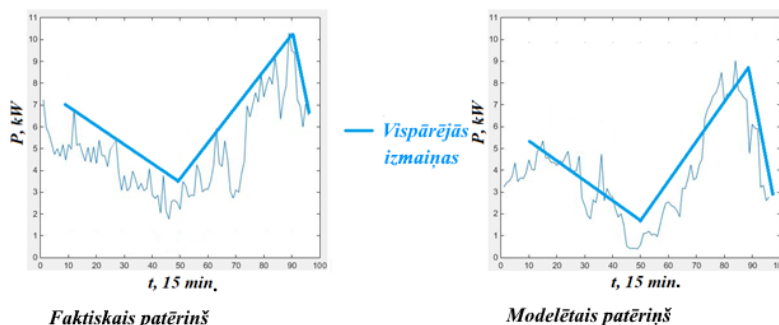
Modelēto rezultātu precizitāte, salīdzinot ar reālo viedo skaitītāju mērījumiem, tika vērtēta, ņemot vērā lokālo maksimumu salīdzinājumu un tiešās vērtības salīdzinājumu (6.4. att.).

Tiek izceltas līdzības starp lokālā maksimuma un lokālā minimuma vērtībām, un var secināt, ka reālie un modelētie patēriņa veidi ir samērā tuvi viens otram un daudzi lokālā maksimuma un lokālā minimuma zonu rezultāti sakrīt. Atlasītais modeļa patēriņš, kas vislabāk atspoguļo reālo patēriņu, tika atrasts, izmantojot abas datu analīzes pieejas. Atainotais modeļa patēriņš uzskatāms par visprecīzāko faktisko patēriņa atspoguļojumu, balstoties uzkrātajos pietuvinātajos rezultātos.



6.4. att. Lokālo minimumu un lokālo maksimumu salīdzinājums.

Modelētā patēriņa precizitāte pārbaudīta, izmantojot piecu dienu patēriņa paraugu, kas izvertis no viedo skaitītāju datiem, atainojot visus gadalaikus. 6.5. attēlā redzamajā piemērā izmantota viena diena rudenī, lai parādītu sakrītošo rezultātu.



6.5. att. Vispārējās patēriņa izmaiņas.

Modelēšanas precizitātes novērtējums veikts visām parauga dienām, panākot precizitātes rādītāju ap 80 %. Var secināt, ka modelētais patēriņš spēj radīt situācijas, kas ir samērā līdzīgas faktiskiem mērījumiem, uzskatot radīto patēriņa precizitāti par pieņemamu un pieņemot modelēto patēriņu par potenciāli reālas situācijas atainojumu.

Pilotnovērtējums. Lietotāju apzinīguma analīze

Bukarestes Politehniskās universitātes studentu kopmītņu novērtējums tika veikts, izmantojot izstrādātos modeļus, kuru darbība balstīta informācijā, kas iegūta reālos mērījumos un aptaujās. 6.13. tabulā apkopots novērtējums par pasākumiem saistībā ar lietotāju apzinīgumu. Šis novērtējums izvēlēts, ņemot vērā iekārtu izmantošanas biežumu un lietotāju izvēli, kā arī spēju ietekmēt patēriņu, nezaudējot komfortu.

6.13. tabula

Lietotāju apzinīguma ietekmēto pasākumu novērtējums

	Definīcija
Dienasgaisma /luminisc. apg.	Lietotājs maksimāli izmanto dabisko apgaismojumu, aizstājot luminiscētā apgaismojuma risinājumus. Darbību ietekmē lietotāja apzinīguma pieaugums efektīvā enerģijas izmantošanā.
Dienasgaisma /LED	Lietotājs maksimāli izmanto dabisko apgaismojumu, aizstājot ar LED izmantošanu saistītos apgaismojuma risinājumus. Darbību ietekmē lietotāja apzinīguma pieaugums efektīvā enerģijas izmantošanā.
Pāreja luminisc. / LED	Efektivitātes uzlabojums, izmantojot efektīvāku elektriskā apgaismojuma risinājumu. Darbību ietekmē lietotāja apzinīguma pieaugums efektīvā enerģijas izmantošanā.
Datora miega režīms	Ilgstoša datora atrašanās ieslēgtā stāvoklī, kad ar to netiek strādāts, rada lielu patēriņa pieaugumu, kad lietotājs datoru tieši neizmanto. Lietotāju apzinīguma pieaugums motivē lietotājus iestatīt datoram automātisku pārslēgšanos uz miega režīmu, kad ar to netiek strādāts.
Datora lietošanas samazinājums	Datora radītā slodze var veidot lielu daļu no lietotāju kopējā patēriņa. Lietotāju apzinīguma pieaugums attiecībā uz enerģijas izmantošanu var likt mazāk izmantot šo iekārtu, tā vietā izvēloties citas aktivitātes vai arī iestatot pārslēgšanos uz miega režīmu brīžos, kad dators netiek tieši izmantots.
Televizora izmantošanas samazinājums	Televizora radītā slodze var veidot lielu daļu no lietotāju kopējā patēriņa. Lietotāju apzinīguma pieaugums attiecībā uz enerģijas izmantošanu var likt mazāk izmantot šo iekārtu, tā vietā izvēloties citas aktivitātes vai arī izslēdzot televizoru, kad tas netiek tieši izmantots.

