

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

Aiga BARISA

Doktora studiju programmas “Vides zinātne” doktorante

**ZEMA OGLEKĻA CEĻU TRANSPORTA POLITIKAS
MODELĒŠANA LATVIJĀ LĪDZ 2030. GADAM**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskā vadītāja
Profesore *Dr. sc. ing.*
MARIKA ROŠĀ

RTU Izdevniecība
Rīga 2016

Barisa A. Zema oglekļa ceļu transporta politikas modelēšana Latvijā līdz 2030. gadam. Promocijas darba kopsavilkums. – R.: RTU Izdevniecība, 2016. – 39 lpp.

Iespiests saskaņā ar Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta 2016. gada 3. marta lēmumu, protokols Nr. 63.

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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai programmā “Vides zinātne” tiek publiski aizstāvēts 2016. gada 22. septembrī plkst. 14 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 115. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. habil. chem.* Māris Kļaviņš
Latvijas Universitāte

Asociētā profesore *Dr. sc. ing.* Jūlija Gušča
Rīgas Tehniskā universitāte

Vadošais pētnieks *PhD Kenneth Karlsson*
Dānijas Tehniskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

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

Aiga Barisa(paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir izstrādāts angļu valodā, satur ievadu, sešas nodaļas, secinājumus, divus pielikumus, literatūras sarakstu, 59 attēlus, 23 tabulas, kopā 165 lappuses. Literatūras sarakstā ir 294 nosaukumi.

SATURA RĀDĪTĀJS

Tēmas aktualitāte	5
Darba mērķis	5
Pētījumu metodika	5
Zinātniskā novitāte un galvenie rezultāti	6
Darba praktiskais lietojums.....	6
Aprobācija.....	6
Darba struktūra un apjoms	9
1. LITERATŪRAS APSKATS	11
2. PĒTĪJUMU METODIKA.....	13
3. EIROPAS LĪMEŅA IZPĒTE PAR ALTERNATĪVĀS DEGVIELAS TRANSPORTLĪDZEKĻIEM.....	16
3.1. Izpētes un demonstrāciju tīkls alternatīvās degvielas transportlīdzekļu jomā Eiropā....	16
3.2. Intervijas ar Eiropas Savienības līmeņa iesaistītajām pusēm.....	17
4. ATTĪSTĪBA NACIONĀLAJĀ LĪMENĪ: CO ₂ EMISIJU SAMAZINĀJUMA SCENĀRIJU NOVĒRTĒŠANAS RĪKS	18
4.1. Sistēmdinamikas modelēšanas pieeja	18
4.2. Problēmas formulēšana.....	19
4.3. Vispārējs modeļa apraksts	19
4.4. Modelēšanas pieņēmumi.....	22
4.5. Scenāriju izstrāde.....	22
4.6. Modeļa validācija.....	23
4.7. Rezultāti	23
5. PAŠVALDĪBAS LĪMEŅA ANALĪZE	25
5.1. Pirmā piemērizpēte: biometāna izmantošana pilsētas transportā.....	25
5.2. Otrā piemērizpēte: elektromobilitāte Latvijas pašvaldībās	27
6. MĒRĶA NOZARES ANALĪZE	30
6.1. Biodegvielu tirgus Latvijā	30
6.2. Metodoloģija.....	30
6.3. Rezultāti	32
SECINĀJUMI.....	34
LITERATŪRAS SARAKSTS	37

Tēmas aktualitāte

2014. gada otrajā pusē Eiropas līderi vienojās par jaunu klimata un enerģētikas ietvaru līdz 2030. gadam. Saistības paredz vismaz 40 % siltumnīcefekta gāzu emisiju samazinājumu 2030. gadā, salīdzinot ar 1990. gada līmeni. Šī mērķa sasniegšanā savs ieguldījums ir jāsniedz visiem tautsaimniecības sektoriem, ieskaitot transportu. 2011. gadā pieņemtajā transporta “Baltajā grāmatā” noteikts, ka siltumnīcefekta gāzu emisijas transporta sektorā līdz 2050. gadam ir jāsamazina par vismaz 60 %, salīdzinot ar 1990. gada līmeni.

Transporta sektors rada piekto daļu no Eiropas Savienības siltumnīcefekta gāzu emisijām. Kamēr citos sektoros ir vērojams emisiju samazinājums, emisijas transporta sektorā turpina pieaugt. Transporta kļūst energoefektīvāks, tomēr enerģijas patēriņa samazinājums tikai daļēji kompensē pieaugošo pieprasījumu pēc enerģijas transporta sektorā.

Novērotās attīstības tendences un nākotnes prognozes liecina, ka transporta nozarē nav sagaidāmas būtiskas izmaiņas bez politiskas iejaukšanās. Ir nepieciešamas jaunas, efektīvas stratēģijas virzībai uz zema oglekļa transporta sistēmu, vienlaikus neierobežojot mobilitāti.

Darba mērķis

Darba mērķis ir veikt integrētu novērtējumu pārejas politikai uz zema oglekļa ceļu transporta sektoru Latvijā līdz 2030. gadam. Starptautiskajā līmenī galvenais virzītājspēks pārejai uz zema oglekļa transportu ir klimata pārmaiņu mazināšanas saistības. Neskatoties uz to, nacionālajā un pašvaldību transporta politikas plānošanas līmenī klimata aspekts bieži tiek atstāts otrajā plānā vai vispār netiek ņemts vērā. Šī darba galvenais ieguldījums ir integrētas vairāklīmeņu plānošanas pieejas izmantošana, ietverot tehnisko, ekonomisko un vides aspektu novērtējumu.

Darbā izvirzīti izpētes jautājumi:

- I. Kādā mērā transporta politika nacionālā līmenī var sniegt ieguldījumu oglekļa dioksīda emisiju samazinājumā ilgtermiņā, kā to paredz starptautiskās saistības?
- II. Kāds ir pašvaldību potenciāls sekmēt pāreju uz zema oglekļa transporta sistēmu?
- III. Kāda ir mijiedarbība starp transporta politikas plānošanu nacionālajā līmenī un biodīzeļdegvielas sektoru valstī, ņemot vērā, ka biodegvielas tiek uzskatītas par galveno risinājumu siltumnīcefekta gāzu emisiju ierobežošanai transporta sektorā vidējā termiņā?

Pētījumu metodika

Darbā izmantotā metodika ir balstīta uz četrām savstarpēji saistītām daļām atbilstoši piedāvātajai vairāklīmeņu plānošanas pieejai, lai modelētu pārejas politiku uz zema oglekļa transporta sistēmu. Izmantotā metodika ir aprobēta Latvijas piemēram un tiek izmantota politikas veidošanai trīs dažādos līmeņos: nacionālajā, pašvaldību un nozares līmenī.

Pirmajā daļā ir izmantota daļēji strukturētas intervijas metode, lai iegūtu padziļinātus kvalitatīvus datus par alternatīvās degvielas transportlīdzekļu attīstības tendencēm Eiropas līmenī.

Otrajā daļā ir izmantota sistēmdinamikas teorija, lai pētītu transporta sistēmas uzvedību nacionālā līmenī. Izmantojot sistēmdinamikas modelēšanas pieeju, ir radīts jauns matemātisks simulācijas modelis un demonstrēts tā lietojums oglekļa mazināšanas politikas analizē ceļu transportā.

Trešā daļa ir balstīta uz divām pašvaldības līmeņa izpētēm, kur izmantotas atšķirīgas pieejas. Pirmajā gadījumā ir izmantota kombinēta enerģijas un materiālu, un naudas plūsmu analīze, lai veiktu tehniski ekonomisko izvērtējumu alternatīvās degvielas transportlīdzekļu ieviešanai pašvaldības autoparkā. Otrajā gadījumā ir izmantota kvalitatīvā zinātniski pētnieciskā

aptaujas metode, lai iegūtu datus par Latvijas pašvaldību pirmo pieredzi elektriskās uzlādes transportlīdzekļu izmantošanā.

Ceturtajā daļā ir izmantota sistēmdinamikas modelēšanas pieeja, lai izstrādātu jaunu matemātisku datorsimulācijas modeli biodīzeļdegvielas sektora politikas analīzei. Modelis prognozē biodīzeļdegvielas īpatsvaru transporta enerģijas gala patēriņā dažādu politikas stratēģiju ietekmē.

Zinātniskā novitāte un galvenie rezultāti

Ir izveidota un izmantota integrēta vairāklīmeņu pieeja, lai novērtētu oglekļa dioksīda emisiju samazinājuma potenciālu ceļu transportā līdz 2030. gadam. Tā ietver:

- jauna matemātiskā enerģētikas un ekonomikas modeļa izveidi un aprobāciju, balstoties uz sistēmdinamikas teoriju. Modelis ir lietojams nacionāla līmeņa oglekļa emisiju samazināšanas politikas analīzei transporta sektorā;
- jauna matemātiskā datorsimulācijas modeļa izveidi un aprobāciju, balstoties uz sistēmdinamikas modelēšanas pieeju biodīzeļdegvielas sektora politikas analīzei;
- integrētas enerģijas, materiālu un naudas plūsmas analīzes metodikas izstrādi un aprobāciju “no atkritumiem līdz biometānam” koncepcijas ieviešanas novērtējumam pašvaldības līmenī.

Izpētes rezultāti sniedz instrumentu ilgtspējīgas transporta politikas izveidei valsts, vietējā un nozares līmenī, ietverot starpnozaru atgriezeniskās saites un mijiedarbību. Darbā izmantotās metodes ir apspriestas recenzētās starptautiskās zinātniskās publikācijās, uzsverot to zinātnisko novitāti un nozīmību.

Darba praktiskais lietojums

Promocijas darbam ir liela praktiskā nozīme. Darba rezultātus var izmantot trīs ieinteresētās puses. Nacionālajā līmenī iegūtos rezultātus var izmantot, lai labāk izprastu oglekļa dioksīda emisiju veidošanās dinamiku ceļu transportā nākamajās desmitgadēs un atrastu optimālās stratēģijas nacionālo mērķu sasniegšanai transporta, klimata un enerģētikas politikas kontekstā. Darba ietvaros izstrādātie modelēšanas rīki ļauj novērtēt dažādu politikas atbalsta instrumentu ietekmi, lai sekmētu zema oglekļa ceļu transporta attīstību Latvijā.

Transporta nozares pārstāvji darba rezultātus var izmantot, plānojot nākotnes investīciju lēmumus, jo tie palīdz novērtēt un analizēt atgriezenisko saiti no nacionāla līmeņa politikas plānošanas tendencēm un identificē sinerģiju un iespējamus trūkumus politikas ieviešanas rezultātā.

Visbeidzot, pašvaldību līmenī pētījuma rezultātus var izmantot, ilgtspējīgas enerģijas rīcības plānu vai mobilitātes plānu ietvaros pieņemot lēmumus par turpmāko enerģijas izmantošanu transporta sektorā. Turklāt pētījuma rezultāti kalpo kā izejas punkts tālākām diskusijām ar iesaistītajām pusēm pašvaldību līmenī (sabiedriskā transporta pakalpojumu sniedzējiem, degvielas piegādātājiem, sabiedrību), kas ir būtiskas ceļā uz zema oglekļa sabiedrību.

Aprobācija

Promocijas darba autores pētījumu rezultāti ir prezentēti un apspriesti 15 zinātniskajās konferencēs, 10 recenzētos pilna teksta zinātniskajos žurnālos, 9 recenzētos zinātnisko konferenču rakstu krājumos un divos mācību literatūras izdevumos.

Publikācijas

1. Blumberga, A., Lauka, D., Barisa, A., Blumberga, D. Modelling the Baltic power system till 2050. *Energy Conversion and Management*, 2016, Vol. 107, pp. 67–75 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).
2. Blumberga, D., Blumberga, A., Barisa, A., Rošā, M., Lauka, D. Modelling the Latvian power market to evaluate its environmental long-term performance. *Applied Energy*, 2016, Vol. 162, pp. 1593–1600 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).
3. Barisa, A., Dzene, I., Rošā, M., Dobrāja, K. Waste-to-biomethane concept application: A case study of Valmiera city in Latvia. *Environmental and Climate Technologies*, 2015, Vol. 15, pp. 48–58 (indeksēts SCOPUS).
4. Dzene, I., Barisa, A., Rošā, M., Dobrāja, K. A conceptual methodology for waste-to-biomethane assessment in an urban environment. *Energy Procedia (In Press)* (indeksēts SCOPUS).
5. Dobrāja, K., Barisa, A., Rošā, M. Cost-Benefit Analysis of Integrated Approach to Waste and Energy Management. *Energy Procedia (In Press)* (indeksēts SCOPUS).
6. Barisa, A., Rošā, M., Ķīsele, A. Introducing electric mobility in Latvian municipalities: results of a survey. *Energy Procedia (In Press)* (indeksēts SCOPUS).
7. Blumberga, A., Timma, L., Lauka, D., Dāce, E., Barisa, A., Blumberga, D. Achieving sustainability in non-ETS sectors using system dynamics modelling practice. *Chemical Engineering Transactions*, 2015, Vol. 45, pp. 871–876 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).
8. Barisa, A., Rošā, M. Modelling transition policy to a sustainable regional transport system: A case study of the Baltic States. *Management of Environmental Quality*, 2015, Vol. 26, pp. 357–372 (indeksēts SCOPUS).
9. Barisa, A., Rošā, M., Laicāne, I., Sarņiņš, R. Application of low-carbon technologies for cutting household GHG emissions. *Energy Procedia*, 2015, Vol. 72, pp. 230–237 (indeksēts Scopus, Web of Science).
10. Barisa, A., Romagnoli, F., Blumberga, A., Blumberga, D. Future biodiesel policy designs and consumption patterns in Latvia: a system dynamics model. *Journal of Cleaner Production*, 2015, Vol. 88, pp. 71–82 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).
11. Barisa, A., Rošā, M., Blumberga, A., Blumberga, D. Modelling sustainable road transport strategies in Latvia. *Proceedings e-book of the 6th International Congress Energy and Environment Engineering and Management*, 2015, Paris, France, 22–24 July, pp. 1–4.
12. Rošā, M., Barisa, A., Sutherland Olsen, D. Implementing renewable energy in European transport: barriers and opportunities. *Proceedings e-book of the Transport Research Arena*, 2014, Paris, France, 14–17 April, pp. 1–10.
13. Romagnoli, F., Barisa, A., Dzene, I., Blumberga, A., Blumberga, D. Implementation of different policy strategies promoting the use of wood fuel in the Latvian district heating system: impact evaluation through a system dynamic model. *Energy*, 2014, Vol. 76, pp. 210–222 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).
14. Blumberga, D., Blumberga, A., Barisa, A., Rošā, M. System dynamic modeling of low carbon strategy in Latvia. *Energy Procedia*, 2014, Vol. 61, pp. 2164–2167 (indeksēts SCOPUS).
15. Barisa, A., Blumberga, A., Blumberga, D., Rošā, M., Kuhl-Thalfeldt, R. Modeling the Baltic Power System till 2050. *Proceedings of the 27th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems (ECOS 2014)*, 2014, Turku, Finland, 15–19 June, pp. 1475–1490.
16. Barisa, A., Blumberga, D., Blumberga, A., Veidenbergs, I., Kuhl-Thalfeldt, R. Evaluation of RES-E Support Policies in the Baltic States. *Proceedings of the 9th International Conference on Environmental Engineering*, 2014, Vilnius, Lithuania, 22–23 May, pp. 1–9 (indeksēts Web of Science)

17. Blumberga, D., Blumberga, A., Rošā, M., Barisa, A. Energy planning in small municipalities based on monitoring results and demand side management. *Journal of Energy and Power Engineering*, 2014, Vol. 8, pp. 453–460 (indeksēts EBSCO).
18. Barisa, A., Cimdiņa, G., Romagnoli, F., Blumberga, D. Potential for bioenergy development in Latvia: future trend analysis. *Agronomy Research*, 2013, Vol. 11, pp. 275–282 (indeksēts SCOPUS, Web of Science).
19. Seļivanovs, J., Blumberga, D., Ziemele, J., Barisa, A. Research of woody biomass drying process in pellet production. *Environmental and Climate Technologies*, 2012, Vol. 10, pp. 46–50 (indeksēts SCOPUS).

