

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

Lelde TIMMA
Vides zinātnes programmas doktorante

SOCIOTEHNISKO PĀREJU IZPĒTES METODOLOĢIJA

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji

profesore *Dr. sc. ing.*
ANDRA BLUMBERGA

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

RTU Izdevniecība

Rīga 2017

Timma L. Sociotehnisko pāreju izpētes metodoloģija. romocijas darba kopsavilkums. – R.: RTU Izdevniecība, 2017. – 30 lpp.

Iespiests saskaņā ar Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta 2017. gada 25. maija lēmumu, protokols Nr. 78.

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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda (*Dr. sc. ing.*) vides zinātnē iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2017. gada 30. augustā, 14:00 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 115. telpā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Dr. habil. chem. Māris Kļaviņš, Latvijas Universitāte

Dr. sc. ing. Žaneta Stasiškienė, Kauņas Tehnoloģiju universitāte

Dr. sc. ing. Kamenders, Rīgas Tehniskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

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

Lelde Timma..... (Paraksts)

Datums

Promocijas darbs uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 17 zīmējumu un ilustrācijas, sešas tabulas, 134 lappuses un seši pielikumi. Promocijas darba literatūras sarakstā ir 79 nosaukumi.

SATURA RĀDĪTĀJS

Promocijas darba aktualitāte.....	5
Promocijas darba mērķis un uzdevumi.....	5
Promocijas darba zinātniskā novitāte	6
Promocijas darba praktiskā nozīme.....	6
Promocijas darba struktūra un apraksts	14
1.ĪSS IZMANTOTO RISINĀJUMU APRAKSTS.....	15
1.1. Energiefektivitāte un enerģijas pārvaldība	17
1.2. Ekoinovāciju difūzija.....	18
2.PĒTĪJUMA METODOLOĢIJA	19
2.1. Miksētas modelēšanas paņēmiens	19
2.1.1. Nolūka ietvari	19
2.1.2. Sistēmdinamika	19
2.2. Daudzkārt miksētas modelēšanas paņēmiens	20
2.2.1. Empīriskais pētījums	20
2.2.2. Sistēmdinamikas modelis	22
2.3. Hibrīds modelēšanas paņēmiens.....	22
3.PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN TO ANALĪZE	24
3.1. Miksētas modelēšanas paņēmiens	24
3.2. Daudzkārt miksētas modelēšanas paņēmiens	24
3.2.1. Energiefektivitātes un enerģijas pārvaldības gadījumizpēte.....	25
3.2.2. Ekoinovāciju difūzijas gadījumizpēte.....	26
3.3. Hibrīds modelēšanas paņēmiens.....	28
SECINĀJUMI	29

Šī darba izstrādi atbalstīja valsts pētījuma programma “Ilgtspējīga klimata politika un inovatīvi, energiefektīvi tehnoloģiski risinājumi (LATENERGI)”.

Promocijas darba aktualitāte

Ekoinovācijas iniciatīva tika izstrādāta kā viens no galvenajiem stūrakmeņiem ilgtspējīgai, viedai un integrētai izaugsmei kā atbildes reakcijas uz finansiālo lejupslīdi un arvien jaunām sociālām problēmām. Tomēr eksperti arvien biežāk norāda, ka viena svarīga saikne joprojām iztrūkst – kamēr, galvenokārt, visa uzmanība tiek koncentrēta uz tehniskajiem jauninājumiem un apkārtējās vides aizsardzību, sociālie aspekti pārsvarā netiek ņemti vērā. Šie sociālie aspekti ietver cilvēkus, ekonomikas, politikas, organizatoriskās un citas mijiedarbības sistēmā. Apvienojot šīs trīs jomas – sociālo, tehnisko un apkārtējās vides – autore pētīja tā saucamās sociotehniskās sistēmas.

Pašlaik izpēte, izmantojot sociālos un tehniskos aspektus, lai studētu pārejas procesus, ir sadrumstalota, gan starp dažādām gadījumu izpētēm, gan dažādām izmantotajām metodēm, gan zinātnes jomām. Jo īpaši enerģētikas izpētes jomā lielākā daļa pētniecības darbu aplūko sistēmu tehnoloģiski ekonomiskos aspektus, līdz šim tikai dažos darbos ir mēģināts iekļaut arī sociotehniskās perspektīvas.

Ir konstatēts, ka trūkst skaidras holistiskas metodoloģijas, tāpēc šī darba galvenais mērķis ir saistīt inženierzinātņu un sociālo zinātņu izpētes jomas, lai radītu šādu holistisku modelēšanas pieeju. Tāpēc promocijas darbs fokusējas uz metodoloģijas veidošanas gaitu. Kā gadījuma izpētes objekts šajā darbā ir izmantots mājsaimniecību sektors. Laika gaitā tika attīstīta izmantoto metodiku sarežģītība, lai atbilstu pieaugošās sarežģītības pētniecības jautājumiem.

Autore šajā darbā apskata sociotehniskos pārejas procesus, raugoties no dažādu nozaru, piemēram, enerģijas izmantošanas, pārveides un pārvaldības, inovāciju difūzijas un citu Pārejas procesi tika aplūkoti arī no dažādu izmantoto metodiku skatupunkta, pētot šo metodiku kombinācijas. Un pēdējais, bet ne mazāk svarīgais – darbā pārejas procesi tiek aplūkoti no dažādu zinātnes nozaru – gan inženierzinātņu, gan sociālo zinātņu – viedokļa.

Promocijas darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir izveidot, piemērot un izvērtēt holistisku metodoloģiju sociotehnisko pāreju izpētei. Izmantoto metodiku sarežģītība tika izstrādāta laika gaitā, lai tā atbilstu pieaugošās sarežģītības pētniecības jautājumiem. Lai sasniegtu mērķi, tika definēti šādi uzdevumi:

1. veikt sociotehnisko pārejas procesu izpēti energoefektivitātes un enerģijas pārvaldības jomā;
2. veikt sociotehnisko pārejas procesu izpēti ekoinovāciju difūzijas jomā;
3. izveidot un novērtēt miksētu modelēšanas pieeju sociotehniskām pārejām, veicot gadījumu izpēti;
4. izveidot un novērtēt daudzkārt miksētu modelēšanas pieeju sociotehniskām pārejām, veicot gadījumu izpēti;
5. izveidot un novērtēt hibrīdu modelēšanas pieeju sociotehniskām pārejām, veicot gadījumu izpēti.

Promocijas darba zinātniskā novitāte

Šajā darbā divi galvenie zinātniskās novitātes punkti. Pirmkārt, ir attīstīti sociotehnisku pāreju pētījumi enerģētikas jomā un vides aizsardzībā. Mūsdienās eksperti arvien biežāk norāda, ka viena svarīga saikne joprojām iztrūkst – kamēr, galvenokārt, visa uzmanība tiek koncentrēta uz tehniskajiem jauninājumiem un apkārtējās vides aizsardzību, sociālie aspekti pētījumos pārsvarā netiek ņemti vērā. Tāpēc šis darbs paplašina pašreizējās zināšanas sociotehnisku pārejām jomā, analizējot cēloņus sociālajām un tehnoloģiskajām pārmaiņām. Darbs aplūko, kā šīs pārejas iesākas, attīstās un norimst.

Otrkārt, darbs piedāvā kompleksu pētījumu, kurā tiek izstrādātas jaunas modelēšanas metodikas. Izveidotās metodikas apvieno tehnisko un sociālo sistēmu un apkārtējās vides aspektus, tādējādi nodrošinot holistiskus modelēšanas instrumentus, lai pētītu sociotehniskās pārejas. Izstrādātās metodikas ir dažādu sarežģītības līmeņu, no miksētiem līdz hibrīdiem modelēšanas rīkiem, kas satur četras metodikas (sociālo psiholoģiju, statistikas datu analīzi sistēmdinamiku un mākslīgo intelektu).

Balstoties uz autores zināšanām, šī ir pirmā reize, kad sociotehniskās pārejas tiek pētītas, izmantojot jaunākās zināšanas un modelēšanas instrumentus gan no inženierzinātņu, gan no sociālo zinātņu skatupunkta. Darbā ir izstrādāta un validēta arī metodikas izstrāde, kas izmanto „baltās kastes” modeļus (sistēmdinamikas) kopā ar „melnās kastes” modeļiem (mākslīgais intelekts).

Promocijas darba praktiskā nozīme

Šobrīd klimata pārmaiņu mazināšanu neiet efektīvāko ceļu, jo vairāku ekoinovāciju un energoefektivitātes risinājumu, kas jau ir sasnieguši augstu attīstības līmeni, izplatība tirgū ir lēna. Tāpēc šajā darbā izstrādātās metodoloģijas sociotehniskām pārejām tiek aprobētas divos izpētes virzienos: energoefektivitātes un enerģijas pārvaldībā un ekoinovāciju difūzijas jomā.

Darba praktiskā nozīme ir politikas pasākumu izpēte šajās jomās, lai virzītos uz ilgtspējību pa efektīvāko ceļu. Tādējādi, izmantojot izstrādāto ietvaru politiku, veidotāji var analizēt pagātnes tendences, piemēram, apgaismojuma tehnoloģiju izplatīšanos, apzināt vājās vietas un tādējādi pārbaudīt dažādas politikas instrumentus, lai veicinātu energoefektīvu apgaismojuma risinājumu apgūšanu. Turklāt izstrādātajā metodoloģijā tiek ņemta vērā arī cilvēka uzvedība, tādējādi palielinot modelēšanas rezultātu ticamību. Piedāvātas metodes tādējādi var virzīt lēmumu pieņemšanas procesu un modelēt dažādu attīstības scenāriju rezultātus. Izmantojot iegūtās zināšanas, nozares var tikt efektīvāk attīstītas, lai sasniegtu ilgtspējīgas attīstības mērķus.

Izstrādātais darbs ļauj aprobēt attīstīto metodoloģiju arī uz citu tehnoloģiju un pakalpojumu gadījumizpēti dažādos ekonomikas līmeņos. Izstrādātās metodikas var gūt praktisku lietojamību gan akadēmiskās pētniecības, gan politikas veidotāju, gan uzņēmēju un investoru vidē.

Aprobācija

Promocijas darba rezultāti ir prezentēti 12 starptautiskajās zinātniskajās konferencēs un ir publicēti 25 pilna teksta rakstu (19 *SCOPUS* datubāzē un 15 *ISI Web of Science* datubāzē) un vienas tēzes veidā starptautiskos zinātniskos žurnālos un konferenču materiālos.