6.13. tabulas turpinājums

	Definīcija
Elektriskās tējkannas izmantošanas samazināšana līdz paša vajadzībām	Elektriskā tējkanna kā lielas jaudas iekārta var būt efektīva, kad tiek lietderīgi izmantots viss vai gandrīz viss uzvārītais ūdens. Šeit ir iespējami enerģijas ietaupījumi, izvēloties piemērotu ūdens daudzumu, ko ietekmē lietotāju apzinīguma pieaugums.

Lai iegūtu lietotāju apzinīguma pārbaudes rezultātus, ir apskatīta katra iepriekš izvēlēta iekārta, ko potenciāli var ietekmēt lietotāju apzinīguma izmaiņas. 6.14. tabulā apkopoti trešās kopmītnes lietotāju apzinīguma pieauguma rezultāti katram iekārtu veidam atsevišķi. Pārbaudes rezultātu vērtības katrai iekārtai parādītas procentos no kopējā gada enerģijas patēriņa.

6.14. tabula

Lietotāju patēriņa optimizācijas iespējas trešajā kopmītnē

Iekārtas	Luminisc. 25 W uz dab. apgaismoj.	LED 10 W uz dab. apgaismoj.	Luminisc. uz LED	Dators miega rež.	Dators samaz. 20 %	TV samaz. 20 %	Elektr. tējkanna 30 % samaz.
Lietotāju apzinīgums, %							
0	15,00%	6,00%	15,00%	28,10%	28,10%	14,60%	3,80%
50	10,70%	4,30%	10,50%	26,00%	25,30%	13,20%	3,30%
100	6,50%	2,60%	6,00%	23,20%	22,50%	11,70%	2,70%

Lai iegūtu ticamu ainu par lietotāju apzinīgumu, katra pārbaude tika veikta ar 5 % lielu lietotāju apzinīguma pieaugumu. 5 % vērtība reprezentēja četru lietotāju grupu. Rezultātos pētītas izmaiņas no 0 % līdz 100 % lietotāju apzinīguma, taču tika pieņemts, ka 50 % sasniegšana ir saprātīgi sagaidāmā vidējā vērtība, savukārt 100 % lietotāju apzinīgums ir potenciālais teorētiskais maksimums.

6.2.3. Nodaļas secinājumi

Tika veikta iekārtu efektivitātes ietekmes izpēte, ja lietotāju apzinīgums ir 50 %. Tālāk tekstā publicēti pieci no septiņiem modelētajiem gadījumiem (uzskaitīti pēc to vispārējās patēriņa ietekmes stipruma).

- **Apgaismes risinājumi.** Visos testa gadījumos tie nodrošina vislielāko patēriņa samazinājumu. To iespējams sasniegt (3,6–7,9 % četrām modelētajām kopmītnēm), pārejot uz efektīvākiem risinājumiem – LED, tam seko otrais lielākais samazinājums (3,4–7,6 %), ko sasniedz, palielinot dabiskā apgaismojuma izmantošanas apjomu.

- **Risinājumi saistībā ar datoriem.** Mūsdienās plaši tiek lietoti personālie datori, un īpaši tas attiecas uz universitāšu studentiem. No abiem testa gadījumiem visefektīvākais datora patēriņa samazinājums bija arī trešais labākais samazinājums kopumā (1,9–3,3 %), kur datora kopējais lietojuma laiks samazinājās par skaitli līdz 20 %. Nedaudz mazāks patēriņa samazinājums (0–3 %) tika iegūts, izmantojot datora miega režīmu, taču šis risinājums ir ceturtajā vietā no visiem samazinājuma apjomiem kopā.

- **Televīzijas risinājums.** Daudzas no veiktajām aptaujām rādīja, ka lietotāji bieži lietoja ne tikai datorus, bet arī televizorus. Samazinātais patēriņš šai iekārtai ierindojās pēdējā – piektajā – vietā kopējā patēriņa samazinājumā, sniedzot samazinājumu – ap 1,5 %.