Mācību literatūra

1. Blumberga, D., Gedrovičs, M., Kirsanovs, V., Timma, L., Kļaviņa, K., Kubule, A., Kļaviņš, J., Muižniece, I., Kauls, O., Barisa, A., Bāliņa, K., Lauka, D., Ziemele, J., Kārkliņa, I. *Laboratorijas darbu krājums vides inženierzinātņu studentiem. 3. daļa*. Rīga: RTU Izdevniecība, 2016, 92 lpp. ISBN 978-9934-10-747-4
2. Blumberga, D., Barisa, A., Kubule, A., Kļaviņa, K., Lauka, D., Muižniece, I., Blumberga, A., Timma, L. *Biotehonoma*. Mācību grāmata. Rīga: RTU Izdevniecība, 2016, 338 lpp. ISBN 978-9934-10-789-4

Konferences

1. Barisa, A., Dzene, I., Rošā, M., Dobrāja, K. Waste-to-biomethane Concept Application: A Case Study of Valmiera City in Latvia. *Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT*, Riga, Latvia, 14–16 October, 2015.
2. Dzene, I., Barisa, A., Rošā, M., Dobrāja, K. A conceptual methodology for waste-to-biomethane assessment in an urban environment. *Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT*, Riga, Latvia, 14–16 October, 2015.
3. Dobrāja, K., Barisa, A., Rošā, M. Cost-Benefit Analysis of Integrated Approach to Waste and Energy Management. *Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT*, Riga, Latvia, 14–16 October, 2015.
4. Barisa, A., Rošā, M., Ķīsele, A. Introducing electric mobility in Latvian municipalities: results of a survey. *Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT*, Riga, Latvia, 14–16 October, 2015.
5. Blumberga, A., Timma, L., Lauka, D., Dāce, E., Barisa, A., Blumberga, D. Achieving Sustainability in Non-ETS Sectors Using System Dynamics Modelling Practice. *18th Conference on Process Integration, Modelling and Optimization for Energy Saving and Pollution Reduction (PRES)*, Kuching, Malaysia, 22–27 August, 2015.
6. Barisa, A., Rošā, M., Blumberga, A., Blumberga, D. Modelling sustainable road transport strategies in Latvia. *International Congress of Energy and Environment Engineering and Management*, Paris, France, 22–24 July, 2015.
7. Barisa, A., Blumberga, A., Blumberga, D., Rošā, M., Kuhl-Thalfeldt, R. Modeling the Baltic Power System till 2050. *27th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems ECOS 2014*, Turku, Finland, 15–19 June, 2014.
8. Blumberga, D., Blumberga, A., Barisa, A., Rošā, M. System Dynamic Modeling of Low Carbon Strategy in Latvia. *6th International Conference on Applied Energy ICAE 2014*, Taipei, Taiwan, 30 May to 2 June, 2014.

9. Barisa, A., Blumberga, D., Blumberga, A., Veidenbergs, I., Kuhi-Thalfeldt, R. Evaluation of RES-E Support Policies in the Baltic States. *9th International Conference on Environmental Engineering*, Vilnius, Lithuania, 22–24 May, 2014.
10. Rošā, M., Barisa, A., Sutherland Olsen, D. Implementing renewable energy in European transport: barriers and opportunities. *Transport Research Arena 2014*, Paris, France, 14–17 April, 2014.
11. Barisa, A., Rošā, M., Blumberga, D., Kuhi-Thalfeldt, R. A Comparison on Renewable Electricity Support Policies in the Baltic and Nordic Countries. *International Scientific Conference “Environmental and Climate Technologies”*, Riga, Latvia, 14–16 October, 2013.
12. Barisa, A., Romagnoli, F., Blumberga, A., Blumberga, D. Future biodiesel policy designs and consumption patterns in Latvia: a System Dynamics model. *8th Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, Dubrovnik, Croatia, 22–27 September, 2013.
13. Barisa, A., Cimdiņa, G., Romagnoli, F., Blumberga, D. Potential for Bioenergy Development in Latvia: Future Trend Analysis. *4th International Conference “Biosystems Engineering”*, Tartu, Estonia, 9–10 May, 2013.
14. Barisa, A., Romagnoli, F., Blumberga, A. Klimata kritēriji biodīzeļdegvielas ražošanas nozarē (Criteria for climate in biodiesel industry). *71st Scientific Conference of the University of Latvia*, Riga, Latvia, 30 January, 2013.
15. Barisa, A., Dzene, I., Romagnoli, F., Blumberga, A. Policy Instruments for Increasing the Use of Wood Fuel in Latvian District Heating Systems. *Riga Technical University 53rd International Scientific Conference: Dedicated to the 150th Anniversary and the 1st Congress of World Engineers and Riga Polytechnic Institute*. Riga, Latvia, 11–12 October, 2012.

Darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs ir izstrādāts angļu valodā un satur ievadu, sešas nodaļas, secinājumus, divus pielikumus un izmantotās literatūras sarakstu. Ievadā ir apskatīta pētītās tēmas aktualitāte, darba mērķis un izmantotās metodes, rezultātu zinātniskā un praktiskā nozīmība.

Promocijas darba pirmajā nodaļā dots teorētisks pētījuma pamatojums. Balstoties uz literatūras apskatu, ir skaidrota nepieciešamība pāriet uz zema oglekļa transporta sistēmu Eiropā, šai pārejai pastāvošie nosacījumi un iespējamie virzieni, kā arī dots pārskats par transporta sektora attīstības tendencēm Latvijā, kas ir izvēlēta kā reprezentatīvs pētījuma piemērs.

Otrajā nodaļā ir ietverts vispārīgs izmantotās metodiskās pieejas skaidrojums transporta plānošanai dažādos līmeņos.

Trešajā nodaļā veikta ceļu transporta attīstības tendenču analīze Eiropas līmenī. Nodaļā prezentēti rezultāti, kas iegūti intervijās ar septiņām vadošajām Eiropas līmeņa organizācijām, kas ir atbildīgas par izpēti un attīstību saistībā ar atjaunojamās enerģijas tehnoloģiju izmantošanu autotransportā.

Ceturtnā nodaļa ir veltīta zema oglekļa ceļu transporta politikas plānošanai valsts līmenī, balstoties uz jauna dinamiskā datormulācijas modeļa izmantošanu. Nodaļā ir dots apskats par sistēmdinamikas modelēšanas pieeju, skaidroti izstrādātā modelēšanas rīka uzbūves un darbības principi un tā lietojums scenāriju izpētē.

Piektajā nodaļā ir aprakstīti divi izpētes piemēri, analizējot alternatīvo degvielu transportlīdzekļu ieviešanu pašvaldībās. Pirmā daļā ir veikts “no atkritumiem līdz biometānam” resursu efektivitātes koncepta izvērtējums, pamatojoties uz vidēja lieluma Latvijas pilsētas piemēru, ietverot tehniskos, ekonomiskos un vides aspektus. Otrajā daļā ir analizēta Latvijas pašvaldību pirmā pieredze elektriskās uzlādes transportlīdzekļu izmantošanā.

Sestajā nodaļā ir analizēta biodīzeļdegvielas sektora attīstība Latvijā. Nodaļā ir dots matemātiska datortsimulācijas modeļa apraksts un skaidrots tā lietojums politikas pasākumu analīzē, lai palielinātu pirmās paaudzes biodīzeļdegvielas tirgus daļu.

Promocijas darbs noslēdzas ar būtiskāko izpētes secinājumu apkopojumu.

Promocijas darbs sastāv no 165 lappusēm, tajā ir ietverti 59 attēli, 23 tabulas, divi pielikumi un izmantotās literatūras saraksts ar 294 avotiem.

1. LITERATŪRAS APSKATS

Novērtēts, ka Eiropas Savienības (ES) transporta sektors 2010. gadā bija par 9 % energoefektīvāks nekā dekādi iepriekš [1]. Tomēr enerģijas patēriņa samazinājums tikai daļēji kompensē pieaugošo pieprasījumu pēc enerģijas transporta sektorā. 2013. gadā pasažieru pārvadājumu apjoms ar motorizēto transportu ES-28 bija 6465 miljardi pasažierkilometru jeb vidēji 12700 km uz iedzīvotāju. Pasažieru pārvadājumu apjoms laika posmā no 1995. gada līdz 2013. gadam ir palielinājies vidēji par 1,0 % gadā jeb 20,4 % kopumā. Tikmēr kravu pārvadājumu apjoms 2013. gadā bija 3481 miljards tonnkilometru, kas bija 22,3 % pieaugums, salīdzinot ar 1995. gada līmeni, jeb vidēji 1,1 % pieaugums gadā [2].

Transporta degvielas pieprasījums 94,0 % balstās uz fosilo degvielu [3]. Bez ekonomiskajiem efektiem lielā atkarība no fosilās degvielas ir pamats tam, ka transports ir nozīmīgs un joprojām pieaugošs siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju avots. 2013. gadā transporta sektora SEG emisijas ES-28 bija 887,5 miljoni tonnu oglekļa dioksīda (CO₂) ekvivalenta [4], kas bija par 12,9 % vairāk nekā 1990. gadā.

Šie skaitļi norāda uz transporta nozares neatrisinātajām problēmām, kuru pamatā ir spēcīga cēloņsakarība. Ekonomiskā izaugsme, kas ir kā makroekonomikas, tā arī mikroekonomikas un indivīda mērķis, izraisa pieprasījuma palielināšanos pēc transporta pakalpojumiem. Mūsdienu apstākļos šis pieprasījums pamatā tiek nodrošināts, izmantojot fosilos energoresursus. Tas savukārt ir cēlonis faktam, ka transporta sektors ir nozīmīgs SEG emisiju avots. Transporta sektora pieaugošais enerģijas patēriņš un siltumnīcefekta gāzu emisijas prasa tūlītēju rīcību, ko ir atzinusi arī Eiropas Komisija. Tajā pašā laikā transporta sektora kompleksā daba rada lielu izaicinājumu mobilitātes pieauguma nošķiršanai no fosilās enerģijas patēriņa un ar to saistītās negatīvās ietekmes uz klimatu.

Ietvaru pārejai uz zema oglekļa transporta sistēmu Eiropā veido trīs nozīmīgas iniciatīvas:

- 1) transporta “Baltā grāmata” [5];
- 2) Atjaunojamo energoresursu direktīva [6];
- 3) Tīras transporta enerģijas pakete.

Transporta “Baltā grāmata” (2011) rada ietvaru transporta sektora ilgtermiņa ieguldījumam SEG emisiju samazināšanā. Ilgtermiņa mērķis paredz vismaz 60 % emisiju samazinājumu transportā 2050. gadā, salīdzinot ar 1990. gada līmeni. Galvenais uzsvars tiek likts uz alternatīvajām degvielām un transporta sistēmu efektivitātes un optimālas izmantošanas palielināšanu. “Baltā grāmata” nosaka 40 rīcības virzienus un 131 konkrētu iniciatīvu, lai Eiropas Savienībā veidotu konkurētspējīgu un no naftas mazāk atkarīgu transporta sistēmu ar samazinātu ietekmi uz vidi.

Lai mazinātu transporta sektora atkarību no fosilās degvielas, Atjaunojamo energoresursu direktīvā (2009/28/EK) ir noteikts visām dalībvalstīm saistošs mērķis nodrošināt vismaz 10 % atjaunojamās enerģijas daļu transporta enerģijas gala patēriņā 2020. gadā. Līdzšinējā attīstības gaita ir parādījusi, ka mērķa sasniegšana ir problemātiska. Eiropas Komisija savā novērtējumā 2013. gadā [7] secināja, ka 22 no 27 dalībvalstīm nebija sasniegušas indikatīvo 5,75 % atjaunojamās enerģijas mērķi transporta enerģijas gala patēriņā 2010. gadā. Piecus gadus vēlāk, 2015. gadā, 10 % atjaunojamās enerģijas mērķi transportā ir sasniegušas vien divas no 28 Eiropas Savienības dalībvalstīm [3]. No tā var secināt, ka pastāv būtiski šķēršļi, kas kavē alternatīvu degvielas veidu ienākšanu transporta tirgū.