Prezentācijas starptautiskajās zinātniskajās konferencēs

1. Timma L., Blumberga A., Bazbauers G., Blumberga D. Novel Tools to Study Socio-Technical Transitions in Energy Systems // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2017, 2017. gada 10.–12. maijs, Rīga, Latvija.
2. Timma L., Bariss U., Dandens A., Blumberga A., Blumberga D. Framework for the Assessment of Household Electricity Saving by Integrating Behavioural Aspects // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2015, 2015. gada 14.–16. oktobris, Rīga, Latvija.
3. Timma L., Bariss U., Blumberga A., Blumberga D. Outlining Innovation Diffusion Processes in Households Using System Dynamics. Case Study: Energy Efficiency Lighting // 7th International Conference on Applied Energy, ICAE 2015; 2015. gada 28.–31. marts, Abū Dabī, Apvienotie Arābu Emirāti.
4. Timma L., Blumberga A., Blumberga D. Understanding the Technological Substitution by Hybrid Modelling Practice: A Methodological Approach // 18th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2015, 2015. gada 23.–27. augusts, Kučinga, Malaizija.
5. Blumberga A., Timma L., Lauka D., Dace E., Barisa A., Blumberga D. Achieving Sustainability in Non-ETS Sectors using System Dynamics Modelling Practice // 18th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2015, 2015. gada 23.–27. augusts, Kučinga, Malaizija.
6. Timma L., Blumberga A., Blumberga D. Combined and Mixed Methods Research in Environmental Engineering: When Two is Better than One // International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2014, 2014. gada 14.–16. oktobris, Rīga, Latvija.
7. Blumberga A., Timma L., Vilgerts J., Blumberga D. Assessment of Sustainable Collection And Recycling Policy of Lead-Acid Accumulators from the Perspective of System Dynamics Modelling // 17th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction PRES 2014, 2014. gada 23.–27. augusts, Prāga, Čehija.

8. Timma L., Vilgerts J., Vanaga R., Kļavenieks K., Blumberga D. Decomposition Analysis Based on IPAT and Kaya Identity for Assessment of Hazardous Waste Flow Within Enterprise // 27th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy System, ECOS 2014, 2014. gada 15.–19. jūnijs, Turku, Somija.
9. Timma L., Blumberga D. Index Decomposition Analysis for Energy Sectors in Latvia // 6th International Conference on Applied Energy, ICAE 2014, 2014. gada 30. maijs – 2. jūnijs, Taibei, Taivāna.
10. Bariss U., Timma L., Blumberga D. Smart Metering Pilot Project Results // 6th International Conference on Applied Energy, ICAE 2014, 2014. gada 30. maijs–2. jūnijs, Taibei, Taivāna.
11. Vilgerts J., Timma L., Romagnoli F., Blumberga A., Blumberga D. A System Dynamics Model for the Assessment of Hazardous Waste Management System. Case Study: Waste Batteries and Accumulators // 8th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environmental Systems, SDEWES 2013, 2013. gada 22.–27. septembris, Dubrovņiki, Horvātija.
12. Vilgerts J., Timma L., Blumberga D. A Methodology for Quantification of Hazardous Waste Flows: Case Study for the Baltic States (Estonia, Latvia, Lithuania) // 13th The International Conference on Environmental, 2013. gada 5.–7. septembris, Atēnas, Grieķija.
13. Vilgerts J., Timma L., Blumberga D. A Forecast Model for Projecting the Amount of Hazardous Waste // International Conference on Waste Management (ICWM 2013), 2013. gada 13.–14. maijs, Kopenhāgena, Dānija.
14. Vilgerts J., Timma L., Blumberga D. A Methodology for Forecasting Hazardous Waste Flows // 7th International Conference on the Impact of Environmental Factors on Health “Environmental Health Risk VII”, 2013. gada 23.–25. aprīlis, Budapešta, Ungārija.

Publikācijas par promocijas darba tēmu

1. Timma L., Blumberga A., Bazbauers G., Blumberga D. Novel Tools to Study Socio-Technical Transitions in Energy Systems // Pieņemta Energy Procedia on International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2017. lpp. 4 (*Izskatīšanā Scopus and ISI Web of Science*).
2. Timma L., Bazbauers G., Bariss U., Blumberga A., Blumberga D. Energy Efficiency Policy Analysis Using Socio-Technical Approach and System Dynamics. Case Study of Lighting in Latvia's Households // Pieņemta publicēšanai žurnālā Energy Policy <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.07.030> (*Izskatīšanā Scopus and ISI Web of Science*).

3. Timma L., Zoss T., Blumberga D. Life after the Financial Crisis. Energy Intensity and Energy Use Decomposition on Sectorial Level in Latvia // *Applied Energy* (ISSN: 0306-2619) – 2016 – 162. sējums – lpp. 1586–1592. doi:10.1016/j.apenergy.2015.04.021 (*Scopus un ISI Web of Science*).
4. Muizniece I., Timma L., Blumberga D. Biotechnomy Innovations Development Barriers in Latvia // *Energy Procedia on International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT 2016* (ISSN: 1876-6102) – 2017 – 113. sējums – lpp. 285–288. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.067> (*Izskatīšanā Scopus un ISI Web of Science*).
5. Muizniece I., Timma L., Blumberga A., Blumberga D. The Methodology for Assessment of Bioeconomy Efficiency // *Energy Procedia on International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT 2015* (ISSN: 1876-6102) – 2016 – 95. sējums – lpp. 482–486. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.072> (*Scopus un ISI Web of Science*).
6. Timma L., Skudritis R., Blumberga D. Benchmarking Analysis of Energy Consumption in Supermarkets // *Energy Procedia on International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT 2015* (ISSN: 1876-6102) – 2016 – 95. sējums – lpp. 435–438. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.056> (*Scopus un ISI Web of Science*).
7. Timma L., Bariss U., Dandens A., Blumberga A., Blumberga D. Framework for the Assessment of Household Electricity Saving by Integrating Behavioural Aspects // *Energy Procedia on International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT 2015* (ISSN: 1876-6102) – 2016 – 95. sējums – lpp. 517–521. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.078> (*Scopus un ISI Web of Science*).
8. Vīgants E., Blumberga A., Timma L., Ījabs I., Blumberga D. The Dynamics of Technological Substitution: The Case of Eco-Innovation Diffusion of Surface Cleaning Products // *Journal of Cleaner Production* (ISSN: 0959-6526) – 2016 – 132. sējums – lpp. 279–288. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.10.007 (*Scopus un ISI Web of Science*).
9. Bazbauers G., Bariss U., Timma L., Lauka D., Blumberga A., Blumberga D. Electricity Saving in Households due to the Market Liberalization and Change in the Consumer Behaviour // *Energetika* (ISSN: 0235-7208) – 2015 – 61. sējums – lpp. 108–118. doi: 10.6001/energetika.v61i3-4.3251 (*Scopus*).
10. Timma L., Bariss U., Blumberga A., Blumberga D. Outlining Innovation Diffusion Processes in Households Using System Dynamics. Case Study: Energy Efficiency Lighting // *Energy Procedia on Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future* (ISSN: 1876-6102) – 2015 – 75. sējums – lpp. 2859–2864. doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.574 (*Scopus un ISI Web of Science*).

11. Timma L., Blumberga A., Blumberga D. Understanding the Technological Substitution by Hybrid Modelling Practice: A Methodological Approach // Chemical Engineering Transactions on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (ISSN: 1974-9791) – 2015 – 45. sējums – lpp. 379–384. doi: 10.3303/CET1545064 (*Scopus un ISI Web of Science*).
12. Blumberga A., Timma L., Lauka D., Dace E., Barisa A., Blumberga D. Achieving Sustainability in Non-ETS Sectors Using System Dynamics Modelling Practice // Chemical Engineering Transactions on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (ISSN: 1974-9791) – 2015 – 45. sējums – lpp. 871–876. doi: 10.3303/CET1545146 (*Scopus un ISI Web of Science*).
13. Bariss U., Dandens A., Timma L., Blumberga A., Blumberga D. How to Assess Involvement of Electricity End User in Energy Efficiency Improvement – Analysis of Survey Results // Energy Procedia on International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT 2014 (ISSN: 1876-6102) – 2015 – 72. sējums – lpp. 270–277. doi: 10.1016/j.egypro.2015.06.039 (*Scopus un ISI Web of Science*).
14. Timma L., Blumberga A., Blumberga D. Combined and Mixed Methods Research in Environmental Engineering: When Two is Better Than One // Energy Procedia on International Scientific Conference Environmental and Climate Technologies, CONECT 2014 (ISSN: 1876-6102) – 2015 – 72. sējums – lpp. 300–306. doi: 10.1016/j.egypro.2015.06.043 (*Scopus un ISI Web of Science*).
15. Blumberga A., Timma L., Romagnoli F., Blumberga D. Dynamic Modelling of a Collection Scheme of Waste Portable Batteries for Ecological and Economic Sustainability // Journal of Cleaner Production (ISSN: 0959-6526) – 2015 – 88. sējums – lpp. 224–233. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.06.063 (*Scopus un ISI Web of Science*).
16. Lauka D., Blumberga A., Blumberga D., Timma L. Analysis of GHG Reduction in Non-ETS Energy Sector // Energy Procedia on Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future (ISSN: 1876-6102) – 2015 – 75. sējums – pp. 2534–2540. doi: 10.1016/j.egypro.2015.07.280 (*Scopus un ISI Web of Science*).
17. Timma L., Vilgerts J., Vanaga R., Kļavenieks K., Blumberga D. Decomposition Analysis Based on IPAT and Kaya Identity for Assessment of Hazardous Waste Flow within Enterprise // 27th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy System, ECOS 2014 – Code 109102 – lpp. 1–7. doi: 10.13140/RG.2.1.4450.0888 (*Scopus*).

18. Bariss U., Timma L., Blumberga D. Smart Metering Pilot Project Results // *Energy Procedia on Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future* (ISSN: 1876-6102) – 2014 – 61. sējums – lpp. 2176–2179. doi: 10.1016/j.egypro.2014.12.103 (*Scopus*).
19. Blumberga A., Timma L., Vilgerts J., Blumberga D. Assessment of Sustainable Collection and Recycling Policy of Lead-Acid Accumulators from the Perspective of System Dynamics Modelling // *Chemical Engineering Transactions on PRES 2014, 17th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction* (ISSN: 1974-9791) – 2014 – 39. sējums – lpp. 649–654. doi: 10.3303/CET1439109 (*Scopus un ISI Web of Science*).
20. Blumberga D., Cimkina G., Timma L., Blumberga A., Rosa M. Green Energy Strategy 2050 for Latvia: A Pathway Towards a Low Carbon Society // *Chemical Engineering Transactions on PRES 2014, 17th Conference on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction* (ISSN: 1974-9791) – 2014 – 39. sējums – lpp. 1507–1512. doi: 10.3303/CET1439252 (*Scopus un ISI Web of Science*).
21. Timma L., Blumberga D. Index Decomposition Analysis for Energy Sectors in Latvia // *Energy Procedia on Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future* (ISSN: 1876-6102) – 2014 – 61. sējums – lpp. 2180–2183. doi: 10.1016/j.egypro.2014.12.104 (*Scopus*).
22. Vilgerts J., Timma L., Romagnoli F., Blumberga A., Blumberga D. A System Dynamics Model for the Assessment of Hazardous Waste Management System. Case Study: Waste Batteries and Accumulators // *Conference Proceedings of 8th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environmental Systems* (ISSN: 1847-7178) – 2013 – Paper ID: 0508 – lpp. 1–12.
23. Vilgerts J., Timma L., Romagnoli F., Blumberga A., Blumberga D. A System Dynamics Model for the Assessment of Hazardous Waste Management System. Case Study: Waste Batteries and Accumulators // *Abstract of 8th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environmental Systems* – 2013 – Paper ID: 0508 – 1 lpp.
24. Vilgerts J., Timma L., Blumberga D. A Methodology for Quantification of Hazardous Waste Flows. Case Study for the Baltic States Estonia, Latvia, Lithuania // *Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology* (ISSN: 1106-5516) – 2013 – lpp. 1–8. doi: 10.13140/RG.2.1.2959.1443 (*ISI Web of Science*).
25. Vilgerts J., Timma L., Blumberga D. A Forecast Model for Projecting the Amount of Hazardous Waste // *World Academy of Science, Engineering and Technology* (ISSN: 2010-376X) – 2013 – 78. sējums – lpp. 502–505.