7. KOPEJIE SECINAJUMI

1. Tika veikts daudzdimensionāls novērtējums galalietotāju ieguldījumam enerģijas transformācijas procesā ceļā uz dekarbonizācijas mērķi. Tika pierādīta hipotēze par galalietotāju ievērojamo ieguldījumu kopējās energosistēmas efektivitātes un elastības palielināšanā. Izmaiņas galalietotāju enerģētiskajā uzvedībā dod ievērojamus panākumus ceļā uz kopējiem dekarbonizācijas mērķiem.
2. Definētajos uzdevumos tika veikta izpēte, un tie tika sekmīgi atrisināti: tika pētīta viedās pilsētvides ietekme un loma, novērtējot galalietotāju enerģētiskās uzvedības iespējamo ietekmi. Izstrādātā metodoloģiskā lēmumu pieņemšanas pieeja ļāva identificēt vājo vietu pilsētā ilgtspējīgai, dekarbonizētai attīstībai viedās pilsētvides virzienā. Šī metodoloģija ļauj īstenot pilsētas enerģētiskās attīstības vispārīgo shēmu, pilnībā izmantojot tās potenciālu un identificējot trūkumus un nerisinātos jautājumus, lai dotu iespēju tos pareizi labot un risināt. Šāds uzticams modelis kopā ar kvalitatīvu novērtējumu, kur izmantoti piedāvātie daudzfunkcionālie kritēriji, var apmierināt iedzīvotāju un citu pilsētas infrastruktūras dalībnieku vajadzības jebkurā prasību un finansiālo iespēju līmenī, un iegūto pozitīvo pieredzi var izplatīt un izmantot citās pilsētās un rajonos.
3. Tika veikta enerģijas galalietotāju aptauja, identificējot trūkumus respondentu izpratnē par pārejas procesu uz dekarbonizāciju un viedo vidi, jauno tehnoloģiju izmantošanu, viedo patēriņu un kļūšanu par enerģijas ražotājlietotājiem. Iegūtie dati ļauj secināt, ka galalietotāju potenciāls tiek izmantots tikai daļēji, daži galalietotāju uzskati un enerģētiskās uzvedības veidi kavē attīstības procesu. Ar veiktās aptaujas palīdzību kļuva iespējams saprast, kāds būtu turpmākās attīstības virziens, lai iekļautu vēl neizmantotās iespējas. Šo aptauju var izmantot arī jebkurā citā reģionā, lai atklātu galalietotāju enerģētiskās uzvedības veidus, kas dažādās valstīs atšķiras, kā liecina aptauja.
4. Baltijas valstīm tika izstrādāti vairāki scenāriji, modelējot iespējamo ieguldījumu, kādu dotu galalietotāji, kas aktīvi iesaistīti enerģijas ražošanas un patēriņa procesā, aktīvi izmantojot lokālos siltumsūkņus un saules paneļus. Pievienojot atjaunīgās enerģijas jaudas, kā galvenie svarīgie energosistēmas parametri paliek drošība, elastība un ilgtspēja. Izveidotos scenārijus viegli iespējams replicēt arī citās valstīs, ieviešot sistēmā atbilstošus nosacījumus un ierobežojumus.
5. Tika veikti aprēķini un modelēšana esošo ēku intensīvai renovācijai, kas ļauj taupīt enerģiju, identificējot veidus, kā paātrināt energosistēmas dekarbonizāciju ar dažādu parametru kombināciju. Modelējot ēku sektoru ar rīka *Baltic Backbone* un plašās ievāktās datubāzes palīdzību, ir iespējams tālāk modelēt dažādus enerģijas scenāriju nosacījumus,

ņemot vērā strauji mainīgo ģeopolitisko situāciju, kāpjošās energoresursu cenas un jaunu tehnoloģiju ieviešanu.

6. Tika veikta Latvijas virtuvju dekarbonizācijas iespēju analīze, izstrādāti seši scenāriji pārejai uz dekarbonizētu enerģijas patēriņu. Tika veikta salīdzinošā analīze par Latvijas gāzes plīšu aizstāšanu ar elektriskām iekārtām, kā arī automašīnu ar iekšdedzes dzinēju aizstāšanu ar elektroauto. Rezultāti rāda, ka vislabākais veids būtu dekarbonizāciju sākt ar virtuvēm. Šī pētījuma rezultāti būs noderīgi reģionos, kur ir ievērojams skaits mājsaimniecību, kuras ēdiena gatavošanai izmanto gāzi.
7. Pētījumos par enerģētiskās uzvedības ietekmi enerģijas kopienās modelēšana tika veikta, izmantojot kopmītņu piemēru. Iegūtie rezultāti ļauj vērst uzmanību uz visefektīvākajiem pasākumiem energoresursu taupīšanai un var noderēt attīstībai visu veidu enerģijas kopienās, tai skaitā kopmītnēs, hostelos, sociālajās mājās u. c.