Lai risinātu šo problēmu, 2015. gadā Eiropas Komisija nāca klajā ar Tīras transporta enerģijas paketi, kuras mērķis ir ilgtermiņā sekmēt pāreju no naftas uz citām degvielām visos transporta veidos. Viena no paketes sastāvdaļām ir jauna direktīva par alternatīvo degvielu infrastruktūras izveidi [8]. Saskaņā ar direktīvu dalībvalstīm ir jāizveido nacionālais politikas ietvars alternatīvo degvielu un to infrastruktūras izveidei un izmantošanai. Vispārējais mērķis ir

nodrošināt uzpildes un uzlādes infrastruktūras pieejamību Eiropā, tādējādi sperot būtisku soli pretī alternatīvās degvielas tehnoloģiju plašākai ienākšanai tirgū.

Lai sekmētu CO₂ emisiju samazinājumu transportā, tiek izmantoti dažādi politikas instrumenti. Tos var klasificēt, izmantojot tā saukto “izvairīties–mainīt–uzlabot” principu [9], [10] (1.1. att.). “Izvairīties–mainīt–uzlabot” koncepcija paredz, ka CO₂ emisijas transportā var samazināt trīs veidos:

- samazinot vai novēršot nepieciešamību pārvietoties (“izvairīties” stratēģijas);
- pārejot uz mazāk piesārņojošiem transporta veidiem (“mainīt” stratēģijas);
- uzlabojot transporta veidu un transportlīdzekļu tehnoloģiju efektivitāti (“uzlabot” stratēģijas).

Zinātniskajā literatūrā ir atrodami daudzi pētījumi par dažādu politikas pasākumu ietekmi uz emisiju samazinājumu. Līdzšinējā izpēte ir apliecinājusi, ka transporta lietotāja uzvedībai ir būtiska loma pārejā uz zema oglekļa transporta sistēmu. Patērētāji izdara dažādas izvēles, piemēram, vai pārvietoties, kā pārvietoties, kā braukt, vai iegādāties automašīnu un kādu automašīnu iegādāties [11]. Līdz ar to bez fizikāliem (infrastruktūras), tehniskiem un ekonomiskiem jautājumiem uzvedības aspekts ir viens no izaicinājumiem, lai pārvietošanās kļūtu ilgtspējīga.

2. PĒTĪJUMU METODIKA

Pāreja uz zema oglekļa transporta sistēmu ir daudzlīmeņu plānošanas process, sākot no katra kā indivīda un beidzot ar starptautisko līmeni. Promocijas darbā izmantotā metodika balstās uz vairāklīmeņu plānošanas pieeju un ietver pētījumu četrās dimensijās atbilstoši atšķirīgiem plānošanas līmeņiem:

- starptautiskais līmenis;
- nacionālais līmenis;
- vietējais jeb pašvaldības līmenis;
- nozares līmenis.

Kā skaidrojusi Zermoglio u. c. [12], integrētas daudzpakāpju plānošanas pieeja ļauj labāk izprast lēmumu pieņēmēju vajadzības katrā no plānošanas līmeņiem un mijiedarbību starp dažādām iesaistītajām pusēm. Atšķirīgos līmeņos veikts novērtējums ir vērst uz būtiskāko virzītājspēku un ietekmju izvērtējumu katrā no tiem un sniedz atšķirīgu skatījumu uz vienotu problēmu, tādējādi ļaujot nonākt pie pamatotiem, visaptverošiem secinājumiem.

Promocijas darba izpēte sastāv no četriem posmiem, kas ir iedalīti atsevišķās izpētes daļās, kā parādīts 2.1. attēlā.

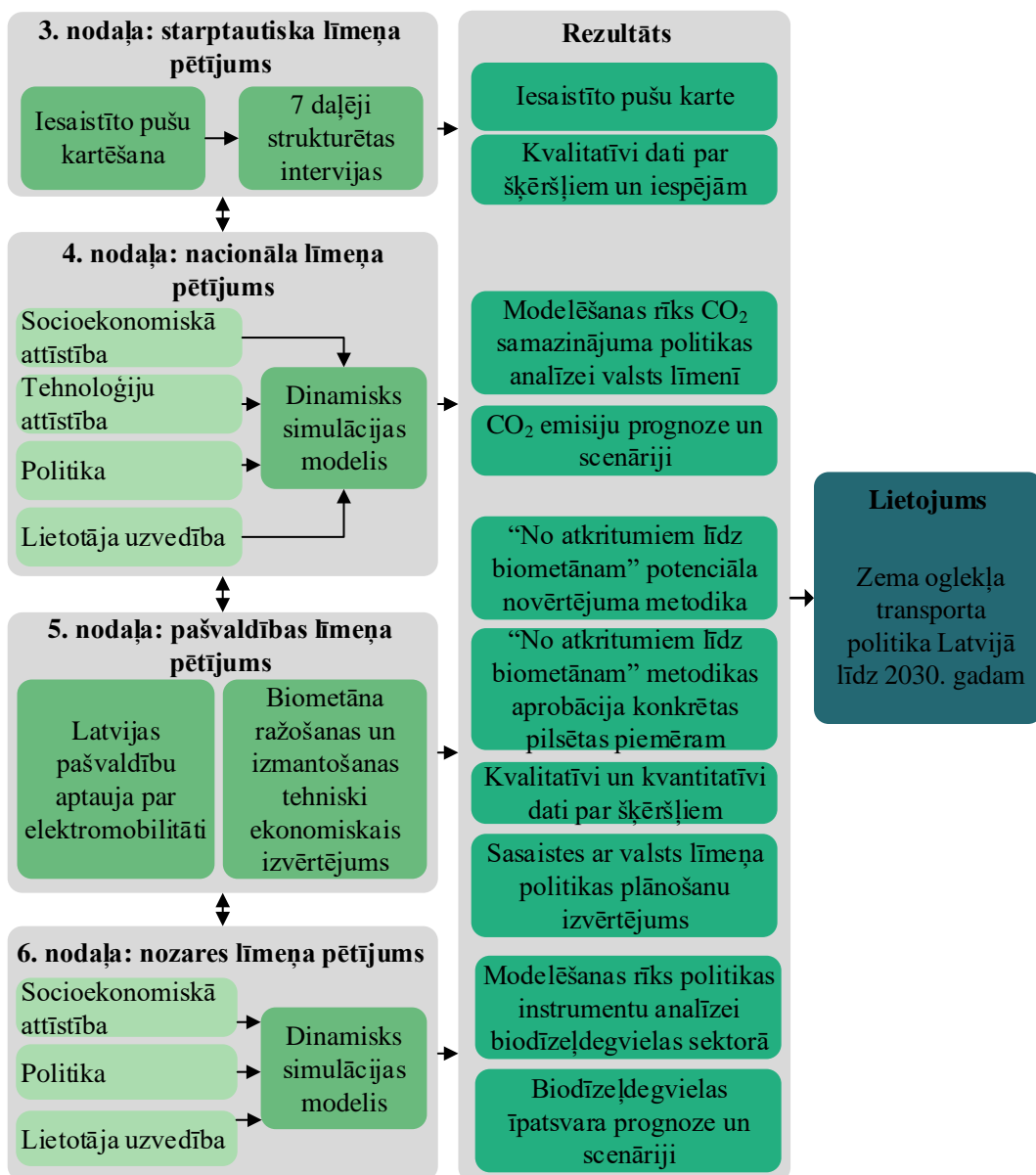
Trešajā nodaļā pētīti ilgtspējīgas transporta plānošanas aspekti starptautiskajā (Eiropas) līmenī. Transporta politikas plānošanu starptautiskajā līmenī var uzskatīt par plānošanas “jumtu”. Starptautiskā līmeņa transporta politika uzstāda mērķus un rada ietvaru globālo transporta jautājumu risināšanai, pie kuriem pieder arī klimata pārmaiņas. Izpētes mērķis bija saprast robežnosacījumus alternatīvo degvielu izmantošanai Eiropas Savienībā. Pētījums sastāvēja no diviem soļiem. Pirmajā solī tas ietvēra alternatīvās degvielas transportlīdzekļu izpētē un attīstībā iesaistīto Eiropas līmeņa organizāciju kartēšanu, balstoties uz pieejamās informācijas analīzi. Pētījuma otrajā solī tika izmantota kvalitatīvā zinātniski pētnieciskā metode – padziļinātas intervijas ar identificētajiem nozares ekspertiem –, lai novērtētu esošo praksi, pastāvošos šķēršļus un iespējas alternatīvo degvielu izmantošanai Eiropas autotransportā.

Ceturtajā nodaļā ir analizēta CO₂ emisiju samazināšanas politika transporta nozarē valsts līmenī. Transports ir viens no sektoriem, kas neietilpst Eiropas Savienības Emisiju tirdzniecības sistēmā (izņemot starptautisko aviāciju). Tādējādi lēmumi par pasākumiem transporta sektora dekarbonizācijai ir dalībvalstu rokās. Nacionālā līmeņa pētījuma mērķis bija novērtēt CO₂ emisiju ierobežošanas potenciālu no lielākajiem emisiju avotiem transporta sektorā – auto un dzelzceļa transporta – līdz 2030. gadam. Lai labāk izprastu CO₂ emisiju veidošanās virzītājspēkus ceļu transporta sektorā un identificētu nepieciešamās izmaiņas transporta sistēmas struktūrā, izmantojot sistēmdinamikas modelēšanas pieeju, ir izveidots dinamisks matemātisks modelis. Modelis ir apbēts Latvijas apstākļiem.

Piektajā nodaļā ir pētīta pašvaldību loma valsts un starptautiskās transporta politikas mērķu izpildes veicināšanā. Vietējās pašvaldības lielā mērā ir atbildīgas par nacionālās transporta politikas realizēšanu un izvīzīto mērķu sasniegšanu. Vietējā līmeņa pētījuma mērķis bija novērtēt pašvaldību potenciālu sekmēt pāreju uz zema oglekļa transporta sistēmu. Novērtējums tika balstīts uz divu gadījumu analīzi. Pirmās izpētes mērķis bija novērtēt tehniski ekonomisko potenciālu “no atkritumiem līdz biometānam” koncepcijas izmantošanai, pamatojoties uz vidēja lieluma Latvijas pilsētas piemēru. Otrās izpētes mērķis bija novērtēt Latvijas pašvaldību pirmo pieredzi elektriskās uzlādes transportlīdzekļu ieviešanā. Šajā pētījumā izmantota aptaujas kvalitatīvi zinātniski pētnieciskā metode.

Sestajā nodaļā ir analizēta saikne starp valsts un nozares politiku. Nacionālajā un vietējā līmenī pieņemtajiem lēmumiem ir gan tieša, gan netieša ietekme uz mikroekonomiku (pakalpojumu un infrastruktūras nodrošinātājiem, degvielas ražotājiem un piegādātājiem u. c. nozaru pārstāvjiem). Stratēģiskie centieni valstu un pašvaldību līmenī veicina attīstību un izaugsmi

konkrētajās nozarēs. Tajā pašā laikā politikas trūkums vai tās neatbilstība var novest pie nevēlamām sekām, piemēram, nozares lejupslīdes un nespējas sasniegt nospraustos mērķus. Biodeģvielas tiek uzskatītas par būtisku daļu no kopējās stratēģijas, kā dažādot Eiropas enerģijas piegādes un mazināt SEG emisijas izmaksu efektīvā veidā. Izpētes mērķis bija noteikt nepieciešamos politikas atbalsta pasākumus, lai palielinātu biodīzeļdegvielas īpatsvaru transporta enerģijas galapatēriņā. Pētāmais jautājums tika apskatīts ar jaunizveidota matemātiskā simulācijas modeļa palīdzību. Šis modelis balstīts uz sistēmdinamikas modelēšanas pieeju un ir apbēts Latvijas apstākļiem.



2.1. att. Promocijas darba izpētes daļas izklāsts atbilstoši izmantotajai Latvijas transporta sektora attīstības vairāklīmeņu analīzei.

Ņemot vērā notiekošo virzību uz zema oglekļa transporta sektoru, visefektīvāko politikas stratēģiju izvēlei ir būtiska nozīme, lai sekmētu šo pāreju. Promocijas darbā izmantotā pētījumu metodika apvieno lejupvērstās un augšupvērstās modelēšanas pieejas. No vienas puses, lejupvērstās analīzes ietvars, kas ir aprakstīts 4. nodaļā (papildināts ar rezultātiem no 3. nodaļas) sniedz nepieciešamo izpratni par politikas mehānismiem, ko var izmantot, lai paātrinātu pāreju uz zema oglekļa transporta sistēmu valsts līmenī. No otras puses, augšupvērstās analīzes novērtējums, kas ir izmantots 5. nodaļā un 6. nodaļā, dod vienotu skatījumu pašvaldības un nozares līmenī. Turpmākajās nodaļās ietverts plašāks izmantoto metožu skaidrojums atbilstoši katram no analizētajiem plānošanas līmeņiem.