26. Vilgerts J., Timma L., Blumberga D. A methodology for Forecasting Hazardous Waste Flows // WIT Transactions on Biomedicine and Health (ISSN: 1743-3525) – 2013 – 16. sējums – lpp. 227–236. doi: 10.2495/EHR130191 (*Scopus*).

Citas publikācijas

1. Timma L., Blumberga D. The Improvements of Performance Reliability in Solar Combisystem by the Application of Artificial Intelligence // Chemical Engineering Transactions on Process Integration, Modelling and Optimisation for Energy Saving and Pollution Reduction (ISSN: 1974-9791) – 2015 – 45. sējums – lpp. 1237–1242. doi: 10.3303/CET1545207 (*Scopus un ISI Web of Science*).
2. Timma L., Blumberga D. An Algorithm for the Selection of Structure for Artificial Networks. Case Study: Solar Thermal Energy Systems // Energy Procedia on International Scientific Conference Environmental and Climate Technologies, CONECT 2014 (ISSN: 1876-6102) – 2015 – 72. sējums – lpp. 135–141. doi: 10.1016/j.egypro.2015.06.019 (*Scopus un ISI Web of Science*).
3. Blumberga A., Timma L., Blumberga D. System Dynamic Model for the Accumulation of Renewable Electricity using Power-to-Gas and Power-to-Liquid Concepts // Environmental and Climate Technologies (ISSN: 2255-8837) – 2015 – 16. sējums – lpp. 54–68. doi: 10.1515/rtuect-2015-0012 (*Scopus*).
4. Cimdina G., Timma L., Veidenbergs I., Blumberga D. Methodologies Used for Scaling-up From a Single Energy Production Unit to State Energy Sector // Environmental and Climate Technologies (ISSN: 2255-8837) – 2015 – 15. sējums – lpp. 5–21. doi: 10.1515/rtuect-2015-0002 (*Scopus*).
5. Timma L., Sams K., Valtere S., Vilgerts J., Blumberga D. Full Factorial Design on Screening Experiments for Biosurfactant Enhanced Remediation of Hydrophobic Substances in Soil // Journal of Clean Technologies (ISSN: 1793-821X) – 2014 – 2. sējums – lpp. 51–56. doi: 10.7763/JOCET.2014.V2.90.
6. Timma L., Blumberga D. Detection of Abrupt and Incipient Faults in Solar Combisystems with Artificial Neural Networks // International Scientific Conference "Environmental and Climate Technologies": Abstract Book (ISBN 978-9934-8302-8-0) – 2013 – 17 lpp.
7. Timma L., Blumberga D. Application of Artificial Neural Networks for Detection of Developing Faults in Solar Combisystems // Conference Proceedings of 8th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environmental Systems (ISSN: 1847-7178) – 2013 – lpp. 1–12.
8. Timma L., Blumberga D. Application of Artificial Neural Networks for Detection of Developing Faults in Solar Combisystems // Abstract of 8th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environmental Systems – 2013 – 1 lpp.

9. Vilgerts J., Timma L., Blumberga A., Blumberga D., Slisane Dz. Application of System Dynamic Model for the Composting of Petroleum Contaminated Soil under Various Policies // *Agronomy Research* (ISSN: 1406-894X) – 2013 – 11. sējums – lpp. 391–404. (*Scopus un ISI Web of Science*).
10. Timma L., Sams K., Valtere S., Vilgerts J., Blumberga D. Biosurfactants Enhanced Remediation of Historically Contaminated, Multiple Fraction Soil // *Conference Proceedings on 2nd Edition of the International Conference and Exhibition WASTES "Solutions, Treatments and Opportunities* (ISSN: 2183-0568) – 2013 – lpp. 721–726. doi: 10.13140/RG.2.1.4904.7445.
11. Zandeckis A., Timma L., Blumberga D., Rochas C., Rosa M. Solar and Pellet Combisystem for Apartment Buildings: Heat Losses and Efficiency Improvements of the Pellet Boiler // *Applied Energy* (ISSN: 0306-2619) – 2013 – 101. sējums – lpp. 244–252. doi: 10.1016/j.apenergy.2012.03.049 (*Scopus, ISI Web of Science*).

Monogrāfijas un metodiskais materiāls

1. Blumberga D., Barisa A., Kubule A., Kļaviņa K., Lauka D., Muižniece I., Blumberga A., Timma L. *Biotehonomika* // Rīgas Tehniskās universitātes izdevniecība (ISBN: 978-9934-10-747-4) – 2016 – 338 lpp.
2. Blumberga D., Veidenbergs I., Blumberga A., Dāce E., Gušča J., Roša M., Romagnoli F., Pubule J., Barisa A., Timma L., Bāliņa K., Kļaviņa K., Kubule A., Lauka D., Muižniece I., Kalnbaļķīte A., Kārklīna I., Prodanuks T. *Biotehonomika. Metodiskais materiāls* // Rīgas Tehniskās universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts – 2016 – 84 lpp.
3. Blumberga D., Gedrovičs M., Kirsanovs V., Timma L., Kļaviņa K., Kubule A., Kļaviņš J., Muižniece I., Kauls O., Barisa A., Bāliņa K., Lauka D., Ziemeļe J., Kārklīna I. *Laboratorijas darbu krājums vides inženierzinātņu studentiem. 3. daļa* // Rīgas Tehniskās universitātes izdevniecība (ISBN: 978-9934-10-747-4) – 2016 – 92 lpp.
4. Blumberga D., Veidenbergs I., Valtere S., Gedrovičs M., Bažbauers G., Blumberga A., Zandeckis A., Žogla G., Kalniņš S. N., Laicāne I., Beloborodko A., Kirsanovs V., Timma L., Muižniece I., Kļaviņa K., Lauka D. *Laboratorijas darbu krājums vides inženierzinātņu studentiem. 2. daļa* // Rīgas Tehniskās universitātes izdevniecība (ISBN: 978-9934-10-595-1) – 2015 – 120 lpp.

Promocijas darba struktūra un apraksts

Promocijas darba pamatā ir sešas tematiski vienotas zinātniskās publikācijas, kas publicētas dažādos zinātniskajos žurnālos, pieejamas zinātniskajās informācijas krātuvēs un ietvertas starptautiskās datubāzēs. Šo publikāciju mērķis ir pārnest un aprobēt sociotehnisko pāreju izpētes ietvaru.

Promocijas darbam ir ievads un trīs nodaļas.

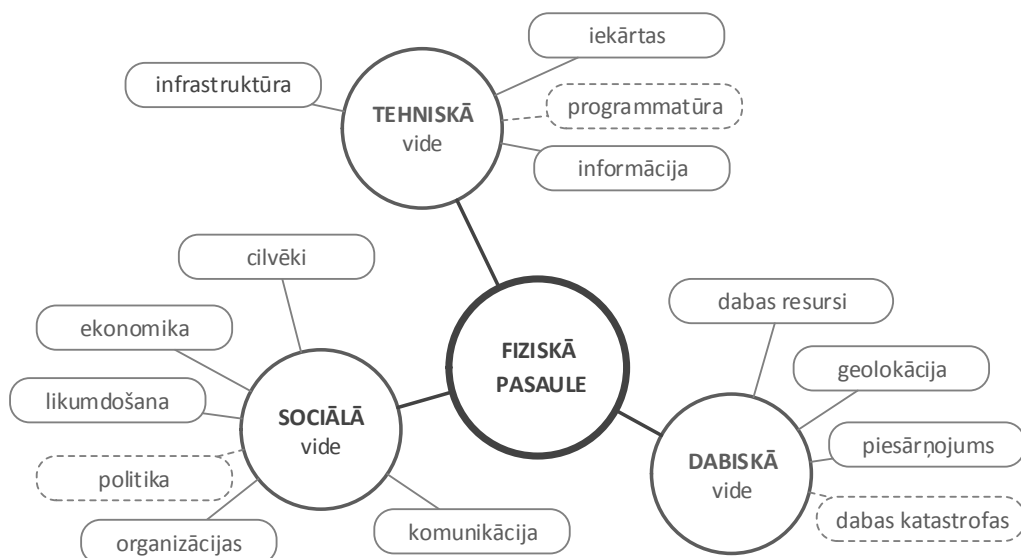
1. Literatūras pārskats.
2. Pētījumā izmantotā metodika.
3. Pētījuma rezultāti un to izvērtējums.

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

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

1. ĪSS IZMANTOTO RISINĀJUMU APRAKSTS

Ekoinovācijas iniciatīva tika izstrādāta kā viens no galvenajiem stūrakmeņiem ilgtspējīgai, viedai un integrētai izaugsmei kā atbildes reakcijas uz finansiālo lejupslīdi un arvien jaunām sociālām problēmām¹. Tomēr eksperti arvien biežāk norāda, ka viena svarīga saikne joprojām iztrūkst – kamēr, galvenokārt, visa uzmanība tiek koncentrēta uz tehniskajiem jauninājumiem un apkārtējās vides aizsardzību, sociālie aspekti pārsvarā netiek ņemti vērā². Šie sociālie aspekti ietver cilvēkus, ekonomikas, politikas, organizatoriskās un citas mijiedarbības sistēmā. Apvienojot šīs trīs jomas – sociālo, tehnisko un apkārtējās vides – autore pētīja tā saucamās sociotehniskās sistēmas, skat. 1. attēlu.



1. attēls. Sociotehnisko sistēmu hierarhija, adoptēts no Wu *et al.* (2015).²

Izpēte par sociotehniskām pārejām analizē sociālo un tehnoloģisko pārmaiņu cēloņus, kur galvenie izpētes jautājumi ir – kādā veidā šīs pārejas iesākas, attīstītās un norimst. Pirmais uzdevums ir atkārtot un pētīt vēsturiskās pārejas, otrais – izstrādāt analīzes instrumentus un, visbeidzot, izteikt priekšlikumus politikas instrumentu lietošanai³.