Izmantotās literatūras saraksts

- [1] United Nations, 'Adoption of the Paris Agreement. Framework Convention on Climate Change; Technical Report', 2015. <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf> (accessed Jan. 17, 2022).
- [2] European Commission, '2050 long-term strategy ', Accessed: Jan. 17, 2022. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en.
- [3] E.-L. access to E. law European Union, 'Policy framework for climate and energy from 2020 to 2030', Accessed: Jan. 19, 2022. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX%3A52014DC0015>.
- [4] European Commission, "'2030 Climate & Energy Framework'", 2020. https://ec.europa.eu/clima/eu-action/climate-strategies-targets/2030-climate-energy-framework_en (accessed Jan. 06, 2022).
- [5] European Commission, 'Delivering the European Green Deal'. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en.
- [6] K. Vaillancourt, O. Bahn, E. Frenette, and O. Sigvaldason, 'Exploring deep decarbonization pathways to 2050 for Canada using an optimization energy model framework.', *Appl Energy*, vol. 195, pp. 774–785, Jun. 2017.
- [7] European Commission, 'Clean energy for all Europeans package'. https://energy.ec.europa.eu/index_en.
- [8] International Energy Agency (IEA), 'Do we need to change our behaviour to reach net zero by 2050?', Oct. 2021. <https://www.iea.org/articles/do-we-need-to-change-our-behaviour-to-reach-net-zero-by-2050> (accessed Feb. 10, 2022).
- [9] M. Rüdüsüli, S. L. Teske, and U. Elber, 'Impacts of an Increased Substitution of Fossil Energy Carriers with Electricity-Based Technologies on the Swiss Electricity System', *Energies (Basel)*, 2019.
- [10] European Commission, 'Winter Package'. <https://fsr.eui.eu/wp-content/uploads/The-EU-Winter-Package.pdf> (accessed Jan. 19, 2022).

- [11] Eurostat, 'Database'. <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (accessed Jan. 06, 2022).
- [12] 'ODYSSEE-MURE'. <https://www.odyssee-mure.eu/publications/efficiency-trends-policies-profiles/latvia.html#:~:text=In%202018%20the%20final%20energy,comparison%20with%20the%20year%202000.&text=In%20the%20residential%20sector%20energy,FEC%20with%2031%25%20in%202018.> (accessed Feb. 02, 2022).
- [13] Central Statistical Bureau of Latvia, 'Database'. <https://www.csb.gov.lv/> (accessed Jan. 20, 2022).
- [14] A. Razmjoo, A. H. Gandomi, M. Pazhoohesh, S. Mirjalili, and M. Rezaei, 'The key role of clean energy and technology in smart cities development', *Energy Strategy Reviews*, vol. 44, p. 100943, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.esr.2022.100943.
- [15] B. Mattoni, F. Gugliermetti, and F. Bisegna, 'A multilevel method to assess and design the renovation and integration of Smart Cities', *Sustain Cities Soc*, vol. 15, pp. 105–119, Jul. 2015, doi: 10.1016/j.scs.2014.12.002.
- [16] EU Smart Cities Information System., 'The making of a smart city: best practices across Europe'. Accessed: Jan. 26, 2022. [Online]. Available: https://www.smartcities-infosystem.eu/sites/default/files/document/the_making_of_a_smart_city_-_best_practices_across_europe.pdf.
- [17] P. Girardi and A. Temporelli, 'Smartainability: A methodology for assessing the sustainability of the smart city', *Energy Procedia. ScienceDirect*, vol. 111, pp. 810–816, 2017.
- [18] D., C. N. Bounazef, 'Smartainability and mobility strategy: the case of Belgian local governments.', in *The 6th International Conference Innovation Management, Entrepreneurship and Sustainability (IMES 2018), Prague.*, 2018.
- [19] R. Ambrogi, M. de Nigris, P. P. Girardi, and A. Temporelli, 'Contributions from research projects on the Italian power system: Accountability of sustainable energy projects', in *2016 AEIT International Annual Conference (AEIT)*, 2016, pp. 1–4. doi: 10.23919/AEIT.2016.7892814.
- [20] BSI, 'PD 8101 Smart city planning guidelines'. <https://www.bsigroup.com/en-GB/smart-cities/Smart-Cities-Standards-and-Publication/PD-8101-smart-cities-planning-guidelines/> (accessed Jan. 19, 2022).
- [21] A. A. Farag, 'The Story of NEOM City: Opportunities and Challenges', in *New Cities and Community Extensions in Egypt and the Middle East*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 35–49. doi: 10.1007/978-3-319-77875-4_3.
- [22] M. and E. D. Uslar, 'Towards Generic Domain Reference Designation: How to learn from Smart Grid Interoperability', in *D-A-Ch Energieinformatik, Karlsruhe*, 2015. Accessed: Jan. 26, 2022. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/282292571_Towards_Generic_Domain_Reference_Designation_How_to_learn_from_Smart_Grid_Interoperability.
- [23] A. Brutti *et al.*, 'Smart City Platform Specification: A Modular Approach to Achieve Interoperability in Smart Cities', 2019, pp. 25–50. doi: 10.1007/978-3-319-96550-5_2.