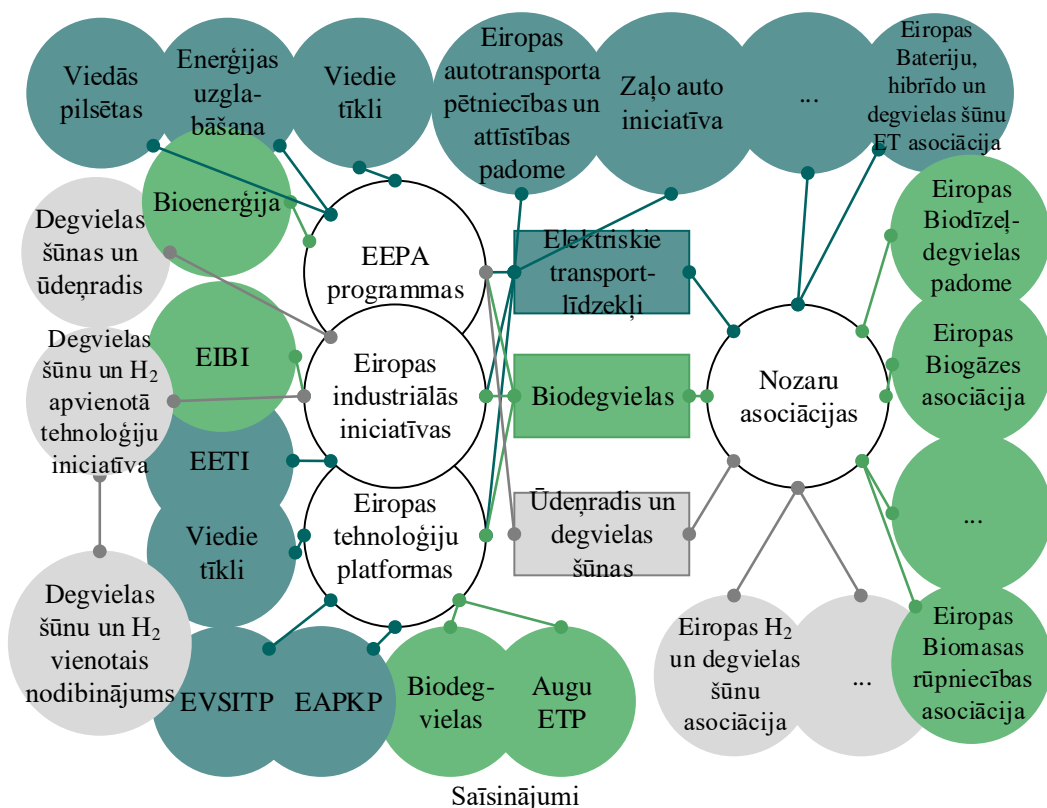
3. EIROPAS LĪMEŅA IZPĒTE PAR ALTERNATĪVĀS DEGVIELAS TRANSPORTLĪDZEKĻIEM

Šīs promocijas darba daļas mērķis bija palielināt zināšanas un izpratni par galvenajiem šķēršļiem un iespējām alternatīvās degvielas transportlīdzekļu izmantošanai Eiropas līmenī. Izpēte balstās uz rezultātiem, kas iegūti no septiņām padziļinātām intervijām ar Eiropas līmeņa organizāciju pārstāvjiem, kuri nodarbojas ar alternatīvās degvielas tehnoloģiju izpēti un attīstību. Pētījumā apskatītas trīs galvenās alternatīvo degvielu tehnoloģiju platformas: elektroenerģija, biodegvielas un ūdeņradis un degvielas šūnas.

3.1. Izpētes un demonstrāciju tīkls alternatīvās degvielas transportlīdzekļu jomā Eiropā

Eiropas tīkls alternatīvo degvielas tehnoloģiju izpētē veidojas no galvenajām organizācijām (3.1. att.):

- Eiropas tehnoloģiju platformām;
- Eiropas rūpniecības iniciatīvām;
- Eiropas Enerģētikas pētniecības alianses programmām.



EAPKP – Eiropas Autotransporta pētniecības konsultatīvā padome	ET – elektriskais transportlīdzeklis
EEPA – Eiropas Enerģētikas pētniecības aliansē	ETP – Eiropas tehnoloģiju platforma
EETI – Eiropas Elektroenerģijas tīklu iniciatīva	EVSITP – Eiropas Viedo sistēmu integrācijas tehnoloģiju platforma
EIBI – Eiropas Industriālā bioenerģijas iniciatīva	H ₂ – ūdeņradis

3.1. att. Eiropas pētniecības un attīstības tīkls alternatīvās degvielas transportlīdzekļu jomā.

Šīs organizācijas ir atbildīgas par stratēģisko pētniecības programmu izstrādi alternatīvo degvielu tehnoloģiju jomā, pētniecības tīklu stiprināšanu un sadarbības sekmēšanu starp akadēmisko vidi un rūpniecības sektoru. Papildus šīm organizācijām darbojas nozares asociācijas, kuru galvenais uzdevums ir pārstāvētās nozares attīstības veicināšana dažādos līmeņos.

No identificētajām organizācijām, kas veido centrālo pētniecības tīklu alternatīvās degvielas tehnoloģiju attīstībai Eiropā, tika izvēlēti pārstāvji intervijām. Kopā tika izvēlētas septiņas organizācijas, kas pārstāv kādu no trim tehnoloģiju platformām:

- Eiropas Biodegvielu tehnoloģiju platforma;
- Eiropas Rūpnieciskā bioenerģijas iniciatīva;
- Eiropas Biogāzes asociācija;
- Projekts “eMotion” (viens no lielākajiem projektiem Eiropas “Zaļo auto” iniciatīvas ietvaros);
- Eiropas “Zaļo auto” iniciatīva;
- Eiropas Enerģētikas pētniecības alianses vienotā degvielas šūnu un ūdeņraža programma;
- Eiropas Ūdeņraža asociācija.

3.2. Intervijas ar Eiropas Savienības līmeņa iesaistītajām pusēm

Interviju mērķis bija iegūt informāciju par Eiropas līmeņa attīstību transporta nozarē, lai izprastu esošos nosacījumus, galvenos šķēršļus un izaicinājumus ilgtspējīgai mobilitātei Eiropā. Informācija tika iegūta daļēji strukturētās intervijās, izmantojot telekonferences. Intervēšana notika laika posmā no 2013. gada janvāra līdz tā paša gada jūnijam. Intervijās iekļauto jautājumu loks tika izvēlēts, lai:

- iegūtu informāciju par organizāciju un intervējamo personu;
- novērtētu galvenos informācijas apmaiņas tīklus;
- saņemtu novērtējumu par ES līmeņa izpēti transporta sektorā;
- noteiktu galvenos šķēršļus;
- noteiktu iespējas atjaunojamās enerģijas izmantošanas jomā Eiropas ceļu transporta sektorā;
- iegūtu informāciju par labās prakses piemēriem atjaunojamās enerģijas izmantošanā Eiropas ceļu transportā.

Kopumā intervētie eksperti ir vienprātīgi, ka līdz šim Eiropas līmenī ir veikts daudz pētījumu alternatīvo degvielu jomā, un tas ir ļāvis spert pirmos soļus tehnoloģiju ieviešanā tirgū. Turpmākā attīstība galvenokārt būs atkarīga no politiskās virzības. Eksperti uzsver, ka ir nepieciešams vienots politiskais ietvars kā signāls investoriem un galalietotājiem. Tas attiecas uz politikas harmonizāciju starp dalībvalstīm un tehnoloģiju standartizāciju.

4. ATTĪSTĪBA NACIONĀLAJĀ LĪMENĪ: CO₂ EMISIJU SAMAZINĀJUMA SCENĀRIJU NOVĒRTĒŠANAS RĪKS

Kā parādīja literatūras apskats un ir uzsvēris Girods u. c. [13], scenāriju analīze liecina, ka transporta sektorā ir iespējams panākt CO₂ emisiju samazinājumu, neierobežojot mobilitāti. Tomēr realitātē ir vērojama pretēja tendence, CO₂ emisijām pieaugot. Šis fakts norāda uz grūto uzdevumu nošķirt ekonomisko izaugsmi no klimata sekām, it īpaši, ja skatāmies uz Eiropas valstīm ar mazāk attīstītu ekonomiku, pie kādām pieder arī Latvija. Šīs izpētes daļas mērķis bija analizēt dažādu CO₂ emisiju samazināšanas politikas scenāriju efektivitāti transporta sektorā.

CO₂ emisiju tendenču un politikas analīze ir balstīta uz jaunu datormodelēšanas modeli, kas izmanto sistēmdinamikas modelēšanas pieeju. Modeļa mērķis ir uzlabot zināšanu bāzi un modelēšanas spējas, lai pamatotu politisko lēmumu pieņemšanu transporta sektorā valsts līmenī.

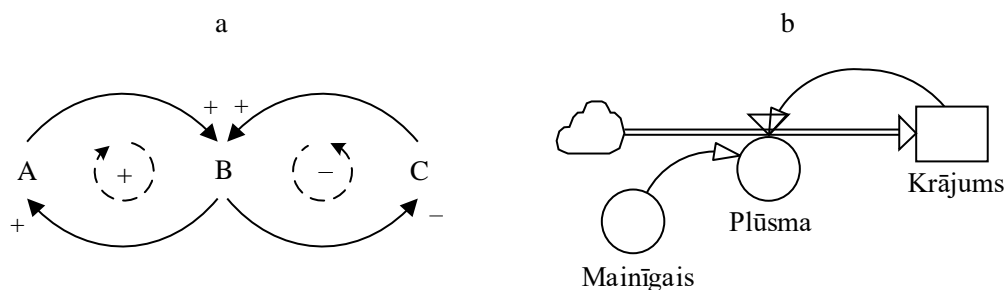
4.1. Sistēmdinamikas modelēšanas pieeja

Sistēmdinamika ir zinātniska pieeja, kas izmanto datormodelēšanu un simulāciju, lai pētītu kompleksu sistēmu pamatā esošo sistēmas struktūru un sistēmas ģenerēto uzvedību laikā [14]. Sistēmdinamikas modeļu veidošana balstās uz šādiem soļiem [15], [16]:

- 1) problēmas identificēšana;
- 2) hipotēzes definēšana;
- 3) modeļa formulēšana;
- 4) modeļa testēšana;
- 5) politikas alternatīvu testēšana.

Sistēmas struktūras analīzes pamatā ir divvirzienu cēloņsakarības jeb atgriezeniskās saites jēdziens (4.1.a att.). Tas pieņem, ka lēmumi balstās uz informāciju par sistēmas stāvokli vai apkārtējo vidi ap lēmuma pieņēmēju [17]. Lēmuma rezultātā notikušās izmaiņas sistēmas stāvoklī rada jaunus nākamo lēmumu pieņemšanas nosacījumus. Katra šāda noslēgta cēlonisko sakarību ķēde veido atgriezenisko saiti, un daudzas šādas kopā saistītas cilpas veido sistēmdinamikas modeļus [17].

Starp sistēmas elementiem pastāvošās cēloņsakarības tiek pārveidotas modelēšanas valodā, izmantojot divu veidu galvenos elementus (4.1.b att.): stāvokļa mainīgos jeb krājumus un plūsmas. Krājumi raksturo materiālu vai informācijas (piemēram, iedzīvotāju skaits, transportlīdzekļu skaits, nobrauktais attālums) uzkrāšanos, bet plūsmas izmanto, lai attēlotu darbības, kas izmaina stāvokli laika gaitā. Plūsmas ietekmē citi elementi – mainīgie un konstantes –, katrs no kuriem parasti atspoguļo kādu reālās sistēmas daļu un kuru raksturo vai nu ar matemātisku vienādojumu, vai laikā nemainīgu vērtību.



4.1. att. Sistēmdinamikas modelēšanas jēdzienu ilustrācija: cēlonisko cilpu diagramma (a); krājumu–plūsmu diagramma (b).

Sistēmu dinamiskās uzvedības pamatā ir akumulācijas princips, saskaņā ar kuru dinamiskā uzvedība veidojas, plūsmām akumulējoties krājumos (vienādojums (4.1.)) [15]:

$$Krājums_t = Krājums_{(t-dt)} + dt \cdot Plūsma_{(t-dt)}, \quad (4.1.)$$

kur

$Krājums_t$ – krājuma līmenis laikā t ;

$Krājums_{(t-dt)}$ – krājuma līmenis laikā $t - dt$;

dt – laika intervāls;

$Plūsma_{(t-dt)}$ – plūsmas ātrums, ar kādu tā ietekmē krājumu laika periodā no $t - dt$ līdz t .

4.2. Problēmas formulēšana

Līdzšinējās attīstības tendences transporta sektorā ļauj pamatoti uzskatīt, ka SEG emisijas no transporta izmantošanas nākotnē turpinās pieaugt. Vēsturiskās attīstības tendences rāda labu korelāciju starp iekšzemes kopprodukta (IKP) pieaugumu un enerģijas patēriņu transporta sektorā. Ekonomiskās izaugsmes un pieaugošā enerģijas patēriņa nošķiršana no SEG emisijām transportā līdz šim ir bijis sarežģīts uzdevums un ir liels izaicinājums nākotnē.

Ņemot vērā vēsturiski novērotās CO₂ emisijas transporta sektorā, ir izvirzīti trīs hipotētiskie nākotnes attīstības scenāriji līdz 2030. gadam:

- 1) A: pesimistiskais scenārijs, kurā pieņemts, ka CO₂ emisijas dinamiski pieaugs, sekojot ekonomiskās izaugsmes tempam;
- 2) B: vidējās attīstības scenārijs, kurā pieņemts, ka laika posmā no 2020. gada līdz 2030. gadam tiks panākta CO₂ emisiju stabilizācija 2020. gada līmenī;
- 3) C: optimistiskais scenārijs, kurā paredzēts, ka CO₂ emisijas 2030. gadā būs par 10 % zemākas nekā 2005. gadā.

4.3. Vispārējs modeļa apraksts

Kā parādīts 4.2. attēlā, sistēmdinamikas modeli veido seši secīgi moduļi: (i) transporta pieprasījuma modelēšana; (ii) transporta veidu sadalījums; (iii) transportlīdzekļu pieprasījuma prognoze; (iv) tehnoloģiju sadalījums; (v) enerģijas pieprasījuma modelēšana un (vi) CO₂ emisiju modelēšana.

Modelis ir izveidots modelēšanas programmā *Powersim Studio 8*. Tas veic CO₂ emisiju prognozi līdz 2030. gadam ar laika soli viens gads. Modelis apskata CO₂ emisijas no autotransporta un dzelzceļa transporta (neietverot iekšzemes jūras un gaisa transportu), jo šie ir galvenie CO₂ emisiju avoti transporta sektorā (2013. gadā ceļu transports veidoja 95,2 % no CO₂ emisijām ES-28 [4]). Modelī ir iekļautas vienīgi tiešās CO₂ emisijas no degvielas izmantošanas transporta sektorā, jo tās veido 98,8 % no transporta sektora SEG emisijām [4].