Šī darba ieguldījums ir sociotehnisko pāreju izpēte mājāsaimniecību sektorā, ņemot vērā visus šos uzdevumus. Pirmkārt, pētot vēsturiskos pārejas procesus energoefektivitātes un ekoinovāciju jomā (ir aplūkotas arī citas jomas, piemēram, atkritumu apsaimniekošanas, klimata pārmaiņu mazināšanas, atsaucis uz šiem pētījumiem dotas publikāciju sarakstā, bet pašas publikācijas nav iekļautas darba pilnajā

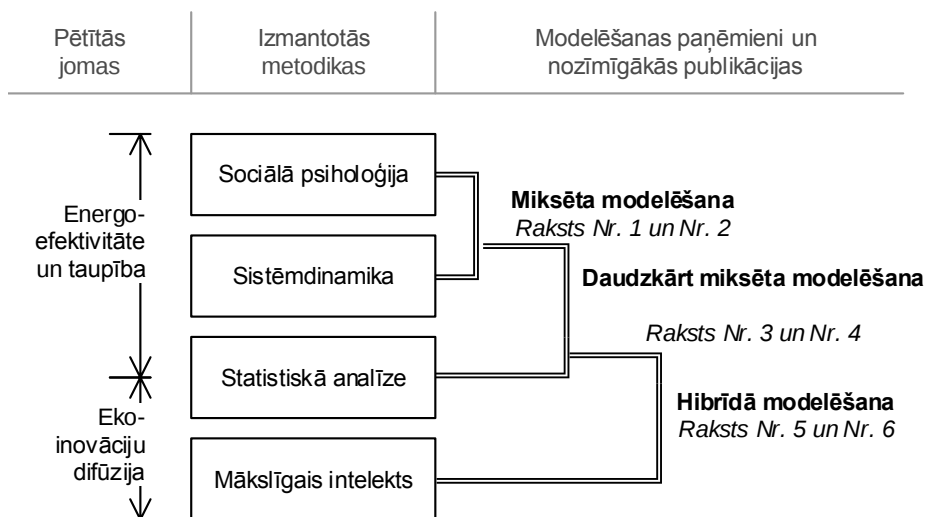
¹ EC, Innovation for a sustainable Future – The Eco-innovation Action Plan (Eco-AP), COM (2011) 899 final, 15.12.2011. Brussels.

² Wu P.P.Y., Fookes C., Pitchforth J., Mengersen K. (2015). A framework for model integration and holistic modelling of socio-technical systems. *Decision Support Systems*, 71, 14–27.

³ Papachristos, G., & Adamides, E. (2016). A retroductive systems-based methodology for socio-technical transitions research. *Technological Forecasting & Social Change*, 108, 1–14.

tekstā, lai koncentrētos uz jaunāko zinātnisko darbu) un ierosinot politikas intervences šajās pētītajās sistēmās. Otrkārt, attīstot un uzlabojot jaunus instrumentus, lai pētītu pārejas procesus.

Laika gaitā tika attīstīta darbā izmantoto metodiku sarežģītība, lai atbilstu pieaugošās sarežģītības pētniecības jautājumiem, skat. 2. attēlu.



2. attēls. Izmantotās zinātniskās publikācijas sociotehnisko pāreju izpētei (atbilstošo publikāciju pilnais nosaukums ir dots 1. tabulā).

Darba sākumā tiek izmantota sociālā psiholoģija un sistēmdinamikas modelis, lai pētītu pāreju uz energoefektīviem risinājumiem un enerģijas taupīšanu mājsaimniecībām. Šajā gadījumā sociālās psiholoģijas aspekti tika identificēti un integrēti sistēmdinamikas modelī (skat. rakstu Nr. 1 un Nr. 2). Tālāk metodika tika uzlabota, izmantojot statistisko datu analīzi.

Energoefektivitātes uzlabojumi konkrētas tehnoloģijas ietvaros ir ierobežoti, tāpēc izpētes jautājumu lokā iekļauta arī sociotehniska pāreja uz fundamentāli atšķirīgiem produktiem. Šajā darbā pašreizējo tehnoloģiju aizstāšana ar ekoinovācijām tiek pētīta rakstā Nr. 4, izmantojot darba autores izstrādāto metodoloģiju. Šī metodoloģija saista statistikas datu analīzi ar sistēmdinamikas modeli un izmanto sociālo psiholoģiju, lai izskaidrotu iegūtos rezultātus, tādējādi apvienojot trīs metodes, kas iekļauj gan sociālos, gan tehniskos aspektus.

Šajā darbā autore jau iepriekš izstrādātajam un pārbaudītajam algoritmam pievieno ceturto metodiku – mākslīgā intelekta modelēšanas rīku, tādējādi radot hibrīdu jeb pelēko modelēšanas rīku ekoinovāciju difūzijas pētījumiem (skat. rakstu Nr. 5). Šis pelēks modelēšanas rīks tiek izmantots, lai aprakstītu ekoinovāciju izplatīšanos ar augstāku precizitāti nekā līdz šim izstrādātie modeļi (skat. rakstu Nr. 6). Darbā autore atsaucas uz šīm sešām galvenajām publikācijām – rakstiem Nr. 1– 6, kas atbilst secībai 1. tabulā.

1. tabula. Izmantotās zinātniskās publikācijas sociotehnisko sistēmu izpētei

	Pētījuma joma	Nr.	Publikācijas nosaukums
1	Sistēmdinamika un sociālā psiholoģija jeb miksētas modelēšanas paņēmieni	1	<i>Framework for the assessment of household electricity saving by integrating behavioural aspects</i>
		2	<i>Electricity saving in households due to the market liberalization and change in the consumer behaviour</i>
2	Statistiskā analīze, sistēmdinamika un sociālā psiholoģija jeb daudzkārt miksētas modelēšanas paņēmieni	3	<i>Energy Efficiency Policy Analysis Using Socio-Technical Approach and System Dynamics. Case Study of Energy Efficient Lighting in Households</i>
		4	<i>The dynamics of technological substitution: the case of eco-innovation diffusion of surface cleaning products</i>
3	Statistiskā analīze, sistēmdinamika, sociālā psiholoģija un mākslīgais intelekts jeb hibrīdā modelēšanas pieeja	5	<i>Combined and mixed methods research in environmental engineering: when two is better than one</i>
		6	<i>Understanding the technological substitution by hybrid modelling practice: a methodological approach</i>

1.1. Energoefektivitāte un enerģijas pārvaldība

Enerģētikas ilgtspējas viena no prioritātēm ir energoefektivitāte pie galapatērētājiem, un viens no galvenajiem enerģijas gala patērētājiem ir mājsaimniecības. Tāpēc vairāki pētījumi koncentrējas uz viedās uzskaites atspekciem; Laicāne *et al.* (2015)⁴ konstatēja, ka līdz 2020. gadam Latvijā ir iespējams elektroenerģijas ietaupījumu līdz 13 % mājsaimniecībās ar viedajiem skaitītājiem.

Literatūrā ir atrodamī pētījumi, kas veikti saistībā ar politiku, un programmas, lai uzrunātu mājsaimniecībām, taču trūkst pētījumu, kas modelētu uzvedības nozīmīguma aspekts. **Tāpēc raksta Nr. 1 mērķis ir meklēt galvenos uzvedības aspektus elektroenerģijas taupīšanai mājsaimniecībās.** Šis pētījums turpina iesākto darbu (Bariss, Timma un Blumberga (2014)⁵), mēģinot atrisināt enerģijas patēriņa samazināšanās uzvedību mājsaimniecībās.

Atsevišķu elektroenerģijas gala patērētāju uzvedība tiek aglomerēta elektroenerģijas tirgus uzvedībā, tāpēc **raksta Nr. 2 mērķis ir izpētīt liberālā elektroenerģijas tirgus attīstības scenārijus, ņemot vērā dažādus tehnoloģiskos un uzvedības aspektus pie gala patērētāja.**

Agaismojums izmanto līdz pat 1/5 no kopējā elektroenerģijas patēriņa pasaulē, un cena par spuldzēm ir samazinājusies par 99,7 %, pēdējo divu gadsimtu laikā⁶, tāpēc šim sektoram ir liels enerģijas ietaupījumu potenciāls. Jaunas apgaismojuma

⁴ Laicane I., Blumberga D., Blumberga A., Rosa M. (2015). Evaluation of Household Electricity Savings. Analysis of Household Electricity Demand Profile and User Activities. Energy Procedia, 72, 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.06.041>

⁵ Where on average 20 % higher electricity savings were observed in households using smart meters than in the control group (without smart metering); these findings are above the range of previously conducted studies.

⁶ Nordhaus W. D. (1996). Do Real-Output and Real-Wage Measures Capture Reality? The History of Lighting Suggests Not. In The Economics of New Goods (pp. 27–70).

tehnoloģijas izplatās ātri, bet joprojām ir aptuveni 1/3 no mājsaimniecībām Vācijā 2012. gadā izvēlas aizstāt kvēlspuldzi ar kvēlspuldzi⁷. **Tādēļ raksta Nr. 3 mērķis ir izstrādāt inovatīvu energoefektivitātes risinājumu difūzijas modeli mājsaimniecībās.** Darba autorei nav zināmi pētījumi, kas savieno inovāciju difūzijas aspektus un personīgo vērtību skalu vienā visaptverošā sociotehniskā modelī.

1.2. Ekoinovāciju difūzija

Ekoinovācijas arvien vairāk izmanto, lai aizstātu esošos produktus vai pakalpojumus, tādēļ izpratne par ekoinovāciju difūziju ir ļoti svarīga, jo dažas no šīm inovācijām jau ir sasniegušas augstu attīstības līmeni, bet to izplatība tirgū ir lēna un neskaidra⁸.

Holistiskā teorija, kas izskaidro ekoinovāciju difūziju, pašlaik nav definēta, un ir maz zināms par to, cik svarīgi ir dažādi faktori to difūzijas procesā. **Tāpēc raksta Nr. 4 mērķis ir izveidot konceptuālo modeli ekoinovāciju difūzijas modelēšanai.** Atšķirībā no citām teorijām, kas koncentrējas galvenokārt uz vienu faktoru kopu, šis pētījums cenšas integrēt vairākus faktorus, kā arī atrast šo faktoru savstarpējās saites un aplūkot dažādus motivācijas līmeņus. Izstrādātais modelis var arī prognozēt politikas pasākumu ietekmi.

Rakstā Nr. 4, kas izstrādāts šajā darbā par ekoinovāciju difūziju, un pētījumā par nodomu pārstrādāt atkritumus, ko veicis *Tonglet et al.* (2004)⁹, tika novērots līdzīgs datu izskaidrojuma diapazons ar augstāko koriģēto novirzi 33,5 %. Kaut arī šāda precizitāte tiek uzskatīta par vidēju un pieņemamu rezultātu cilvēku uzvedības pētījumos¹⁰, darba autore tiecas uzlabot šo datu precizitātes statistiku.

Tādējādi raksta Nr. 5 mērķis ir sniegt konceptuālu metodoloģiju hibrīdam modelim ekoinovāciju difūzijas pētīšanai. Šī metodoloģija integrē gan “baltās kastes” (angļu val. *white-box*), gan “melnās kastes” (angļu val. *black-box*) pētniecības metodes. **Nākamā raksta Nr. 6 mērķis ir pārbaudīt hibrīdo metodoloģiju, izmantojot gadījumizpēti ekoinovāciju difūziju.** Kā “baltas kastes” modelis sistēmdinamika un statistiskā analīze tiek izmantota, ieskaitot sociālās psiholoģijas aspektus, un kā “melnās kastes” – mākslīgais intelekts. Balstoties uz autores rīcībā esošo informāciju, šis ir pirmais mēģinājums modelēt ekoinovāciju difūzijas procesus, izmantojot hibrīdu modelēšanu, kas ietver visas četras metodikas.