- [24] F. Mosannenzadeh, A. Bisello, R. Vaccaro, V. D'Alonzo, G. W. Hunter, and D. Vettorato, 'Smart energy city development: A story told by urban planners', *Cities*, vol. 64, pp. 54–65, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.cities.2017.02.001.
- [25] P. S. Nielsen, S. ben Amer-Allam, and K. Halsnæs, 'Definition of smart energy city and state of the art of 6 transform cities using key performance indicators: Deliverable 1.2. Technical University of Denmark.' Accessed: Jan. 20, 2022. [Online]. Available: http://orbit.dtu.dk/files/60555188/Definiton_of_smart_city_D1.2_FINAL.pdf.
- [26] M. Á. García-Fuentes *et al.*, 'European Cities Characterization as Basis towards the Replication of a Smart and Sustainable Urban Regeneration Model', *Energy Procedia*, vol. 111, pp. 836–845, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.246.
- [27] I. Papastamatiou, V. Marinakis, H. Doukas, and J. Psarras, 'A Decision Support Framework for Smart Cities Energy Assessment and Optimization', *Energy Procedia*, vol. 111, pp. 800–809, Mar. 2017, doi: 10.1016/J.EGYPRO.2017.03.242.
- [28] E. Dall'Anese, P. Mancarella, and A. Monti, 'Unlocking Flexibility: Integrated Optimization and Control of Multienergy Systems', *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 15, no. 1, pp. 43–52, Jan. 2017, doi: 10.1109/MPE.2016.2625218.
- [29] P. Mancarella, G. Andersson, J. A. Pecas-Lopes, and K. R. W. Bell, 'Modelling of integrated multi-energy systems: Drivers, requirements, and opportunities', in *2016 Power Systems Computation Conference (PSCC)*, Jun. 2016, pp. 1–22. doi: 10.1109/PSCC.2016.7541031.
- [30] F., & P. P. Weisi, 'A Discussion on Smart City Management Based on Meta-Synthesis Method', *Management Science and Engineering*, vol. 8, no. 1, pp. 68–72, 2014, Accessed: Jan. 19, 2022. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.3968/j.mse.1913035X20140801.4404>.
- [31] D. Yu, B. Lian, R. Dunn, and S. le Blond, 'Using control methods to model energy hub systems', in *2014 49th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, Sep. 2014, pp. 1–4. doi: 10.1109/UPEC.2014.6934602.
- [32] Thanh-tung Ha, Yong-jun Zhang, Jian-ang Huang, and V. v. Thang, 'Energy Hub modeling for minimal energy usage cost in residential areas', in *2016 IEEE International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE)*, Oct. 2016, pp. 659–663. doi: 10.1109/ICPRE.2016.7871161.
- [33] M. Rayati, A. Sheikhi, and A. M. Ranjbar, 'Applying reinforcement learning method to optimize an Energy Hub operation in the smart grid', in *2015 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, Feb. 2015, pp. 1–5. doi: 10.1109/ISGT.2015.7131906.
- [34] F. Si, J. Wang, Y. Han, Q. Zhao, P. Han, and Y. Li, 'Cost-efficient multi-energy management with flexible complementarity strategy for energy internet', *Appl Energy*, vol. 231, pp. 803–815, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.09.152.
- [35] H. Mora, J. C. Mendoza-Tello, E. G. Varela-Guzmán, and J. Szymanski, 'Blockchain technologies to address smart city and society challenges', *Comput Human Behav*, vol. 122, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.chb.2021.106854.
- [36] M.-L. Marsal-Llacuna, 'Future living framework: Is blockchain the next enabling network?', *Technol Forecast Soc Change*, vol. 128, pp. 226–234, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.techfore.2017.12.005.