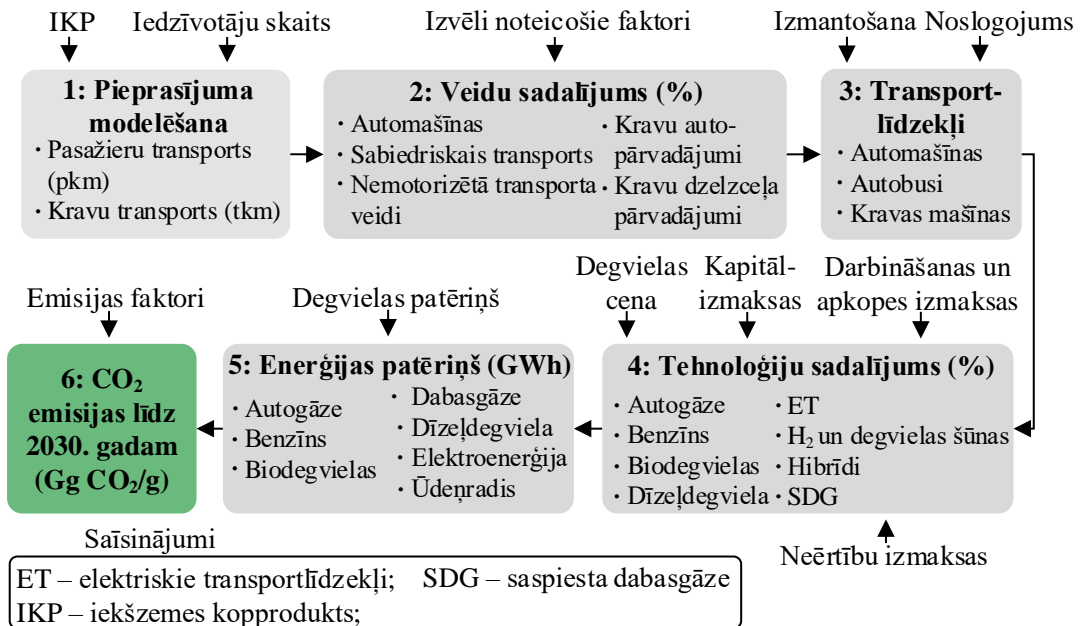
Ikgadējā transporta pieprasījuma prognoze (1. modulis) balstās uz vēsturiski novēroto sakarību starp IKP, transporta aktivitāti un iedzīvotāju skaitu:

$$Pasažieru \ pārvadājumi \ (pkm) = 10 \ 065,0 \cdot LN \ (IKP) - 153 \ 186,0; \quad (4.2.)$$

$$Kravu \ pārvadājumi \ (tkm) = 20 \ 266,1 \cdot LN \ (IKP/iedz.) - 154 \ 709,7. \quad (4.3.)$$

Transporta veidu sadalījums otrajā modulī ir atkarīgs no lietotāja izvēli noteicošo faktoru ietekmes, kas nosaka pāreju no privāto automašīnu izmantošanas uz citiem pasažieru transporta veidiem. Balstoties uz literatūras apskatu, ir pieņemts, ka lietotāja izvēli ietekmē pieci faktori: (i) privātās automašīnas izmantošanas izmaksas [18], [19], (ii) ceļā pavadītais laiks [18], [19], (iii) infrastruktūras pieejamība [20], (iv) sabiedrības attieksme, ko nosaka tādi faktori kā līdzšinējā pieredze [21], apmierinātība ar pakalpojumu [22] un sociālekonomiskais stāvoklis [23], un (v)

vides apziņa [24]. Pāreju no privāto automašīnu izmantošanas uz sabiedrisko transportu vai velobraukšanu ierosina izmaiņas lietotāja izvēli noteicošajos faktoros.



4.2. att. Ceļu transporta sistēmdinamikas modeļa vispārējā struktūra.

4.3. attēlā ir ilustrēts Powersim modelēšanas platformā izveidotais krājuma un plūsmu princips tehnoloģiju sadalījuma modulī. Kā piemērs ir parādīts lēmuma pieņemšanas process starp investīcijām jaunos un lietotos elektroautomobiļos atkarībā no transportlīdzekļa izmaksām.

Lai modelētu tehnoloģiju sadalījumu, balstoties uz izmaksām, ir izmantota loģiskā funkcija [25] (vienādojums (4.4.)):

$$S_i = \frac{\exp^{-\alpha C_i}}{\sum_j \exp^{-\alpha C_j}}, \quad (4.4.)$$

kur

S_i – tehnoloģijas i tirgus daļa;

α – koeficients, kas raksturo tirgus pieprasījuma elastību;

C_i – tehnoloģijas i transportlīdzekļa izmantošanas izmaksas;

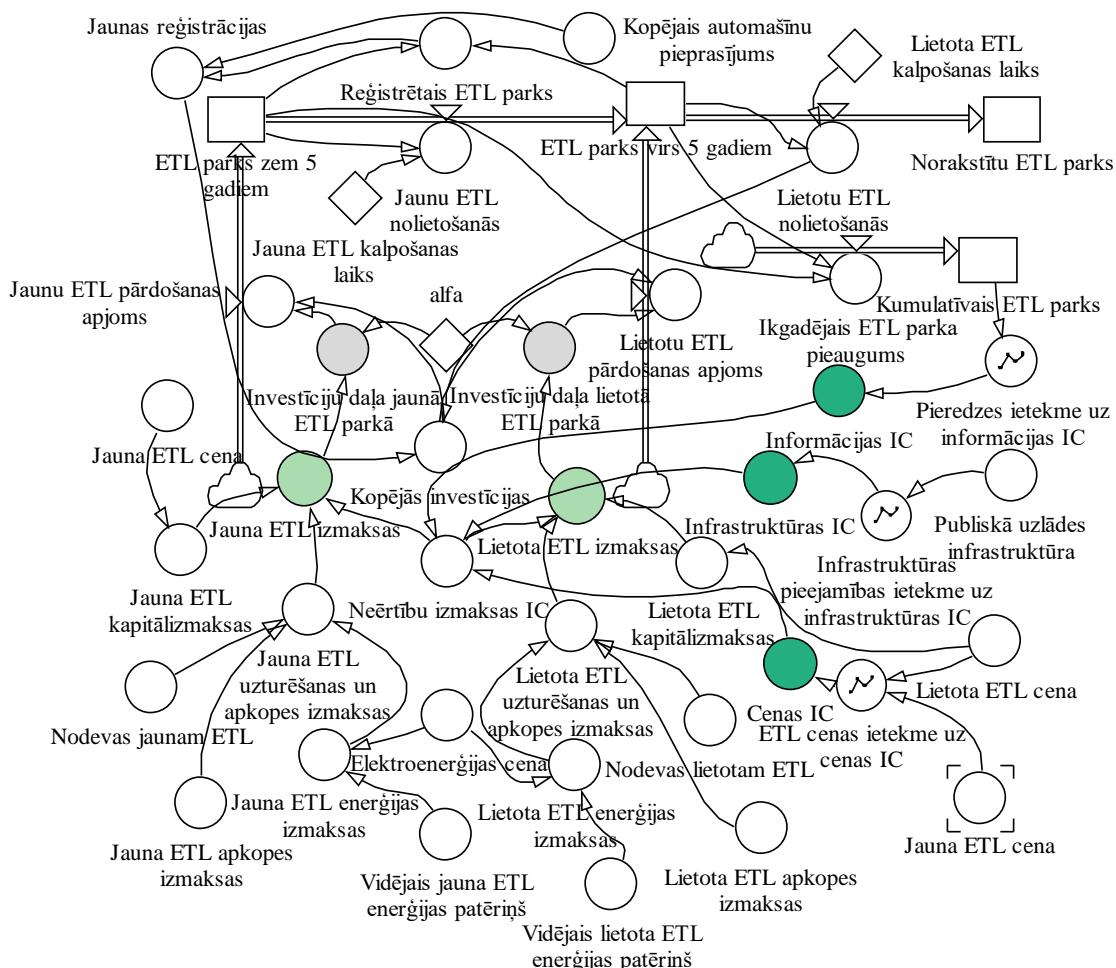
C_j – visu tehnoloģiju transportlīdzekļa izmantošanas summārās izmaksas.

Transportlīdzekļa izmantošanas izmaksas C_i (EUR/km) veido četras komponentes: transportlīdzekļa cena C_{veh} , degvielas izmaksas C_{fuel} , transportlīdzekļa uzturēšanas izmaksas $C_{O\&M}$ un neērtību izmaksas IC (vienādojums (4.5.)):

$$C_i = C_{veh} + C_{fuel} + C_{O\&M} + IC. \quad (4.5.)$$

Neērtību izmaksu komponents attiecas uz alternatīvo degvielu tehnoloģijām, kas izmanto elektroenerģiju, biodegvielas, dabasgāzi un ūdeņradi. Neērtību izmaksas raksturo patērētāju papildu izmaksas, kas tos attur no alternatīvo tehnoloģiju izmantošanas. Modelī ir iekļautas trīs veidu neērtību izmaksas:

- 1) cenas neērtības izmaksas (“Cenas IC”), kas raksturo to, ka alternatīvo degvielu transportlīdzekļiem, salīdzinot ar tradicionālajiem transportlīdzekļiem, ir augstākas sākotnējās izmaksas;
- 2) infrastruktūras neērtības izmaksas (“Infrastruktūras IC”), kas raksturo alternatīvās degvielas transportlīdzekļu uzpildes un uzlādes infrastruktūras nepietiekamību;
- 3) informētības neērtības izmaksas (“Informācijas IC”), kuras raksturo ar alternatīvās degvielas transportlīdzekļu izmantošanu saistīto risku, kas veidojas zema zināšanu līmeņa un pieredzes trūkuma dēļ.



4.3. att. Tehnoloģiju izvēles modulis sistēmdinamikas modelī (elektroautomobiļu tehnoloģijas piemērs) (ETL – elektriskais transportlīdzeklis).

Līdzīgas krājumu–plūsmu diagrammas, kā parādīts 4.3. attēlā, ir izveidotas visām astoņām modelī iekļautajām tehnoloģijām (dīzeļdegviela, benzīns, sašķidrinātā naftas gāze jeb autogāze, biodegvielas, saspīestā dabasgāze, elektroautomobiļi, hibrīdi un ūdeņradis) katrā no transportlīdzekļu segmentiem (vieglās automašīnas, autobusi, kravas automašīnas). Transporta sektora CO₂ emisijas tiek aprēķinātas atbilstoši IPCC metodoloģijai, ko izmanto nacionālo SEG emisiju inventarizācijas ziņojumu sagatavošanā [26]. Kopējās emisijas veido emisijas no autotransporta

apakškategorijām (vieglās pasažieru automašīnas, kravas automašīnas un autobusi) un dzelzceļa transporta.

4.4. Modelēšanas pieņēmumi

Modelī izdarīti šādi būtiskākie pieņēmumi:

- pieprasījums pēc transporta arī turpmāk būs cieši saistīts ar IKP attīstību līdzīgi, kā tas bijis vēsturiski. IKP pieaugums pieņemts 3,1 %/gadā laika posmā no 2015. gada līdz 2018. gadam un 1,9 %/gadā laika posmā no 2019. gada līdz 2030. gadam atbilstoši prognozētajam [27];
- demogrāfiskās attīstības tendences saglabāsies negatīvas; ikgadējais iedzīvotāju skaita samazinājums pieņemts 1,2 % atbilstoši vēsturiski novērotajai tendencei;
- degvielas un enerģijas cenas pieaugs tempā, kas līdzīgs vēsturiski novērotajam jeb vidēji gadā par 6,6 % dīzeļdegvielas, 8,0 % benzīna, 5,2 % autogāzes un 8,7 % elektroenerģijas gadījumā. Citu energoresursu (šobrīd Latvijā netiek izmantoti transportā) cenu pieauguma ātrums pieņemts: 12,5 % dabasgāzei (atbilst novērotajam ikgadējam vidējam cenas pieaugumam) un 5,0 % ūdeņradim;
- alternatīvās degvielas tehnoloģiju izmaksas nākotnē samazināsies, pieaugot globālajam šo transportlīdzekļu tirgus lielumam, kā tas prognozēts avotā [28];
- jaunu vieglo automašīnu degvielas efektivitātes un CO₂ emisiju rādītājs samazināsies atbilstoši Eiropas Savienības prasībām [29].

4.5. Scenāriju izstrāde

Analīzē iekļautie politikas instrumenti ir iedalīti piecās politikas instrumentu kategorijās:

- 1) atbalsta pasākumi, lai veicinātu pāreju no privātajām automašīnām uz sabiedrisko transportu (scenāriji PTS1, PTS2, PTS3, PTS4);
- 2) atbalsta pasākumi alternatīvās degvielas transportlīdzekļu izmantošanas veicināšanai (scenāriji AFV1, AFV2, AFV3);
- 3) transportlīdzekļu efektivitātes uzlabošana un atbalsts plašākai biodegvielu izmantošanai (scenāriji B7, B10, *FuelEff*, *NewVeh*, *Electro*);
- 4) pāreja uz energoefektīvākiem transporta veidiem pasažieru un kravu pārvadājumos (scenāriji MS-P, MS-G, *MS-Cycle*);
- 5) kombinētās politikas scenārijs.

Scenāriju apraksts ar atbilstošajiem pieņēmumiem ir redzams 4.1. tabulā. Visu politikas instrumentu ieviešanas laiks ir pieņemts 2016. gads, ja nav norādīts citādi.