⁷ Mills B., Schleich J. (2014). Household transitions to energy efficient lighting. *Energy Economics*, 46, 151–160.

⁸ Karakaya E., Hidalgo A., Nuur C. (2014). Diffusion of eco-innovations: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 392–399.

⁹ Tonglet, M., Phillips, P. S., & Bates, M. P. (2004). Determining the drivers for householder pro-environmental behaviour: Waste minimisation compared to recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 42(1), 27–48.

¹⁰ Cohen J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (Vol. 2nd).

2. PĒTĪJUMA METODOLOĢIJA

2.1. Miksētas modelēšanas paņēmieni

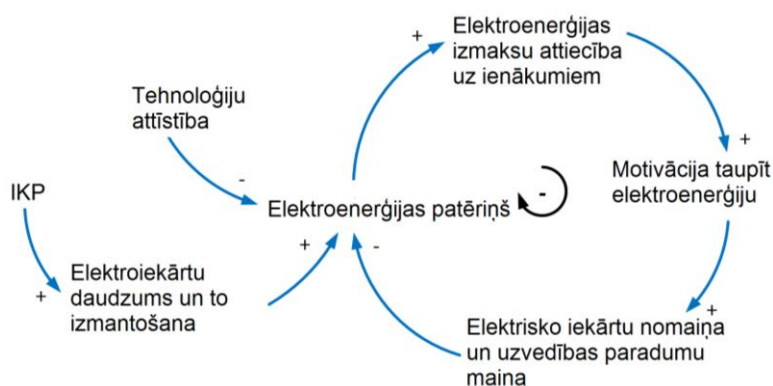
Miksēta pētījumu metodika šajā darbā tiek definēta kā vienas kvalitatīvās un vienas kvantitatīvās pētniecības metodes izmantošana vienlaikus. Kā kvalitatīvā metode tika izmantota fokusa grupu aptauja (balstoties uz nolūka ietvara teoriju *Lindenberg* un *Steg* (2007)¹¹). Kā kvantitatīvā metode tika piemērota sistēmdinamika.

2.1.1. Nolūka ietvari

Nolūka ietvara teorija izskaidro mājāsaimniecībās veiktās izvēles motivāciju, pamatojoties uz trim galvenajiem nolūka ietvariem: ieguvumu, normatīvo un hedonisko nolūku. Attiecībā uz ieguvumu nolūku mājāsaimniecības taupītu elektroenerģiju, jo šī rīcība ietaupa finansiālos līdzekļus. Attiecībā uz normatīvo nolūku ietaupījums tiks veikts sociālā spiediena vai vides aizsardzības apziņas vadīts. Visbeidzot, hedoniskais nolūks tiks aktivizēts, ja enerģijas taupīšana nes prieku, piemēram, prece ar augstāku energoefektivitāti ir lietotājam draudzīga. Lai novērtētu mērķa ietvaru klātbūtni, tika veikta aptauja. Aptaujas dati tika apstrādāti, un konstatēti galvenie nolūka ietvari, skat. rakstu Nr. 1. Tālāk šie nolūka ietvari tika integrēti sistēmdinamikas modelī; šis modelis tika izstrādāts rakstā Nr. 2.

2.1.2. Sistēmdinamika

Sistēmdinamikas pamatlicējs ir *Forrester* (1958)¹². Šī metodika nosaka mijiedarbību starp dažādām fiziskām aktivitātēm, informācijas plūsmas un politikas pasākumiem, tādējādi atainojot mainīgājo lielumu dinamisko raksturu. Galvenā sistēmdinamikas modeļa struktūra ir aprakstīta ar cēlonisko sakarību cilpām (3. attēls), kur cēloniskās cilpas definē atgriezeniskās saites mehānismus pētāmajā sistēmā¹³.



3. attēls. Cēlonisko cilpu diagramma elektroenerģijas lietotāja uzvedības aspektiem.

¹¹ Lindenberg S., Steg L. (2007). Normative, gain and hedonic goal frames guiding environmental behavior. *Journal of Social Issues*, 63(1), 117–137.

¹² Forrester, J. W. (1958). *Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers*. Harvard Business Review, 36(4), 37–66.

¹³ Forrester J.W. (1961). *Industrial Dynamics*. Waltham, Pegasus Communications.

Divas galvenās cēloniskos cilpu diagrammas tika izmantotas sistēmdinamikas modelī. Viena no šīm cēloņsakarību cilpā ir šāda – palielinoties labklājībai (dots kā iekšzemes kopprodukts (IKP)) mājāsaimniecībā, pieaug elektroiekārtu daudzums un to izmantošana, tādējādi palielinot elektroenerģijas patēriņu. No otras puses, tehnoloģiju attīstība palielina elektroierīču energoefektivitāti, tādējādi samazinot īpatnējo elektroenerģijas patēriņu. Lai aplūkotu citus galvenos izmantotos pieņēmumus un sīkāku modeļa struktūras informāciju, skat. rakstu Nr. 2.

2.2. Daudzkārt miksētas modelēšanas paņēmieni

Daudzkārt miksēta pētījuma metodika šajā darbā ir definēta kā vairāk nekā vienas kvalitatīvas un/vai kvantitatīvas pētījumu metodes izmantošana kopā. Kā kvalitatīvā metode tika izmantota fokusa grupu aptauja (pamatojoties uz mērķa ietvara teoriju pēc *Lindenberg & Steg* (2007)¹⁴). Kā kvantitatīvā metode tika izmantota statistikas datu analīze un sistēmdinamikas modelēšana, skat. 4. attēlu.

Daudzkārt miksēta pētījuma metode tika izmantota gan rakstā Nr. 3, gan rakstā Nr. 4, šie pētījumi atšķiras ar gadījumizpēti jomām. No metodikas viedokļa būtiskākā atšķirība starp šiem diviem pētījumiem ir algoritma izmantošanā, kas nosaka, kā tiks iegūti empīriskais vienādojums, kuru tālāk izmantot sistēmdinamikas modelī. Attiecībā uz rakstu Nr. 4 difūzijas dinamikas izpēti tiek pētīta vienas konkrētas ekoinovācijas – mikrošķiedras auduma (MFC) virsmas tīrīšanas vajadzībām. Savukārt rakstā Nr. 3 pētīta pārejas dinamika starp dažāda veida spuldzēm. Tāpēc šajā situācijā metodika tika pilnveidota ar multimodālās loģistikas regresijas vienādojumu.

2.2.1. Empīriskais pētījums

Faktoru analīze tika veikta, lai samazinātu mainīgo lielumu skaitu, kas tiks izmantots turpmākajai datu analīzei, izdalot optimālo skaitu kopīgo faktoru no sākotnējiem mainīgajiem lielumiem. Tika izmantots ortogonāls kopīgo faktoru modelis *Johnson un Wichern* (2002)¹⁵. Kā rotācijas metode tika piemērota *Varimax*, skat. vienādojumu (1.).

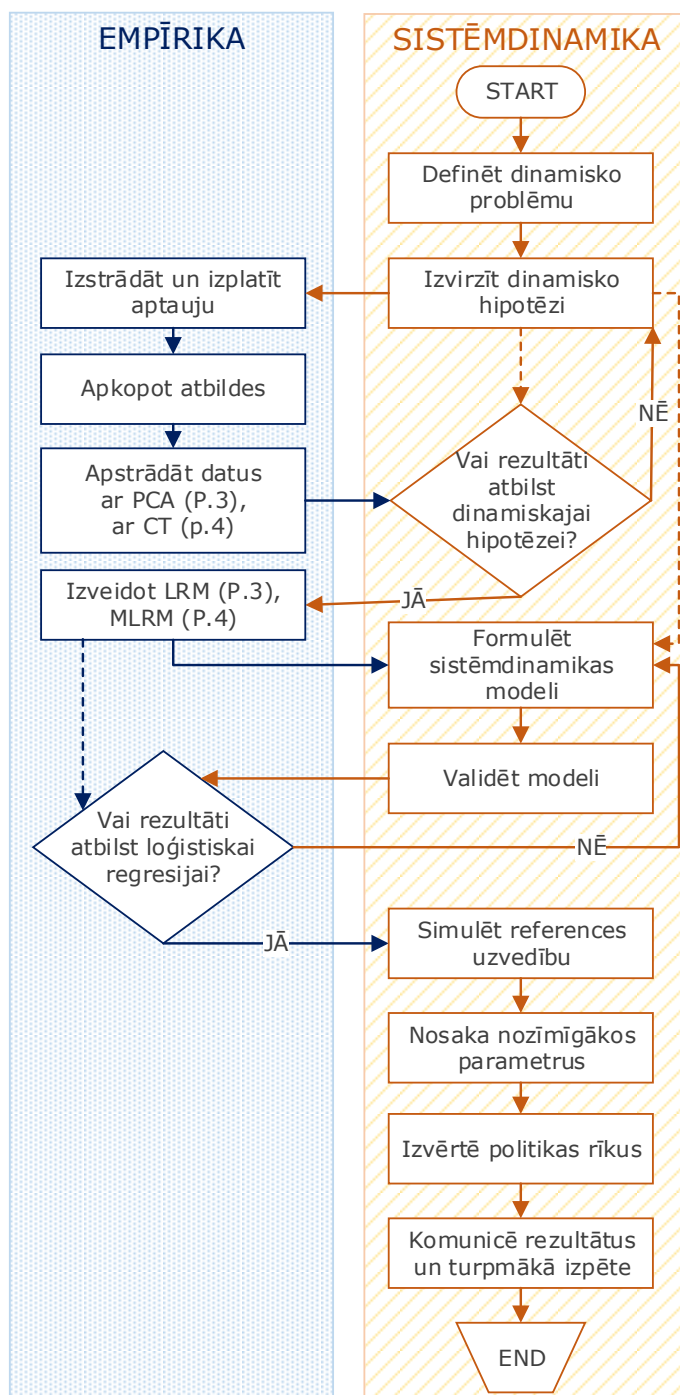
$$\Psi_{VARIMAX} = \arg \max_R \left(\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^p (\Phi \Psi)_{ij}^4 - \frac{1}{p} \sum_{j=1}^k \left(\sum_{i=1}^p (\Phi \Psi)_{ij}^2 \right)^2 \right) \quad (1.)$$

Kur Φ – $p \times k$ ortonormāla matricu (kolonnu *eigenvectors*), p – sākotnējie mainīgajiem lielumi, k – noteiktie mainīgie lielumi, Ψ – ortonormālas rotācijas matrica, Ψ_{ij} apzīmē skalāro elementu i -rindas un j -tās kolonnas matricā Ψ .

Kā izlases pietiekamības testi tika veikti *Bartlett* sfēriskuma tests un *Kaiser-Meyer-Olkins* (KMO) tests. Loģistiskas regresijas analīze tika veikta, lai izveidotu regresijas modeli, kurā atkarīgais mainīgais raksturo notikumu ar tikai diviem iespējamiem iznākumiem: izmantot vai neizmanto MFC.