- [37] J. Hwang *et al.*, ‘Energy Prosumer Business Model Using Blockchain System to Ensure Transparency and Safety’, *Energy Procedia*, vol. 141, pp. 194–198, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.11.037.
- [38] S. Li, ‘Application of Blockchain Technology in Smart City Infrastructure’, in *2018 IEEE International Conference on Smart Internet of Things (SmartIoT)*, Aug. 2018, pp. 276–2766. doi: 10.1109/SmartIoT.2018.00056.
- [39] K. Kotobi and M. Sartipi, ‘Efficient and Secure Communications in Smart Cities using Edge, Caching, and Blockchain’, in *2018 IEEE International Smart Cities Conference (ISC2)*, Sep. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/ISC2.2018.8656946.
- [40] Y. Qian, Z. Liu, J. Yang, and Q. Wang, ‘A Method of Exchanging Data in Smart City by Blockchain’, in *2018 IEEE 20th International Conference on High Performance Computing and Communications; IEEE 16th International Conference on Smart City; IEEE 4th International Conference on Data Science and Systems (HPCC/SmartCity/DSS)*, Jun. 2018, pp. 1344–1349. doi: 10.1109/HPCC/SmartCity/DSS.2018.00223.
- [41] G. C. Lazaroiu and M. Roscia, ‘Blockchain and smart metering towards sustainable prosumers’, in *2018 International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM)*, Jun. 2018, pp. 550–555. doi: 10.1109/SPEEDAM.2018.8445384.
- [42] Z. Guan *et al.*, ‘Privacy-Preserving and Efficient Aggregation Based on Blockchain for Power Grid Communications in Smart Communities’, *IEEE Communications Magazine*, vol. 56, no. 7, pp. 82–88, Jul. 2018, doi: 10.1109/MCOM.2018.1700401.
- [43] J. Xie *et al.*, ‘A Survey of Blockchain Technology Applied to Smart Cities: Research Issues and Challenges’, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2794–2830, 2019, doi: 10.1109/COMST.2019.2899617.
- [44] C. Shen and F. Pena-Mora, ‘Blockchain for Cities – A Systematic Literature Review’, *IEEE Access*, vol. 6, pp. 76787–76819, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2880744.
- [45] C. Lazaroiu and M. Roscia, ‘RESCoin to improve Prosumer Side Management into Smart City’, in *2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Oct. 2018, pp. 1196–1201. doi: 10.1109/ICRERA.2018.8566844.
- [46] S., N. P., P. S. Kiran, ‘A Study on the Limitations of Blockchain and the Usage of Consensus Models in Blockchain Technology’, *International Journal of Research*.
- [47] A. Hayar and G. Betis, ‘Frugal social sustainable collaborative smart city casablanca paving the way towards building new concept for “future smart cities by and for all”’, in *2017 Sensors Networks Smart and Emerging Technologies (SENSET)*, Sep. 2017, pp. 1–4. doi: 10.1109/SENSET.2017.8305444.
- [48] G. Ramesh, ‘Frugal Smart Solutions for Pan City Development’. Accessed: Jan. 26, 2022. [Online]. Available: http://udaipursmartcity.in/wp-content/uploads/2015/10/Frugal_Smart_Solutions-IIMB_Delhi.pdf.
- [49] U. Aguilera, O. Peña, O. Belmonte, and D. López-de-Ipiña, ‘Citizen-centric data services for smarter cities’, *Future Generation Computer Systems*, vol. 76, pp. 234–247, Nov. 2017, doi: 10.1016/j.future.2016.10.031.