4.1. tabula

Politikas scenāriju apraksts

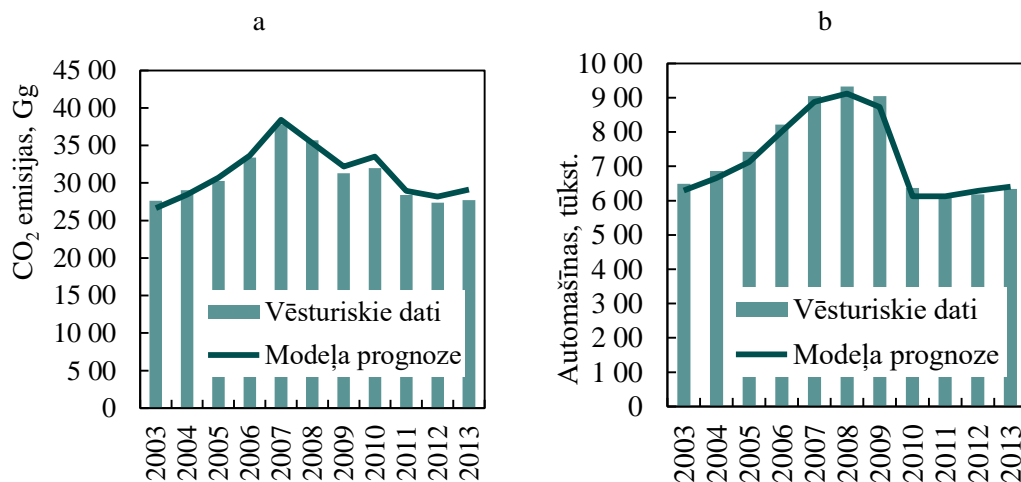
Scenārijs	Politikas pasākumi un rezultāti
PTS1	Ar sabiedrisko transportu ceļā pavadītā laika pakāpenisks samazinājums līdz 2030. gadam (-35,0 %)
PTS2	Divkārtēja privāto automašīnu izmantošanas izmaksu palielināšanās, salīdzinot ar sabiedriskā transporta izmantošanu
PTS3	Informatīvi pasākumi sabiedriskā transporta popularitātes paaugstināšanai sabiedrībā
PTS4	Informatīvi pasākumi vides apziņas veidošanai sabiedrībā saistībā ar transporta izmantošanu
AFV1	Alternatīvās degvielas uzpildes un uzlādes infrastruktūras izveide (45 stacijas/gadā)
AFV2	Subsīdija 40 % apmērā alternatīvo degvielu transportlīdzekļu iegādei laikā no 2016. gada līdz 2021. gadam

Scenārijs	Politikas pasākumi un rezultāti
AFV3	Informatīvi pasākumi sabiedrības vispārējā zināšanu līmeņa celšanai par alternatīvās degvielas transportlīdzekļiem
B7	Obligātā biodegvielas piejaukuma palielināšana fosilajai degvielai no esošajiem 5 % līdz 7 %
B10	Obligātā biodegvielas piejaukuma palielināšana fosilajai degvielai no esošajiem 5 % līdz 10 %
FuelEff	Lietoto transportlīdzekļu (vieglo pasažieru automašīnu, kravas automašīnu un autobusu) degvielas ekonomijas palielināšanās par 1 %/gadā (salīdzinot ar 0,5 %/gadā bāzes scenārijā)
NewVeh	Tradicionālās degvielas automašīnu kalpošanas laika samazināšanās no 25 gadiem (bāzes scenārijs) līdz 10 gadiem
Electro	20 % pāreja no dīzeļdegvielas uz elektrisko transportu kravu pārvadājumos
MS-P	Pāreja no autobusiem uz dzelzceļa transportu pasažieru pārvadājumos (2 %/gadā)
MS-G	Pāreja no autopārvadājumiem uz dzelzceļa transportu kravu pārvadājumos (0,5 %/gadā)
MS-Cycle	Velo infrastruktūras izveide (50 km/gadā); informatīvi pasākumi velobraukšanas veicināšanai; papildu izmaksas privāto automašīnu lietotājiem (+30 %, salīdzinot ar bāzes scenāriju)

4.6. Modeļa validācija

Izveidotais sistēmdinamikas modelis tika validēts, izmantojot struktūras un uzvedības validācijas testus. 4.4. attēlā ir salīdzināta modeļa ģenerētā uzvedība un vēsturiski novērotā tendence.

Kā redzams 4.4. attēlā, modeļa ģenerētā uzvedība pietiekami labi sakrīt ar vēsturiskajiem statistikas datiem. Tādējādi tiek pieņemts, ka modelis ir spējīgs atdarināt reālās sistēmas uzvedības tendences un ģenerēt loģisku uzvedību. Tiek secināts, ka modelis ir izmantojams tālākai politikas pasākumu analīzei, lai uzlabotu sistēmas uzvedību nākotnē.



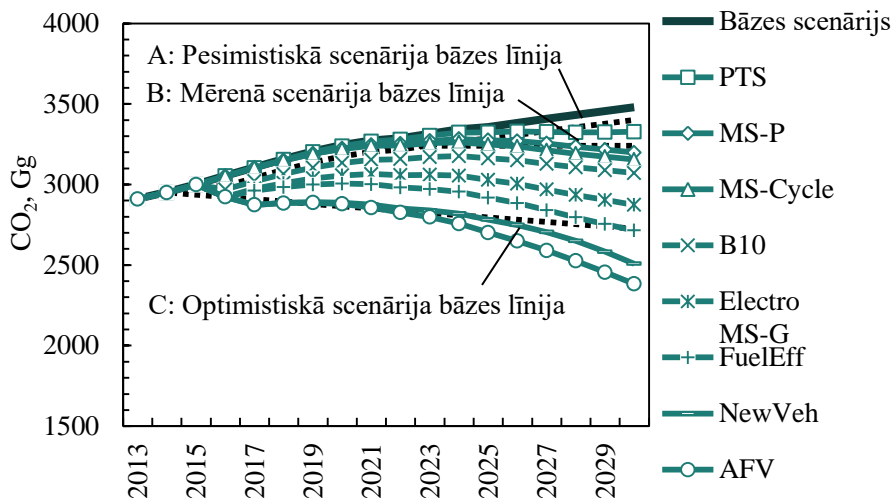
4.4. att. Vēsturiskie un modeļa ģenerētie dati par CO₂ emisijām no ceļu un dzelzceļa transporta (a) un reģistrētā vieglo automašīnu parka Latvijā (b) laika posmā no 2003. gada līdz 2013. gadam.

4.7. Rezultāti

Bāzes scenārijā prognozētais emisiju apjoms ir 3 480 GgCO₂ 2030. gadā, kas ir 25,5 % pieaugums, salīdzinot ar 2013. gadu [30]. Bāzes scenārijā automašīnas saglabā dominējošo lomu kā vislielākais CO₂ emisiju avots. Automašīnu degvielas struktūrā turpina dominēt trīs fosilās

degvielas veidi: benzīns (ar tendenci samazināties), dīzeļdegviela (ar tendenci palielināties) un autogāze (ar tendenci palielināties). Tikmēr alternatīvo degvielas transportlīdzekļu skaitam ir tendence palielināties, tomēr to īpatsvars kopējā transportlīdzekļu skaitā saglabājas neliels.

4.5. attēlā ir parādīta kombinētās politikas scenārija ietekme uz CO₂ emisiju samazinājumu. Attēlā ir dots kumulatīvais CO₂ emisiju samazinājums politikas instrumentu ietekmē. Rezultāti rāda, ka CO₂ emisijas ceļu transportā Latvijā potenciāli var sekot katram no trīs izvirzītajiem hipotētiskajiem attīstības scenārijiem (pesimistiskais, vidējās attīstības un optimistiskais).



4.5. att. Kombinētās politikas rezultāti (attēlots politikas instrumentu ieviešanas kumulatīvais efekts).

Kā rāda rezultāti, pateicoties pārejai no privātajām automašīnām uz sabiedrisko transportu, ir iespējams panākt 4,4 % CO₂ emisiju samazinājumu, salīdzinot ar bāzes scenāriju. Lai panāktu šādu emisiju samazinājumu, sabiedriskā transporta izmantošanas pieaugumam jābūt salīdzinoši lielam – no 21,0 % šobrīd līdz 53,2 % 2030. gadā. Šīs pārejas pamatā ir tehnisku, ekonomisku un informatīvu iniciatīvu kombinācija. Ja pāreju no privātajām automašīnām uz sabiedrisko transportu papildina ar ikgadēju pāreju no sabiedriskā transporta autobusiem uz vilcienu satiksmi 2 %/gadā apmērā (MS-P scenārijs), tad CO₂ emisiju samazinājums sasniedz 8,1 % 2030. gadā, salīdzinot ar bāzes scenāriju. Papildus emisiju samazinājumu var panākt ar pāreju no privātajām automašīnām uz nemotorizētiem transporta veidiem. 4,5 % pāreja dod papildus 1,3 % CO₂ emisiju ietaupījumu, salīdzinot ar iepriekšējo scenāriju.

Lai panāktu, ka CO₂ emisijas saglabājas esošajā līmenī 2030. gadā vai samazinās, bez iepriekš aprakstītajiem politikas instrumentiem ir jāīsteno iniciatīvas, kas uzlabo transportlīdzekļu parka efektivitāti. Degvielas patēriņa efektivitātes uzlabojumi virs vidējā pasažieru un kravu autopārvadājumos kombinācijā ar pāreju no ceļu uz dzelzceļa transportu kravu pārvadājumos (ar dzelzceļa transporta elektrifikāciju, scenārijs *Electro* MS-G) dod 22,0 % CO₂ emisiju samazinājumu, salīdzinot ar bāzes scenāriju. Ieviešot politiku, kas panāk vidējā automašīnu vecuma samazināšanos (piemēram, vecu transportlīdzekļu norakstīšanas shēma) un palielina alternatīvo degvielu transportlīdzekļu tirgus daļu, ir iespējams panākt vēl lielāku emisiju samazinājumu. Kombinējot visus piedāvātos politikas instrumentus, CO₂ emisiju samazinājums 2030. gadā sasniedz 31,5 %, salīdzinot ar bāzes scenāriju. Tas ļauj samazināt CO₂ emisijas par vairāk nekā 10 %, salīdzinot ar 2005. gada līmeni.

5. PAŠVALDĪBAS LĪMĒŅA ANALĪZE

Apmēram 40 % no ES-28 iedzīvotājiem dzīvo blīvi apdzīvotās teritorijās [31]. Salvija u. c. [32] norādījuši, ka “pilsētas ir centrālais elements, lai sasniegtu ambiciozos mērķus un sekmētu pāreju uz ilgtspējīgu izaugsmi ar resursu efektīvu, zema oglekļa ekonomiku”. Turklāt decentralizētai energoplānošanai un politikas veidošanai ir vairāki ieguvumi [33], [34]:

- tā ļauj labāk piemēroties vietējiem apstākļiem;
- ir nodrošināta veicamīgāka sadarbība starp vietējo pašvaldību un iedzīvotājiem;
- esot vietējo enerģētikas uzņēmumu īpašniekiem vai namu apsaimniekotājiem (vai esot īpašuma daļu īpašniekiem), vietējās pašvaldības var ietekmēt gan enerģijas piedāvājumu, gan pieprasījumu.

Šī promocijas darba izpētes daļa apskata saikni starp zema oglekļa transporta pārejas politikas plānošanu nacionālajā līmenī un vietējā jeb pašvaldības līmenī. Pētījums sastāv no divu gadījumu izpētes. Pirmajā gadījumā ir novērtēts teorētiskais tehniski ekonomiskais biometāna ražošanas un izmantošanas potenciāls vidēja lieluma Latvijas pilsētas autoparkā. Otrajā gadījumā ir analizēta pirmā pieredze elektriskās uzlādes transportlīdzekļu izmantošanā Latvijā, balstoties uz aptauju.

5.1. Pirmā piemēripēte: biometāna izmantošana pilsētas transportā

Šīs izpētes mērķis bija veikt tehniski ekonomisko izvērtējumu biometāna ražošanai un izmantošanai pilsētā. Pētījums ietver tā sauktās “no atkritumiem līdz biometānam” koncepcijas lietojumu. “No atkritumiem līdz biometānam” jēdziens raksturo biogāzes ražošanu no organiskajiem atkritumiem, tās kvalitātes uzlabošanu un tālāku izmantošanu enerģētikā, transportā vai ievadīšanu dabasgāzes tīklā [35]. Atkritumu apsaimniekošanas un transporta sistēmu integrēšana Latvijas apstākļos ir demonstrēta, izmantojot Valmieras piemēru. Valmiera ir viena no Latvijas deviņām republikas pilsētām, kas nodrošina lielu potenciālu lietotās metodikas pārnesei uz citām pilsētām ne vien Latvijā, bet arī citās, īpaši Austrumeiropas, valstīs.

Piedāvātās “no atkritumiem līdz biometānam” koncepcijas izpētei pilsētas energosistēmas ietvaros tika izstrādāta metodika, kas sastāv no trīs pamata soļiem, kā parādīts 5.1. attēlā:

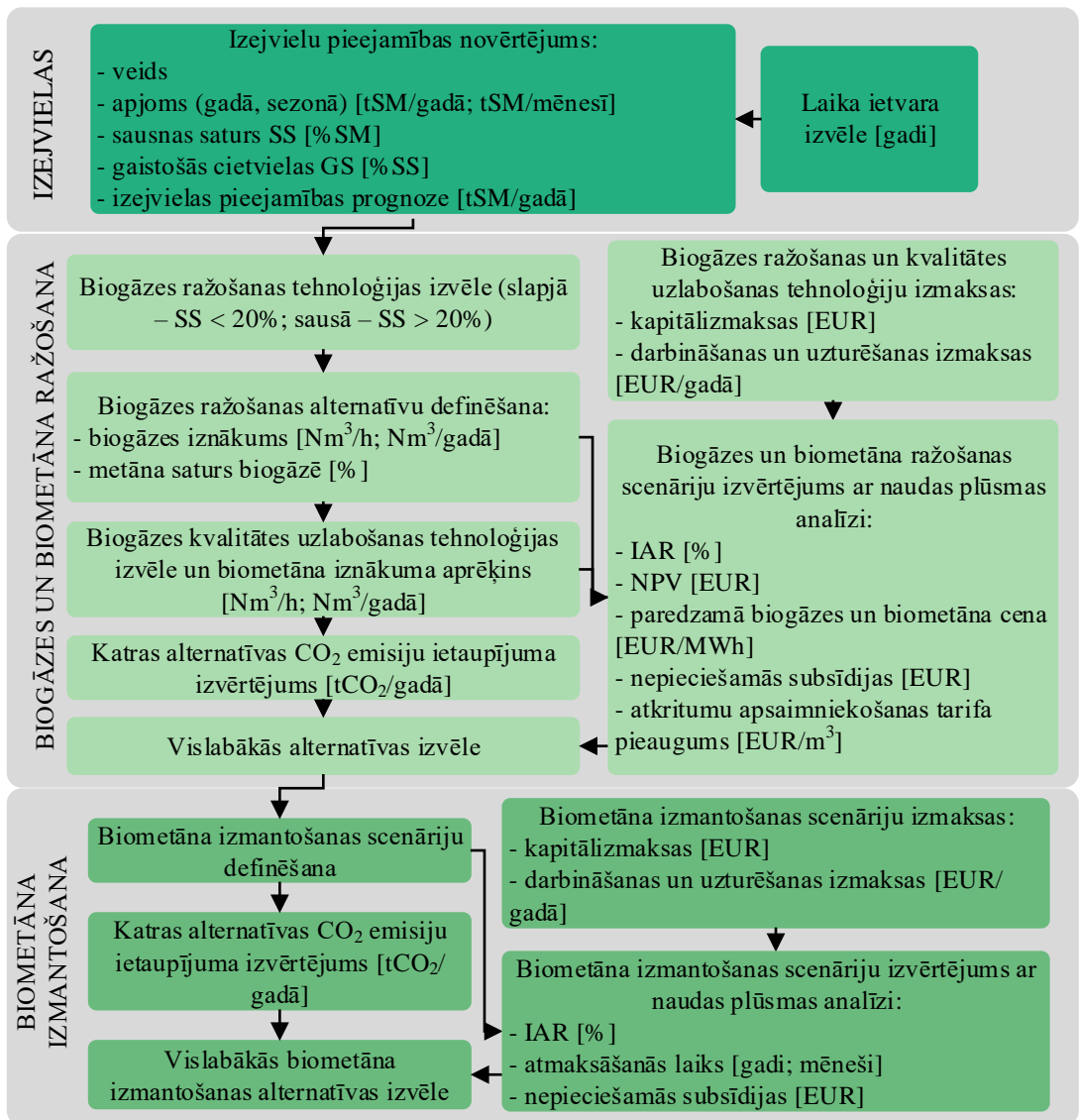
- 1) izejvielu pieejamības novērtējums biogāzes ražošanai;
- 2) biogāzes un biometāna ražošanas tehniski ekonomiskais izvērtējums;
- 3) biometāna izmantošanas alternatīvu izvērtējums.