¹⁴ Lindenberg S., Steg L. (2007). Normative, gain and hedonic goal frames guiding environmental behavior. *Journal of Social Issues*, 63(1), 117–137.

¹⁵ Johnson R.A., Wichern D.W. (2002). *Applied Multivariate Statistical Analysis*. Prentice Hall, 640. p.



4. attēls. Izmantotās metodikas konceptuālā shēma, kas pēta pārejas dinamiku apgaismojuma nozarē (raksts Nr. 3) un ekoinovāciju difūzijas dinamiku (raksts Nr. 4) ar statistikas analīzes rīkiem, sistēmdinamiku un sociālās psiholoģijas ietvaros (*PCA* – galveno komponentu analīze, *CT* – krostabulācija, *LRM* – loģistikas regresijas modelis, *MLRM* – multimodālās loģistiskās regresijas modelis, P. 3 – raksts Nr. 3, P. 4 – raksts Nr. 4).

2.2.2. Sistēmdinamikas modelis

Sistēmdinamikas modelis rakstā Nr. 4 izmanto rezultātus, kas iegūti no statistikās datu analīze par matemātisko modeli ekoinovāciju dizūzijas izpētei, kas ļauj prognozēt sistēmas uzvedību laika gaitā. Kumulatīvais neizmantoto tradicionālo tīrīšanas līdzekļu apjoms tiek aprēķināti, kā dots vienādojumā (2.).

$$AA_{CA} = \int_{t=0}^{t=1} (C_{week} \cdot fr_{CA} \cdot HH_A) t \cdot dt + AA_{CA}^{init} \quad (2.)$$

Kur AA_{CA} – kumulatīvais neizmantoto tradicionālo tīrīšanas līdzekļu daudzums, tonnās; C_{week} – iknedēļas tradicionālo tīrīšanas līdzekļu patēriņš, t/mājsaimniecību nedēļā; fr_{CA} – tradicionālo tīrīšanas līdzekļu daļa, kas tiek izmantota paralēli MFC; AA_{CA}^{init} – kumulatīvā neizmantoto tradicionālās tīrīšanas līdzekļu sākotnējā vērtība, tonnās. Sīkāk par krājumu un plūsmas diagrammu un galvenajiem pieņēmumiem skat. rakstā Nr. 4.

2.3. Hibrīds modelēšanas paņēmieni

Šajā pētījumā hibrīda modelēšanas pieeja ir definēta kā kombinēto un jaukto pētniecības metožu vienlaicīga izmantošana. Kur ir apvienota gan kvalitatīvo, gan kvantitatīvo metožu izmantošana un savienota gan „baltā kastes” (sistēmdinamikas), gan „melnās kastes” (mākslīgā intelekta) metožu izmantošana. Hibrīdas modelēšanas metodikas gadījuma izpēte par ekoinovāciju difūzijas modelēšanu tika izstrādāta rakstā Nr. 5. Kā „melnās kastes” modelēšanas rīki tika izmantoti mākslīgie neirālie tīkli (ANN), jo ar ANN var iegūt matemātiskās sakarības pie salīdzinoši maziem, nepilnīgiem un trokšņainiem datu kompumiem¹⁶. ANN labāk spēj tik galā arī ar dimensionalitēs problēmām, skat. 5. attēlā.

ANN apraksta mērķa ietvara teoriju, sasaistot respondentu atbildes uz aptaujas jautājumiem ar to uzvedību, sistēmdinamikas modelis tiek izmantots, lai modelētu plašākas patērētāja uzvedības sekas, piemēram, sociotehniskās pārejas. Mākslīgo neironu tīkla (ANN) pamatstruktūras matemātiskais modelis dots vienādojumā (3.).

$$u_k = \sum_{i=1}^n w_{ki} x_i = w_{k1} x_1 + w_{k2} x_2 + \dots + w_{kn} x_n \quad (3.)$$

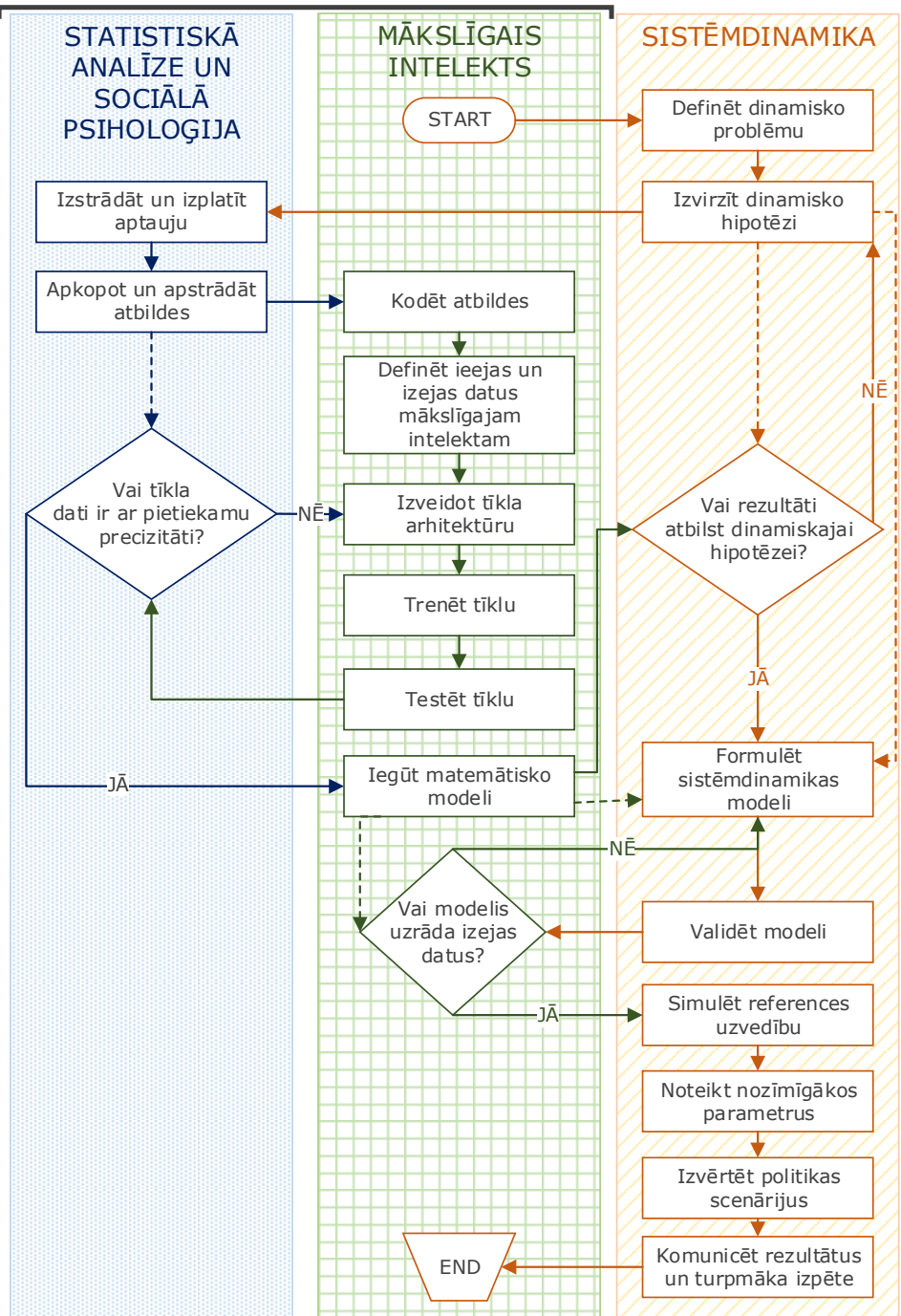
Kur $x_i = (i = 1, 2, \dots, n)$ ir ieejas signāli no n ārējiem neironiem nosūtīti neironam k un w_{ki} ir svārs starp i -ārējās ievades signālu un neironu k . Izejas vērtība no summēšanas funkcija ir u_k .

Ievades datu pirmapstrādes laikā dati tika iedalīti trīs apakšgrupās: 70 % datu – mācību dati, 15 % – validācijas dati un 15 % – testa dati. Datu normalizēšanās starp 0 un +1 tika veikta, izmantojot loģistisko sigmoidālo funkciju un no -1 līdz +1 ar lineāro vai tangensa funkciju. Nelineārs autoregresīvs neironu tīkls (NARX) ar ārējo ieejas datu plūsmu tika izvēlēts mākslīgā intelekta mācību nolūkos¹⁷.

¹⁶ Dreyfus G. (2005). Neural Networks, Methodlogy and Applications. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

¹⁷ Fischer S., Frey P., Drück H. (2012). A comparison between state-of-the-art and neural network modelling of solar collectors. Solar Energy, 86(11), 3268–3277.

MIKSĒTU METOŽU IZMANTOŠANA



KOMBINĒTU METOŽU IZMANTOŠANA

5. attēls. Izveidotās hibrīdās metodikas konceptuālā shēma, kas tiek izmantota sociotehnisko pāreju izpētei.

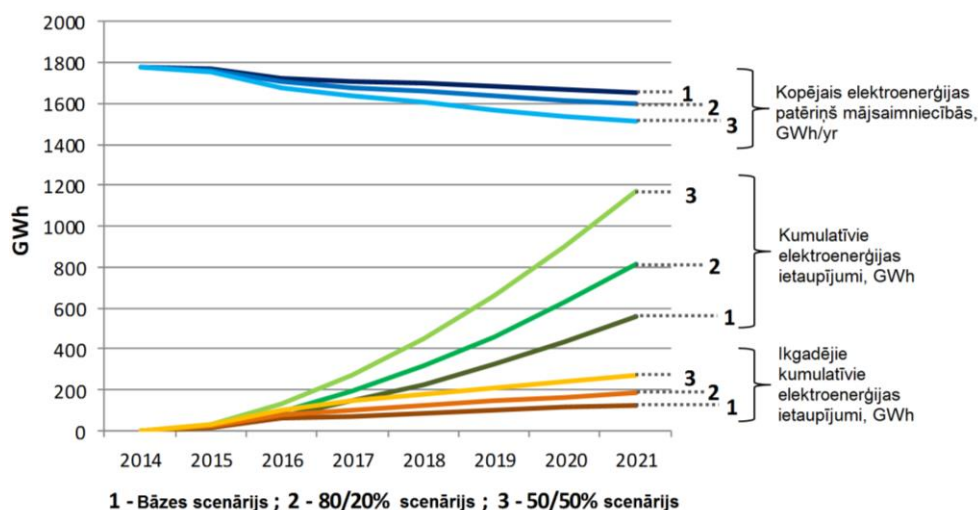
3. PĒTĪJUMA REZULTĀTI UN TO ANALĪZE

3.1. Miksētas modelēšanas paņēmieni

Sistēmdinamikas modelī tika modelēta patēriņa uzvedība. Tika izveidoti trīs teorētiskie gadījumi:

- 1) bāzes scenārijs;
- 2) optimistisks scenārijs, kurā puse no mājsaimniecībām piedalās elektroenerģijas taupīšanā vides aizsardzības nolūkos, puse – domājot par finansiāliem ietaupījumiem;
- 3) pesimistiskais scenārijs, kurā 80 % veic pasākumus, domājot par finansiāliem ieguvumiem, bet atlikušie 20 % – saistībā ar bažām par apkārtējo vidi.