- [50] International Electrotechnical Commission, ‘Orchestrating infrastructure for sustainable Smart Cities. White Paper. Switzerland.’ Accessed: Jan. 26, 2022. [Online]. Available: <https://www.ceps.eu/wp-content/uploads/2015/01/iecWP-smartcities-LR-en.pdf>.
- [51] D. U. The Aspen Institute: Washington, ‘The City of Platform: How Digital Networks Are Changing Urban Life and Governance’, 2006. Accessed: Jan. 26, 2022. [Online]. Available: <http://csreports.aspeninstitute.org/documents/CityAsPlatform.pdf>.
- [52] ‘Elering’. <https://elering.ee/> (accessed Jan. 19, 2022).
- [53] ‘Energinet’. <https://energinet.dk/EI/DataHub#Dokumenter> (accessed Jan. 19, 2022).
- [54] ‘Elhub’, Accessed: Jan. 19, 2022. [Online]. Available: <http://elhub.no/en/elhub>.
- [55] APCS, ‘Dataset’. <https://www.apcs.at/en> (accessed Jan. 19, 2022).
- [56] A.-V. Anttiroiko, ‘City-as-a-Platform: The Rise of Participatory Innovation Platforms in Finnish Cities’, *Sustainability*, vol. 8, no. 9, p. 922, Sep. 2016, doi: 10.3390/su8090922.
- [57] B. Thornton, ‘City-as-a-platform: Applying platform thinking to cities’. <http://www.platformed.info/city-as-a-platform-applying-platform-thinking-to-cities/> (accessed Jan. 26, 2022).
- [58] A.-V. Anttiroiko, ‘Smart Cities: Building Platforms for Innovative Local Economic Restructuring’, 2015, pp. 23–41. doi: 10.1007/978-3-319-03167-5_3.
- [59] M. A. Kaulio, ‘Customer, consumer and user involvement in product development: A framework and a review of selected methods’, *Total Quality Management*, vol. 9, no. 1, pp. 141–149, Feb. 1998, doi: 10.1080/0954412989333.
- [60] EC, ‘GEO-C project’. <https://ec.europa.eu/research-and-innovation/en/projects/success-stories/all/citizen-centred-approach-smart-cities> (accessed Jan. 27, 2022).
- [61] S. Sareen, ‘Digitalisation and social inclusion in multi-scalar smart energy transitions’, *Energy Res Soc Sci*, vol. 81, p. 102251, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.ERSS.2021.102251.
- [62] J. Heaton and A. K. Parlikad, ‘A conceptual framework for the alignment of infrastructure assets to citizen requirements within a Smart Cities framework’, *Cities*, vol. 90, pp. 32–41, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.cities.2019.01.041.
- [63] M. Kubli, M. Loock, and R. Wüstenhagen, ‘The flexible prosumer: Measuring the willingness to co-create distributed flexibility’, *Energy Policy*, vol. 114, pp. 540–548, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.enpol.2017.12.044.
- [64] J. Axsen and B. K. Sovacool, ‘The roles of users in electric, shared and automated mobility transitions’, *Transp Res D Transp Environ*, vol. 71, pp. 1–21, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.trd.2019.02.012.
- [65] Lattelecom, ‘Informatīvs materiāls par elektroenerģijas tirgu Latvijā un tā jauno spēlētāju Lattelecom ar zīmolu tet’, 2017. https://www.likta.lv/LV/Presei/Lists/Biedru_relizes_pazinojumi/Attachments/139/tet_informativais%20materials.pdf (accessed Jan. 19, 2022).
- [66] U.S. Department of Energy, ‘Customer Participation in the Smart Grid –Lessons Learned’, 2014, Accessed: Jan. 19, 2022. [Online]. Available:

- <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/10/f18/SG-CustParticipation-Sept2014.pdf>.
- [67] N. Helistö *et al.*, ‘Backbone—An Adaptable Energy Systems Modelling Framework’, *Energies (Basel)*, vol. 12, no. 17, p. 3388, Sep. 2019, doi: 10.3390/en12173388.
- [68] VTT, ‘Repository for FasTen Baltic–Nordic modelling’. <https://gitlab.vtt.fi/backbone/projects/fasten-model> (accessed Jan. 06, 2022).
- [69] T. J. Lindroos *et al.*, *Baltic Energy Technology Scenarios 2018*. Copenhagen: Nordic Council of Ministers, 2018. doi: 10.6027/TN2018-515.
- [70] European Union funds, ‘Operational programme “Growth and Employment”’, Accessed: Jan. 06, 2022. [Online]. Available: https://www.esfondi.lv/upload/Planosana/FMProg_270115_OP_ENG_2.pdf.
- [71] ‘State-owned development finance institution “Altum”’. <https://www.altum.lv/en/services/energy-efficiency/energy-efficiency-in-multi-apartment-buildings/about-the-programme/> (accessed Jan. 06, 2022).
- [72] European Commission, ‘Information report. Long-term strategy for the renovation of buildings. 2020’. https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/lv_2020_ltrs_official_translation_en.pdf (accessed Jan. 06, 2022).
- [73] O. Abdur Rehman, V. Palomba, A. Frazzica, and L. F. Cabeza, ‘Enabling Technologies for Sector Coupling: A Review on the Role of Heat Pumps and Thermal Energy Storage’, *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 24, p. 8195, Dec. 2021, doi: 10.3390/en14248195.
- [74] I. Stoyanov, T. Iliev, and G. Mihaylov, ‘A Statistical Study of the Electricity Consumption of Household Consumers During the Spring Period in Ruse, Bulgaria’, in *THE 12th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING*, 2021.
- [75] Z. Broka, K. Baltputnis, A. Sauhats, L. Sadovica, and G. Junghans, ‘Stochastic Model for Profitability Evaluation of Demand Response by Electric Thermal Storage’, in *2018 IEEE 59th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, Nov. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/RTUCON.2018.8659837.
- [76] D. Zalostiba and D. Kiselovs, ‘A Review: The Energy Poverty Issue in the European Union and Latvia’, *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, vol. 58, no. 3, pp. 227–248, Jun. 2021, doi: 10.2478/lpts-2021-0028.
- [77] R. Lazdins, A. Mutule, and D. Zalostiba, ‘PV Energy Communities—Challenges and Barriers from a Consumer Perspective: A Literature Review’, *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 16, p. 4873, Aug. 2021, doi: 10.3390/en14164873.
- [78] J. Teremranova and A. Mutule, *Smart Approach to Management of Energy Resources in Smart Cities: Evaluation of Models and Methods*. 2021. doi: 10.1007/978-3-030-57332-4_1.
- [79] J. Teremranova and A. Sauhats, ‘Electrification and Decarbonization Potential Assessment of Latvian Dwellings’, in *2020 IEEE 61st Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON 2020 – Proceedings*, 2020. doi: 10.1109/RTUCON51174.2020.9316549.