Šobrīd pilsētā radītie sadzīves atkritumi (tostarp organiskie atkritumi) nonāk Ziemeļvidzemes reģiona sadzīves atkritumu apsaimniekošanas poligonā “Daibe”. Atkritumu poligonā tiek savākta poligona gāze, ko tālāk izmanto elektroenerģijas ražošanai koģenerācijas režīmā. Latvijas normatīvie akti šobrīd neparedz atbalsta pasākumus biometāna ražošanai. Turklāt, tā kā dabasgāzes tirgus līdz 2017. gadam ir monopolizēts, jaunu piegādātāju ienākšana tirgū ir ierobežota. Ņemot vērā pastāvošos ierobežojumus, tika izvirzītas un analizētas četras iespējamās alternatīvas biogāzes un biometāna ražošanai:

- pirmā alternatīva: sausā fermentācija + koģenerācija;
- otrā alternatīva: sausā fermentācija + koģenerācija līdz 2020. gadam + biometāna ražošana, sākot no 2020. gada;
- trešā alternatīva: slapjā fermentācija + koģenerācija;
- ceturtnā alternatīva: slapjā fermentācija + koģenerācija līdz 2020. gadam + biometāna ražošana, sākot no 2020. gada.

Pirmajā un trešajā alternatīvā pieņemts, ka esošā poligona gāzes savākšana un elektroenerģijas ražošana koģenerācijā tiks papildināta ar jaunu anaerobās fermentācijas reaktoru bioloģisko sadzīves atkritumu pārstrādei. Pirmajā scenārijā anaerobās fermentācijas reaktorā

izmantota sausās fermentācijas tehnoloģija, bet trešajā alternatīvā – slapjās fermentācijas tehnoloģija. Otrajā un trešajā alternatīvā ir pieņemts, ka abi iepriekš aprakstītie scenāriji tiek papildināti ar biogāzes kvalitātes uzlabošanas iekārtu, kas izmanto spiediena maiņas adsorbcijas tehnoloģiju. Šajos scenārijos līdz 2020. gadam tiek darbināta koģenerācijas iekārta, kuru vēlāk aizstāj biogāzes kvalitātes uzlabošanas iekārta.



5.1. att. “No atkritumiem līdz biometānam” koncepcijas metodoloģiskā pieeja.

Biometāna izmantošanai pilsētas transportā ir apskatīti divi alternatīvi scenāriji, kuriem veikts tehniski ekonomiskais izvērtējums. Pirmajā gadījumā ir piedāvāts biometānu izmantot atkritumu savākšanas transportlīdzekļos. Otrajā gadījumā ir piedāvāts biometānu izmantot Valmieras pilsētas sabiedriskā transporta autobusus. Bāzes scenārijā, kas raksturo esošo situāciju, abos autoparkos tiek izmantota dīzeļdegviela.

Izpētes rezultātā tika konstatēts, ka no pilsētā radītajiem organiskajiem sadzīves atkritumiem gadā ir iespējams saražot apmēram 1,1–1,5 miljonus Nm³ biogāzes un 608–862 tūkstošus Nm³ biometāna atkarībā no izmantotā biogāzes ražošanas tehnoloģiskā risinājuma. Lai biometāna ražošanas projekta naudas plūsma būtu pozitīva, ienākumiem no biometāna pārdošanas jābūt vismaz 0,35 EUR/Nm³, ražojot biogāzi sausajā fermentācijā, un 0,74 EUR/Nm³, ražojot biogāzi slapjajā fermentācijā. Saražotā biometāna apjoms ir pietiekams, lai nodrošinātu ar degvielu autoparku līdz 25 transportlīdzekļiem.

5.1. tabulā ir dots alternatīvu salīdzinājums maksimālā transportlīdzekļu skaita scenārijā, kurā ņemta vērā biometāna pieejamība mērķa reģionā. Ņemot vērā abu autoparku nobraukuma un degvielas patēriņa rādītāju, saražotā biometāna apjoms ir pietiekams, lai nodrošinātu degvielas maiņu 21 transportlīdzeklim scenārijā, kad biogāze tiek ražota ar sausās anaerobās fermentācijas tehnoloģiju, un 24 atkritumu savākšanas automašīnām vai 25 autobusiem scenārijā, kad biogāze tiek ražota ar slapjās anaerobās fermentācijas tehnoloģiju. Kapitālizmaksu aprēķinā ir ņemtas vērā transportlīdzekļu pārbūves un biometāna uzpildes stacijas izbūves izmaksas. Rezultāti rāda, ka iekšējās atdeves rādītājs (IAR) ir pozitīvs scenārijos A1, kur izmantota sausās fermentācijas tehnoloģija, ko var skaidrot ar minimālās biometāna cenas salīdzinoši zemo likmi. Savukārt scenārijos A2, kur izmantota ar slapjā fermentācija, IAR ir negatīvs. Lai panāktu ekonomiski pieņemamu IAR (7 %), projektam ir nepieciešams ārējs atbalsts subsīdijas formā. Piemēram, 20–40 % subsīdija transportlīdzekļu pārveidei vai 10–20 % subsīdija uzpildes stacijas izbūvei.

5.1. tabula

Biometāna izmantošanas scenāriju salīdzinājums maksimālā transportlīdzekļu skaita gadījumā

	Alternatīva			
	A1-AA	A1-AB	A2-AA	A2-AB
Transportlīdzekļu skaits	21	21	24	25
Biometāna cena, EUR/Nm ³	0,35	0,35	0,74	0,74
Kapitālizmaksas, 1000 EUR	1230	1083	1320	1175
Degvielas izmaksu ietaupījums, 1000 EUR/gadā	509,4	491,2	258,1	259,3
CO ₂ samazinājums, tCO ₂ /gadā	1131	1091	1293	1299
Iekšējās atdeves rādītājs (IAR), %	66	77	Negatīvs	Negatīvs
Nepieciešamā subsīdija (IAR = 7 %), EUR	Nav nepieciešama	Nav nepieciešama	40 % transportlīdzekļa sadārdzinājumam + 20 % uzpildes stacijai	20 % transportlīdzekļa sadārdzinājumam + 10 % uzpildes stacijai

A1 – mehāniskā atkritumu apstrāde un sekojoša biogāzes ražošana ar sausās fermentācijas tehnoloģiju;

A2 – dalīta atkritumu vākšana un sekojoša biogāzes ražošana slapjajā fermentācijā;

AA – biometāna izmantošana atkritumu savākšanas automašīnās;

A2 – biometāna izmantošana sabiedriskā transporta autobusu parkā.

5.2. Otrā piemēripēte: elektromobilitāte Latvijas pašvaldībās

Publiskās struktūras ir atzītas par nozīmīgu virzītājspēku, lai panāktu enerģijas galapatēriņa efektivitāti [36]. Elektromobilitātes ieviešana publiskajā sektorā ir viens no piemēriem, kā sekmēt alternatīvo degvielu plašāku ienākšanu tirgū.

Šīs izpētes daļas mērķis bija novērtēt pirmos soļus elektromobilitātes ieviešanā Latvijas pašvaldībās. 2014. gadā Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija izsludināja konkursu, kura kopējais finansējums elektriskās uzlādes transportlīdzekļu iegādei un uzlādes staciju izbūvei bija 5,0 milj. EUR. Finansējuma saņēmēji bija tiešās un pastarpinātās pārvaldes iestādes, atvasinātas publiskas personas un komersanti. Turpmāk aprakstītā izpēte balstās uz to pašvaldību pieredzes apkopojumu, kuras piedalījās valsts atbalsta programmā. Informācijas iegūšanai tika izmantota aptaujas metode. Aptaujas anketas mērķis bija noskaidrot lietotāju viedokļus un attieksmi pret elektriskajām automašīnām.

Aptaujas anketa sastāvēja no 21 jautājuma, kas grupēti trīs tēmās. Pirmā jautājumu grupa attiecās uz pašvaldību autoparka tehniskajiem datiem. Otrās jautājumu grupas mērķis bija noskaidrot elektroautomobiļu izmantošanas paradumus un lietotāju attieksmi pret tiem. Trešā jautājumu grupa tika izstrādāta, lai noskaidrotu pašvaldību motivāciju dalībai valsts atbalsta programmā un novērtētu pastāvošos šķēršļus elektroautomobiļu plašākai izmantošanai. Aptaujas anketa sastāvēja no atvērtiem jautājumiem, jautājumiem ar vairākām atbildes iespējām un jautājumiem ar Likerta skalu.

Lūgums aizpildīt aptaujas anketu tika elektroniski izsūtīts 55 sabiedriskajām iestādēm (pašvaldību administrācijām, universitātēm, sabiedrisko pakalpojumu sniedzējiem u. c.), kas saņēma valsts atbalstu elektroautomobiļu iegādei programmas ietvaros. Kopā tika saņemtas 24 aizpildītas aptaujas anketas.

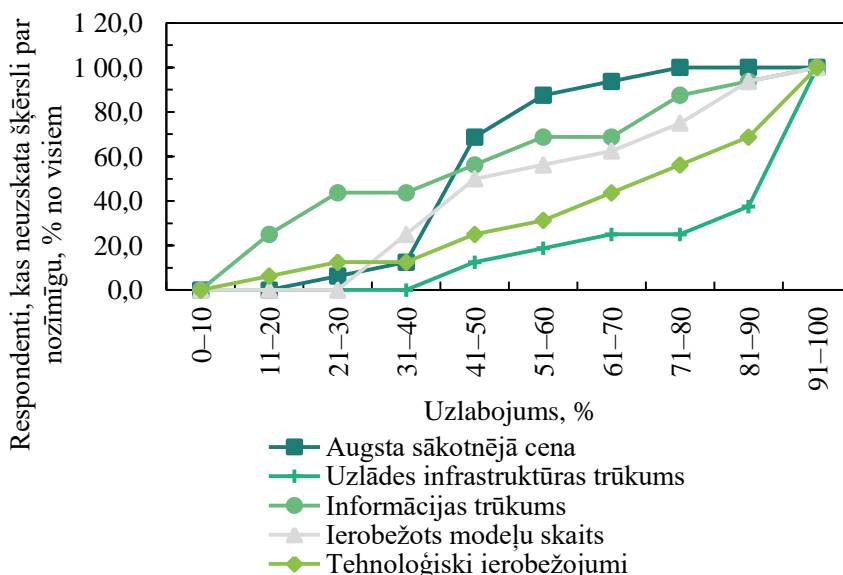
Turpmāk apkopoti galvenie secinājumi.

- Elektroautomobiļa nobraukuma ierobežojums ir vairāk emocionāla nekā praktiska rakstura šķērslis. Visu respondentu norādītais vidējais brauciena garums ir mazāks par 90 km, un lielākā daļa respondentu (36,0 %) mēro attālumu, kas mazāks par 20 km. Ņemot vērā, ka elektroautomobiļa baterijas kapacitāte ļauj uzkrāt enerģiju apmēram 120 km braucienam, elektroautomobilis ir piemērots risinājums izmantošanai pašvaldības autoparkā. Tajā pašā laikā 91,2 % respondentu atzīmē, ka braukšana ar elektroautomobili prasa lielāku brauciena plānošanu tieši vienas uzlādes ietvaros ierobežotā nobraukuma dēļ. Tāpat 65,3 % piekrīt, ka elektroautomobiļa uzlādei nepieciešamais laiks ietekmē ikdienas gaitu plānošanu.
- Pašvaldības “zaļā” tēla veidošana un iespēja samazināt izmaksas par degvielu ir divi visaugstāk novērtētie motivējošie faktori elektroautomobiļa iegādei. 58,3 % respondentu novērtējuši ieguldījumu pašvaldības “zaļā” tēla veidošanā kā ļoti būtisku motivējošo faktoru elektroautomobiļa iegādē. Iespēja samazināt degvielas izmaksas, aizstājot tradicionālās degvielas transportlīdzekļi, ir novērtēts kā otrs nozīmīgākais motivējošais faktors (kā ļoti būtisku motivāciju to atzīmējuši 45,8 % respondentu). Citi motivējošie faktori, kuri lielākoties novērtēti kā nozīmīgi, ir iespēja samazināt gaisa piesārņojumu, ieguldījums valsts un pašvaldības klimata un enerģētikas politikas mērķu sasniegšanā, kā arī ieguldījums reģiona attīstībā.
- Nozīmīgākie elektroautomobiļu trūkumi ir uzlādes infrastruktūras trūkums, lielāks laika patēriņš uzlādei, salīdzinot ar tradicionālās automašīnas degvielas uzpildes laiku, un ierobežots nobraukums ar vienu uzlādi. Lūgti novērtēt dažādu šķēršļu nozīmību, kas kavē plašāku elektroautomobiļu izmantošanu, visi respondenti atzīmēja automašīnas cenu, tehniskos ierobežojumus un vāji attīstītu uzlādes infrastruktūru kā ļoti nozīmīgus vai nozīmīgus aspektus. Šo šķēršļu nozīmība novērtēta: 34,0 % – uzlādes infrastruktūras trūkums; 25,0 % – augstāka cena nekā tradicionālajām automašīnām; 22,0 % – tehniski ierobežojumi (piemēram, uzlādes laiks); 14,0 % – ierobežota modeļu pieejamība un 5,0 % – informācijas trūkums.
- Finansiāls valsts atbalsts elektroautomobiļu iegādei ir izšķirošs, lai palielinātu elektroautomobiļu tirgus daļu. 91,7 % aptaujāto novērtējuši valsts atbalsta esamību kā

ļoti svarīgu. Kā svarīgu lielākā daļa respondentu atzīst arī cita veida ekonomisko motivāciju, piemēram, nodokļu politiku. Fosilās degvielas cenas kāpums būtu nozīmīgs signāls 75,0 % respondentu. Līdzīgi arī skaidra valsts politika elektromobilitātes jomā tiek atzīta par būtisku (nozīmīgi 87,5 % aptaujāto). 66,6 % respondentu novērtēja valsts līmeņa informācijas kampaņas kā svarīgu politikas instrumentu, kamēr 25,0 % aptaujāto norādīja, ka šāda pasākuma nozīmība ir neliela.