Scenāriju analīzes rezultāti ir doti 6. attēlā.



6. attēls. Elektriķas patēriņa dinamiska mājsaimniecībās un ikgadējā kumulatīvo elektroenerģijas ietaupījumu analīze, izmantojot patēriņa uzvedības maiņu.

Šādu mājsaimniecību sadalījumu var apstiprināt Schwarz un Ernst (2009)¹⁸ pētījuma rezultāti par vides inovāciju izplatīšanos Vācijā. Rezultāti liecina, ka tad, ja palielinās mājsaimniecību īpatsvars, kurām vadošais ir apkārtējās vides mērķa ietvars, elektroenerģijas ietaupījumi kļūst lielāki; skat. rakstu Nr. 8.

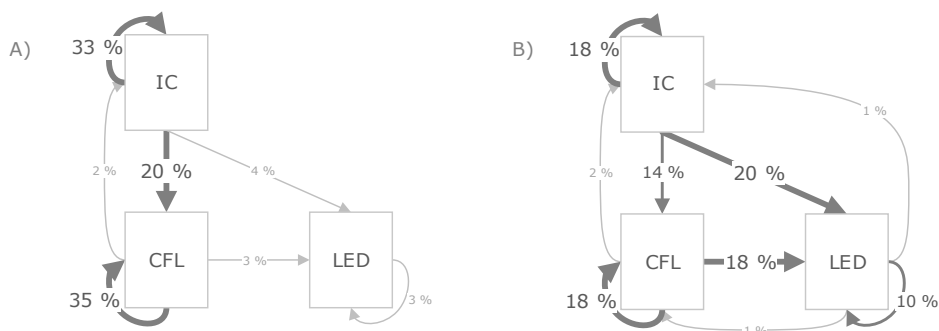
3.2. Daudzkārt mikstētas modelēšanas paņēmieni

Šajā sadaļā tiks prezentēti divu gadījumu izpētes rezultāti. Pirmkārt, no raksta Nr. 3 par energoefektivitāti un enerģijas taupīšanu, un no raksta Nr. 4 par ekoinovāciju difūziju.

¹⁸ Schwarz N. Ernst A. 2009. Agent-based modeling of the diffusion of environmental innovations - An empirical approach. Technol Forecast Soc, 76(4), 497–511.

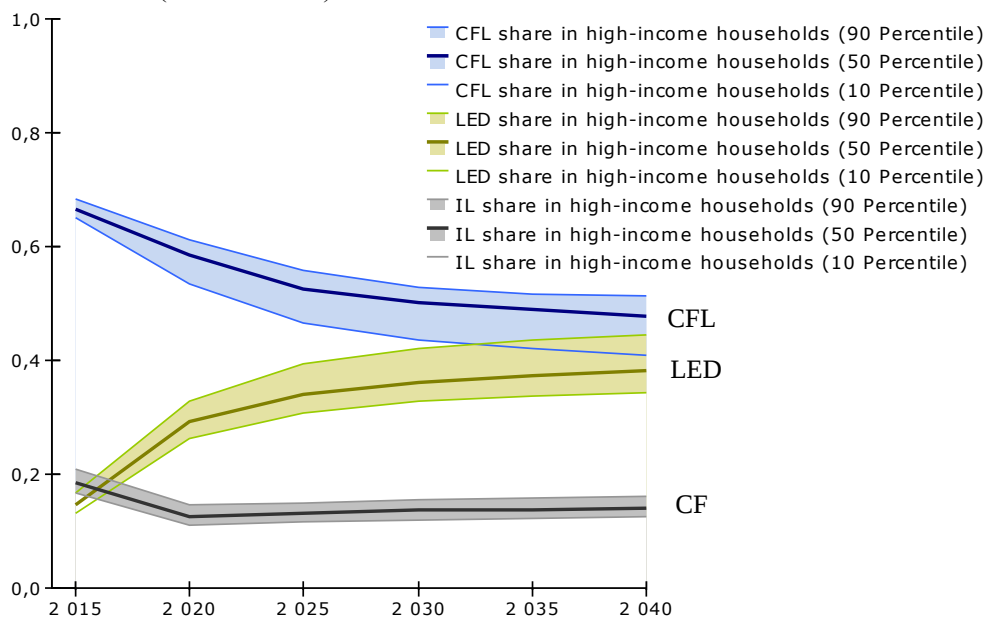
3.2.1. Energoefektivitātes un enerģijas pārvaldības gadījumizpēte

Pirmkārt, attiecības starp divu veidu spuldžu pirkumiem – sākotnējās un aizvietotās – tika pārbaudītas, izmantojot Či-kvadrāta testu. Či-kvadrāta testa statistika parādīja statistiski nozīmīgas tendences starp datiem $\chi^2 = 89,560$, $DF = 4$, $p < 0,0001$, skat. 7. attēlu.



7. attēls. Tehnoloģiskās aizvietošanas dinamika dažādām apgaismes spuldzēm
A) Vācijā 2012. gadā ($N = 3028$) adaptēts no Mills un Schleich (2014) 19 un B) Latvijā 2015. gadā ($N = 439$) (kur IL – kvēlspuldzes, CFL – kompaktās dienasgaismas spuldzes, LED – gaismas diodes).

Jutīguma analīze tika veikta kvēlspuldžu, kompaktu dienasgaismas un LED spuldžu dinamikai gan mājsaimniecībās ar zemiem ienākumiem, gan ar augstiem ienākumiem (skat. 8. attēlu).



8. attēls. Jutīguma analīze kvēlspuldžu (IL), kompaktu dienasgaismas (CFL) un LED spuldžu dinamikai mājsaimniecībās ar augstiem ienākumiem, kur angļu val. Share in high-income households nozīmē ‘īpatsvars augstu ienākumu mājsaimniecībās’.

¹⁹ Mills B., Schleich J. (2014). Household transitions to energy efficient lighting. *Energ Econ*, 46, 151–160.

Juŕīguma analīze rāda, ka *CFL* spuldžu īpatsvaram mājsaimniecībās ar augstu ienākumu līmeni nenoteiktība ir robežās no –15 % līdz +6 % pie 50 procentiles, *LED* spuldzēm no –11 % līdz +16%, un kvēlspuldzes ± 14 %. Attiecībā uz tāda paša veida spuldzēm, bet mājsaimniecībām ar zemiem ienākumiem – *CFL* spuldzēm robežās no –12 % līdz +8 %, *LED* spuldzes ± 12 % un kvēlspuldzēm ± 13 %.

Divas galvenās motivācijas tika identificētas energoefektīvu apgaismojumu izmantošanai – finansiālā un vides motivācijas, un šie rezultāti atbilst *Wall* un *Crosbie* (2009) ²⁰ pētījuma rezultātiem. Kā norādīts, mājsaimniecībās ar augstiem un ar zemiem ienākumiem vēl joprojām tiek izmantotas kvēlspuldzes, un šis fakts ir atrodams arī *Chappin* un *Afman* (2013) ²¹ darbā, kur autori skaidro, ka daži cilvēki vairāk skatās uz pirkuma pašreizējām izmaksām, bet nespēj novērtēt ilgtermiņa izmaksas, kas izteiktas kā izdevumi par elektroenerģiju. Arī *Perlaviciute* un *Steg* (2015) ²² darbs liecina, ka, neskatoties uz mūsu pieņēmumiem, ka ekonomiskie ieguvumi ir spēcīgākais motivētājs, autori konstatēja, ka biosfēras vērtībām ir tikpat nozīmīga loma dažādu enerģijas alternatīvu novērtēšanā.

3.2.2. Ekoinovāciju difūzijas gadījumizpēte

Gala modelis "nodoms izmantot MFC" izskaidroja 41,74 % no novirzes un 34,38 % no koriģētās novirzes. Salīdzinot ar pētījumu, ko veica *Tonglet et al.* (2004) ²³, kur pētīja nodomu pārstrādāt atkritumus, koriģētā deviance šajā pētījumā ir tādā pašā līmenī (34,38 % pret 33,3 %); skat. 2. tabulu.

2. tabula. Novirzes analīze, atlikumu un datu aprakstīšanas spēja modelim "nodoms izmantot MFC (mikrošķiedras audumu)" ($N = 126$, DF – brīvības pakāpes un MSE – vidējā kvadrātiskā kļūda)

Modelis	Izskaidrotā novirze, %	Koriģētā novirze, %	DF	MSE	Či-kvadrāts pie $DF = 1$
nodoms izmantot MFC	41,74****	34,38	4	$1,97 \cdot 10^{-2}$	0.87 ($p > 0,05$)

**** statistiski nozīmīgs pie $p < 0,0001$.

p vērtība Či-kvadrāta testā ir lielāks par 0,05, tāpēc nav iemesla noraidīt izveidotā modeļa atbilstību, un līdz ar to var secināt, ka loģistiskā regressijas funkcija adekvāti apraksta novērotos datus.

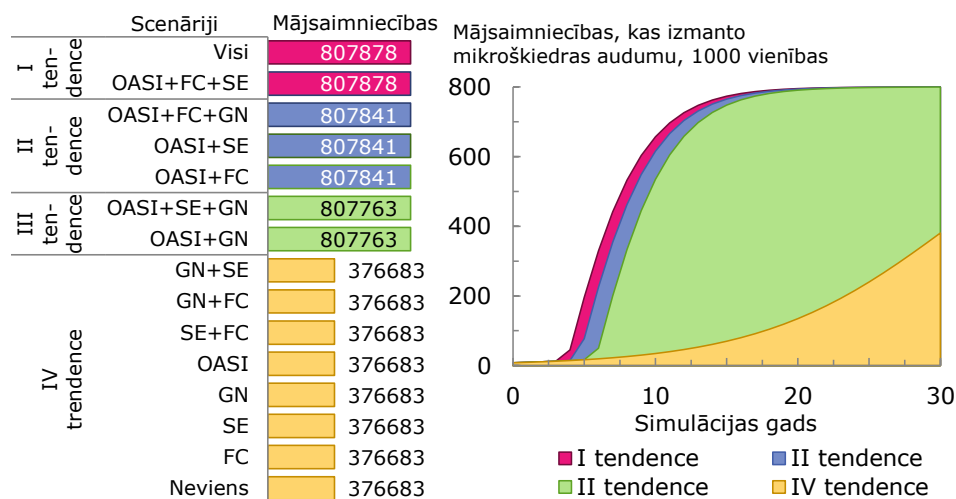
²⁰ Wall R., Crosbie T. (2009). Potential for reducing electricity demand for lighting in households: An exploratory socio-technical study. *Energy Policy*, 37(3), 1021–1031.

²¹ Chappin E.J.L Afman M.R. (2013). An agent-based model of transitions in consumer lighting: Policy impacts from the E.U. phase-out of incandescents. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 7, 16–36.