- [80] E. Papadis and G. Tsatsaronis, ‘Challenges in the decarbonization of the energy sector’, *Energy*, vol. 205, p. 118025, Aug. 2020, doi: 10.1016/J.ENERGY.2020.118025.
- [81] J. Martínez-Gómez, D. Ibarra, S. Villacis, P. Cuji, and P. R. Cruz, ‘Analysis of LPG, electric and induction cookers during cooking typical Ecuadorian dishes into the national efficient cooking program’, *Food Policy*, vol. 59, pp. 88–102, Feb. 2016, doi: 10.1016/J.FOODPOL.2015.12.010.
- [82] Central Statistical Bureau of Latvia, ‘Energy consumption in households’. https://data.stat.gov.lv/pxweb/en/OSP_OD/OSP_OD__apsekojumi__energ_pat/ (accessed May 18, 2022).
- [83] H. Im and Y. Kim, ‘The Electrification of Cooking Methods in Korea—Impact on Energy Use and Greenhouse Gas Emissions’, *Energies (Basel)*, vol. 13, no. 3, p. 680, Feb. 2020, doi: 10.3390/en13030680.
- [84] S. D. Probert and M. Newman, ‘Thermal performances of induction, halogen and conventional electric catering hobs.’, *Appl Energy*, vol. 37, pp. 37–71.
- [85] C. Karunanithy and K. Shafer, ‘Heat transfer characteristics and cooking efficiency of different sauce pans on various cooktops’, *Appl Therm Eng*, vol. 93, pp. 1202–1215, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.APPLTHERMALENG.2015.10.061.
- [86] ‘Latvijas Gāze’. <https://lg.lv/> (accessed Apr. 01, 2022).
- [87] ‘Methods for calculating the consumption of liquefied petroleum gas by the population in the absence of gas meters. (in Russian)’, Accessed: Jan. 20, 2022. [Online]. Available: <http://docs.cntd.ru/document/902174159>.
- [88] D. Chioran and H. Valean, ‘Low Cost Autonomous Learning and Advising Smart Home Automation System’, *Intelligent Automation & Soft Computing*, vol. 31, no. 3, pp. 1939–1952, 2022, doi: 10.32604/iasc.2022.020649.
- [89] Road Traffic Safety Directorate of Latvia, ‘CSDD’. <https://www.csdd.lv/en/> (accessed Nov. 24, 2022).
- [90] Timeanddate, ‘Natural lighting in Bucharest, Romania (2018/2019)’, Accessed: Jan. 20, 2022. [Online]. Available: <https://www.timeanddate.com/sun/romania/bucharest>.
- [91] ‘UPB student schedule (study year 2018/2019)’, Accessed: Jan. 20, 2022. [Online]. Available: <http://www.electro.pub.ro/licenta/orar/>.



Jana Teremranova ieguvusi bakalaura grādu RTU Mašīnzinību (kopš 2015 – Mašīnzinību, transporta un aeronautikas) fakultātē aparātbūves specialitātē (1994) un maģistra grādu medicīnas inženierzinātnē un fizikā (1997).

J. Teremranova strādājusi LR Centrālās statistikas pārvaldes Vides un enerģētikas statistikas daļā, sagatavojot Latvijas energobilanci. Kopš 2017. gada bijusi Fizikālās enerģētikas institūta pētniece Viedo tīklu pētniecības centrā, piedaloties starptautiskajā projektā *ITCity ("An ICT platform for sustainable energy ecosystem in smart Cities")*. Patlaban ir RTU Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātes Enerģētikas institūta pētniece. Zinātniskās intereses saistītas ar dekarbonizācijas iespējamo scenāriju izpēti pārejai no fosilā kurināmā uz oglekļa neitralitāti, kā arī ar galapatērētāju enerģētiskās uzvedības scenāriju ietekmes novērtēšanu uz energosistēmu kopumā.