²² Perlaviciute G., Steg L. (2015). The influence of values on evaluations of energy alternatives. *Renewable Energy*, 77, 259–267.

²³ Tonglet M., Phillips P.S., Bates M.P. (2004). Determining the drivers for householder pro-environmental behaviour: Waste minimisation compared to recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 42(1), 27–48.

Informācijas kampaņas tika analizētas saistībā ar scenāriju analīzi, jo *Steg et al.* (2014)²⁴ norāda, ka darbības, kas vērstas, lai samazinātu izmaksas par videi draudzīgām darbībām vai palielinātu izmaksas par videi kaitīgu uzvedību, ir tikai īstermiņa efekts, skat. 10. attēlu.



10. attēls. Scenāriju analīzes pie dažādu informācijas rezultātiem izveidotajam inovāciju difūzijas modelim. Vispārējā attieksme un sociālā ietekme (OASI), funkcionalitāte un vadāmība (FC), produkta iedarbīgums (SE) un zaļās normas (GN).

Iegūtie rezultāti ir atbalstīti *Ozaki* (2011)²⁵ pētījumā, kur atbalstu "zaļai" elektroenerģijai stingri diktē sociālais spiediens. Šie rezultāti parāda, ka produkta sociālā pieņemšana ir nozīmīgs motivācijas avots, kas ietekmē patērētāju izvēli Latvijā. Par to, ka visas motivācijas vienas pašas nav efektīvas, ir atsaucies arī *Abrahamse* (2005)²⁶ darbā – atbildības ir veicinājušas izmaiņas uzvedībā, bet tikai īstermiņā. Detalizēta informācija rakstā Nr. 4.

²⁴ Steg L. Bolderdijk J.W. Keizer K. Perlaviciute G. (2014). An Integrated Framework for Encouraging Pro-environmental Behaviour: The role of values, situational factors and goals. *J Environ Psychol*, 38, 104–115.

²⁵ Ozaki R. 2011. Adopting sustainable innovation: What makes consumers sign up to green electricity? *Bus Strateg Environ*, 20(1), 1–17.

²⁶ Abrahamse W. Steg L. Vlek C. & Rothengatter T. 2005. A review of intervention studies aimed at household energy conservation. *J Environ Psychol*, 25(3), 273–291.

3.3. Hibrīds modelēšanas paņēmiens

Uzvedība, kas izskaidrota dažādos pētījumos, apkopota 3. tabulā, izmantojot koriģēto R^2 . Tomēr šie skaitļi nav uzticami modeļa kvalitātes salīdzināšanai, tie parāda izskaidrotās uzvedības diapazonu līdz šim izmantotajos modeļos.

3. tabula. Uzvedība, kas izskaidrota ar dažādām metodēm

Pētījums par	Koriģētais R^2	Izmantotā metode	Atsauces
Energo-efektivitātes motivācija	13 %	Statistiskā analīze	Bariss, Timma & Blumberga (2014) ²⁷
Atkritumu šķirošanas motivācija	33 %	Statistiskā analīze	<i>Tonglet et al.</i> (2004) ²³
Inovāciju difūzijas modelis	34 %	Statistiskā analīze un sistēmdinamika un sociālā psiholoģija	Raksts Nr. 4
Papildinātais inovāciju difūzijas modelis	89 %	Hibrīds modelēšanas paņēmiens	Raksts Nr. 6

Kā dots 3. tabulā, 89 % uzvedības ir izskaidrotu gadījumu, kad mākslīgo intelektu izmanto kopā ar „baltās kastes” modelēšanas rīkiem un sociālo psiholoģiju. Mākslīgais intelekts apraksta mērķa ietvaru teoriju, savukārt sistēmdinamikas modelis tiek izmantots, lai skaidrotu plašākas patērētāja uzvedības sekas, piemēram, sociotehniskās pārejas.

²⁷ Bariss U., Timma L., Blumberga D. (2014). Smart metering pilot project results. *Energy Procedia*, 61, 2176–2179.

SECINĀJUMI

Šajā darbā tiek izstrādāta jaunas modelēšanas metodoloģija. Izveidotās metodikas apvieno tehnisko un sociālo sistēmu un apkārtējās vides aspektu, tādējādi nodrošinot holistiskas metodoloģijas instrumentus, lai pētītu sociotehniskās pārejas. Sociotehnisko pāreju procesi ir pētīti no dažādu nozaru viedokļa, piemēram, enerģijas izmantošanas, ieguves un pārvaldība, inovāciju difūzijas un citiem. Sociotehniskā pāreja tiek pētīta, izmantojot dažādas metodikas un to kombinācijas.

Balstoties uz autores zināšanām, šī ir pirmā reize, kad sociotehniskās pārejas tiek pētītas, izmantojot jaunākās zināšanas un modelēšanas instrumentus gan no inženierzinātņu, gan no sociālo zinātņu jomu skatupunkta. Darbā ir izstrādāta un validēta arī metodikas izstrāde, kas izmanto „baltas kastes” modeļus (sistēmdinamikas) kopā ar „melnās kastes” modeļiem (mākslīgais intelekts).

Izveidotā metodoloģija ļauj palīdzēt lēmumu pieņemšanas procesā, modelējot dažādus attīstības scenārijus. Izmantojot iegūtās zināšanas, nozares tika mērķtiecīgi sekmētas efektīvāk sasniegt ilgtspējīgas attīstības mērķus. Izstrādātais darbs ļauj adaptēt attīstītās metodikas, lai pētītu arī citas tehnoloģijas un pakalpojumus dažādos ekonomiku līmeņos.

Miksētas modelēšanas paņēmieni energoefektivitātes un enerģijas pārvaldības jomā

Tika izveidots modelis, kas apraksta māsaimniecību uzvedību un elektroenerģijas ietaupījumus holistiskā un dinamiskā veidā. Patērētāju uzvedības sociālie aspekti ir integrēti, lai sasniegtu augstāku enerģijas ietaupījumu. Ar šī modeļa palīdzību var tikt veikta ne tikai retrospektīvas situācijas analīze, bet arī nākotnes ietaupījumu politika.

Lai imitētu elektroenerģijas tirgus liberalizāciju, ir izvēlēta sistēmdinamika. Ar šo metodi var noteikt elektroenerģijas ietaupījumus, jo sistēma ļauj veikt dinamisku, sarežģītu sistēmu simulāciju un analizējot iegūtos datus, lai prognozētu vairāku scenāriju attīstības varbūtību. Iegūtie rezultāti liecina, ka kumulatīvais elektroenerģijas ietaupījums māsaimniecībās elektroenerģijas tirgus liberalizācijas dēļ līdz 2020. gada beigām varētu sasniegt 560 GWh. Attiecībā uz scenāriju analīzi, izmantojot patēriņa uzvedības maiņu, tika iegūts, ka kumulatīvais elektroenerģijas ietaupījums varētu būt gandrīz divas reizes lielāks, ja lielākā daļa māsaimniecību būtu motivētas saudzēt apkārtējo vidi.

Daudzkārt miksētas modelēšanas paņēmieni

a) energoefektivitātes un enerģijas pārvaldības jomā

Metodika tika izstrādāta un validēta, izmantojot empīrisku pētījumu, (apvienojot sociālo psiholoģiju ar statistisko datu analīzi) kopā ar sistēmdinamikas modelēšanu. Nodoms izmantot energoefektīvus apgaismojuma risinājumus Latvijā tiek izmantots kā gadījuma izpēte.

Energoefektīva apgaismojuma izmantošanai tika definētas divas galvenās motivācijas – finanšu un vides motivācija. Tāpēc politikas veidotājiem būtu jāņem vērā, ka gan māsaimniecībās ar augstiem, gan ar zemiem ienākumiem joprojām izmanto

kvēlspuldzes, jo patērētāji vairāk skatās uz pirkuma tūlītējām izmaksām, bet nespēj novērtēt ilgtermiņa izmaksas, kas izteiktas kā izdevumi par elektroenerģiju.

Ilgtermiņa politikā būtu jāņem vērā ne tikai ekonomiskā puse saistībā ar apgaismes lampas pirkumu, bet arī arvien vairāk jāuzsver patērētāju personīgās vērtības. Rezultāti liecina, ka, neskatoties uz pieņemumu, ka ekonomiskie ieguvumi nav spēcīgākais motivētājs, biosfēriskām vērtībām ir tikpat būtiska loma enerģijas alternatīvu novērtēšanā.

Lai gan sistēmdinamikas modelis bija balstīts uz konkrētas inovācijas difūzijas procesu, ir iespējama modeļa vispārējā izmantošana citiem produktiem un pakalpojumiem.

b) ekoinovāciju difūzijas jomā

Pētījuma mērķis bija izstrādāt konceptuālu modeli ekoinovāciju difūzijas izpētei, balstoties uz patērētāju izvēli. Šis pētījums sniedz skaidrojumus videi draudzīgas uzvedības gadījumā. Mikrošķiedru auduma difūzija Latvijā kā alternatīva tradicionālajiem tīrīšanas līdzekļiem mājāsaimniecībās tika izvēlēta kā gadījuma izpēte.

Piedāvātais konceptuālais modelis pēta informācijas kampaņu ietekmi, lai pastiprinātu ekoinovatīvu produktu izplatīšanos. Ir izstrādāta jauna pētījuma metodika, kur sistēmdinamikas ir saistīts ar loģistisko regresijas modeli. Šis modelis ļauj aprakstīt tehnoloģiskā aizstāšanas procesa dinamiku ekoinovāciju kontekstā. Izstrādātajam modelim tika veikti strukturālās validācijas testi.

Izveidoto metodiku un izstrādāto konceptuālo sistēmadinamikas modeli var izmantot kā pamatu citiem pētījumiem dažādiem difūzijas procesiem, jo sistēmdinamika modelēšana ir „baltās kastes” modelēšanas pieeja, un modeļa struktūra var tikt uzlabota ar jaunākajiem citu pētījumu rezultātiem.

Hibrīda modelēšanas pieeja ekoinovāciju difūzijas jomā

Ir izstrādāta hibrīda modelēšanas pieeja ekoinovāciju difūzijai. Šī metodoloģija apvieno gan miksētas, gan kombinētas pētījuma metodikas, lai uzlabotu rezultātu ticamību un precizitāti. Kā kvantitatīva metode tika izmanta fokusa grupas aptauja, kā kvalitatīvas – gan mākslīgais intelekts, gan sistēmdinamiska, gan statistiskā datu analīze. Visas šīs metodes kopā veido hibrīdo modelēšanas pieeju.

Ar šo darbu ir veikts ieguldījums hibrīdu modelēšanas metodoloģiju izmantošanās ekoinovāciju difūzijas un vides pētījumu jomā. Iegūtie rezultāti liecina, ka modelis var izskaidrot 89 % sistēmas uzvedību. Izveidotā metodikas var būt piemērota dažādu sociotehnisko problēmu risināšanai. Lai gan modelis bija balstīts uz vienu konkrētu gadījumizpēti, ir iespējama tā vispārējā piemērošana citiem produktiem un pakalpojumiem, jo izstrādātais modelis ir izklāstīts pilnībā, un to var izmantot turpmākajai izpētei.