Bez minētajiem secinājumiem aptaujas rezultāti dod kvantitatīvu novērtējumu par nepieciešamo uzlabojumu pastāvošo šķēršļu pārvarēšanai. Respondenti tika lūgti novērtēt, cik nozīmīgs uzlabojums identificētajos pastāvošajos šķēršļos ir nepieciešams, lai viņi pārstatu to uzskatīt par elektromobilitāti ierobežojošu šķērslī. Šāds novērtējums tiek veikts, lai papildinātu ceturtajā nodaļā aprakstītā sistēmdinamikas modeļa pieņēmumus par neērtību izmaksu novērtējumu. Aptaujas rezultāti ir ilustrēti 5.2. attēlā.

Aptaujāto atbildes liecina, ka identificēto šķēršļu pārvarēšanai ir nepieciešami dažāda līmeņa uzlabojumi. Attiecībā uz elektroautomobiļu cenu respondenti atzīst, ka tai būtu jābūt par vismaz 40 % zemākai nekā šobrīd, lai lielākā daļa aptaujāto cenu vairs neuzskatītu par nozīmīgu šķērslī, t. i., ja elektriskās automašīnas cena būtu par 41–50 % zemāka nekā šobrīd, 70 % respondentu to neuzskatītu par šķērslī elektroautomobiļu plašākai izmantošanai. Cenas šķērslis pilnībā zaudē savu lomu, ja cenas samazinājums ir 71–80 %. Attiecībā uz modeļu pieejamību minimālais nepieciešamais uzlabojums ir 31–40 %, salīdzinot ar esošo situāciju. Pieaugot modeļu skaitam, šis šķērslis arī pakāpeniski samazinās. Līdzīga lineāra tendence ir vērojama arī attiecībā uz ātrās uzlādes infrastruktūras (risina tehnoloģisko šķērslī saistībā ar laika patēriņu uzlādei) un informācijas pieejamību. Pilnīga šo šķēršļu novēršana ir panākama vienīgi “vislabākajā” scenārijā, tomēr pakāpeniski uzlabojumi ir sasniedzami, turpinot palielināt ātrās uzlādes staciju skaitu un informācijas pieejamību. Tikmēr attiecībā uz elektriskās uzlādes infrastruktūras pieejamību var secināt, ka ir nepieciešams ievērojams uzlabojums, salīdzinot ar pašreizējo situāciju, lai pārvarētu infrastruktūras neesamības šķērslī. Aptaujas rezultāti rāda, ka uzlabojums par 41–90 % maina tikai aptuveni 40 % aptaujāto viedokli. Lai uzlādes infrastruktūras pieejamība netiktu uzskatīta par šķērslī elektroautomobiļu izmantošanai, uzlādes stacijām ir jābūt brīvi pieejamām uz galvenajiem ceļiem, stāvvietās u. c. autobraucēju uzturēšanās vietās.



5.2. att. Uzlabojuma ietekme uz lietotāju viedokli par pastāvošajiem šķēršļiem elektroautomobiļu plašākai izmantošanai pašvaldībās.

6. MĒRĶA NOZARES ANALĪZE

Šajā nodaļā aprakstīts dinamisks simulācijas modelis biodīzeļdegvielas tirgus analīzei Latvijā un analizēta dažādu politikas atbalsta instrumentu ietekme uz biodegvielu īpatsvara palielināšanu transporta degvielas patēriņā.

6.1. Biodegvielu tirgus Latvijā

Latvija pievienojās Eiropas Savienībai 2004. gadā. Līdz ar šo soli Latvijai kļuva saistoša vienotā Eiropas Savienības enerģētikas politika, tostarp attiecībā uz biodegvielu izmantošanu transportā [37]. Lai sekmētu Direktīvā 2003/30/EK noteikto mērķu sasniegšanu, valdība īstenoja nacionālo biodegvielu atbalsta politiku. Tiešie atbalsta pasākumi ietvēra subsīdijas maksājumus biodīzeļdegvielas un bioetanola ražotājiem. Papildus tam, sākot ar 2009. gadu, tika ieviests 5 % obligātais biodegvielas piejaukums fosilajai degvielai un piešķirti akcīzes nodokļa atvieglojumi.

Atbalsta programmas darbības laikā biodegvielu ražošanas jauda Latvijā ievērojami palielinājās – no 2,3 tūkstošiem tonnu 2005. gadā līdz 175,6 tūkstošiem tonnu 2010. gadā [38]. Tomēr, atbalsta programmai beidzoties 2010. gadā, izaugsme apstājās. Esošās biodegvielu ražotnes ir vai nu cietušas finansiālus zaudējumus, vai pārtraukušas ražošanu. Šī situācija rada apdraudējumu, domājot par 10 % atjaunojamās transporta enerģijas mērķa sasniegšanu 2020. gadā.

6.2. Metodoloģija

Lai analizētu dažādu politikas atbalsta instrumentu ietekmi uz biodīzeļdegvielas īpatsvara palielināšanu transporta degvielas galapatēriņā, tika izveidots jauns matemātisks simulācijas modelis. Modelis izveidots *Powersim* modelēšanas programmā, izmantojot sistēmdinamikas modelēšanas pieeju. Modelis ir veidots tā, lai pētītu biodegvielu padāvājuma un pieprasījuma tirgus mijiedarbību.

6.1. attēlā ir parādīti biodīzeļdegvielas nozari Latvijā ietekmējošie tirgus sektori un sakarības starp tiem. Kā redzams 6.1. attēlā, biodīzeļdegvielas nozari veido trīs galvenie sektori:

- izejvielu piegādes sektors;
- biodīzeļdegvielas ražošanas sektors;
- biodīzeļdegvielas patēriņa sektors.

Biodīzeļdegvielas pieprasījumu nosaka biodīzeļdegvielas transportlīdzekļu autoparka lielums. Ir ņemti vērā divu veidu biodīzeļdegvielas patērētāji: tradicionālās dīzeļdegvielas transportlīdzekļi, kas biodīzeļdegvielu patērē obligātā piejaukuma veidā, un transportlīdzekļi, kas ir īpaši pielāgoti, lai varētu izmantot degvielas maisījumus ar augstu biodīzeļdegvielas saturu (vienādojums (6.1.)).

$$D_B = Q_B \cdot KM_{av}^B \cdot F_{av}^B + D_{blend}^B, \quad (6.1.)$$

kur

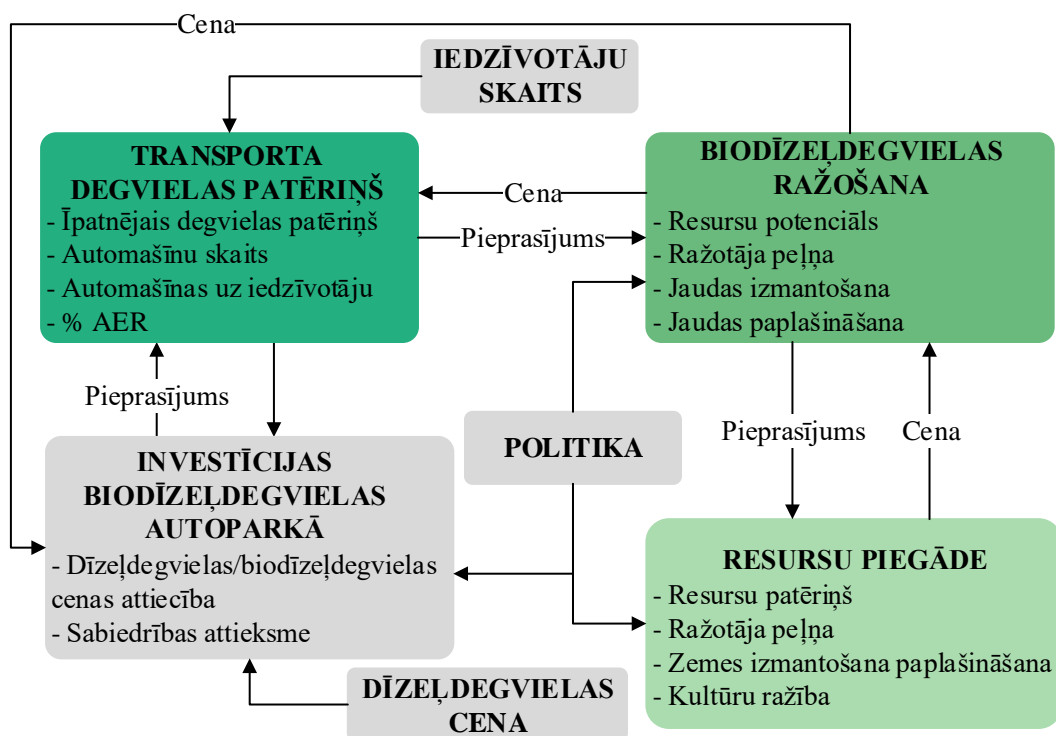
D_B – ikgadējais biodīzeļdegvielas patēriņš, l/gadi;

Q_B – biodīzeļdegvielas transportlīdzekļu autoparks, automašīnu skaits;

KM_{av}^B – vidējais nobraukums, km/gadi;

F_{av}^B – vidējais degvielas patēriņš, l/km;

D_{blend}^B – biodīzeļdegvielas patēriņš obligātā piejaukuma formā, l/gadi.



AER – atjaunojamie energoresursi

6.1. att. Sektoru mijiedarbība modelī.

Biodīzeļdegvielas patēriņš tiešā veidā ietekmē biodīzeļdegvielas ražošanas sektoru. Savukārt biodīzeļdegvielas ražošanas ietekmē pieprasījumu pēc izejvielas (šajā gadījumā – rapša sēklām) (vienādojums (6.2.)):

$$Q_{RS} = S_{RS} \cdot Y_{RS}, \quad (6.2.)$$

kur

Q_{RS} – ikgadējā rapša raža, t;
 S_{RS} – rapša sējumu platība, ha;
 Y_{RS} – rapša ražība, t/ha.

Izejvielas cena ir galvenais komponents, kas ietekmē biodīzeļdegvielas cenu (vienādojums (6.3.)):

$$C_{\text{prod}} = (1 - Subs_{\text{prod}})C_{\text{cap}} + (1 - Subs_{\text{farmers}})C_{\text{feedstock}} + C_{\text{fixed}} + C_{\text{op}} - R, \quad (6.3.)$$

kur

C_{prod} – biodīzeļdegvielas ražošanas izmaksas, EUR/t;
 C_{cap} – aprīkojuma kapitālizmaksas, EUR/t;
 $C_{\text{feedstock}}$ – izejvielas cena, EUR/t;
 C_{fixed} – fiksētās izmaksas, EUR/t;
 C_{op} – darbināšanas izmaksas, EUR/t;
 R – ienākumi no glicerīna pārdošanas, EUR/t;
 $Subs_{\text{prod}}$ – subsīdija biodīzeļdegvielas ražotājiem, %;
 $Subs_{\text{farmers}}$ – subsīdija lauksaimniekiem, %.

Galalietotāja pusē patērētāju uzvedību nosaka biodīzeļdegvielas izmaksu konkurētspēja. Lietotāji izvēlēšies biodīzeļdegvielu, ja tās cena kļūs pievilcīgāka, salīdzinot ar dīzeļdegvielas cenu. Matemātiski šo sakarību apraksta ar loģisko funkciju [25]. Pastāvošie šķēršļi biodegvielas plašākai izmantošanai [39] ir ņemti vērā neērtību izmaksu veidā. Modelī ir izveidots virtuāls biodīzeļdegvielas transportlīdzekļu krājums, kas raksturo potenciālo biodīzeļdegvielas transportlīdzekļu autoparku, ja nepastāvētu neērtību izmaksas. Krājuma vērtību palielina investīciju plūsma, kā tas ir aprakstīts [14]. Savukārt izejošā plūsma raksturo zaudētās investīcijas, kas veidojas biodegvielu iegādes un izmantošanas neērtību dēļ (vienādojums (6.4)).

$$Q_B = +dt(I_T \cdot I_B^S) - dt(Q_B^V \cdot ISD), \quad (6.4.)$$

kur

Q_B^B – biodīzeļdegvielas transportlīdzekļu parks, automašīnu skaits;

I_T – kopējās ikgadējās investīcijas jaunā autoparkā, EUR/gadi;

I_B^S – biodīzeļdegvielas investīciju daļa;

Q_B^V – uz cenu balstītais biodīzeļdegvielas autoparks (virtuālais biodīzeļdegvielas autoparks), automašīnu skaits;

ISD – investīciju samazinājums neērtību izmaksu dēļ, %.

Pieņemts, ka kopējais investīciju samazinājums sastāv no trīs komponentiem:

- 1) investīciju samazinājums (ISD^{price} , %), kas saistīts ar cenas attiecību starp fosilo un biodīzeļdegvielu;
- 2) investīciju samazinājums ($ISD^{availability}$, %), kas saistīts ar degvielas pieejamību;
- 3) investīciju samazinājums (ISD^{modif} , %), kas saistīts ar transportlīdzekļa modifikācijas nepieciešamību, lai varētu izmantot degvielas maisījumu ar augstu biodīzeļdegvielas saturu.

Investīciju samazinājumu (ISD , %) aprēķina, izmantojot vienādojumu (6.5).

$$ISD = E^{price} \cdot ISD^{price} + E^{availability} \cdot ISD^{availability} + E^{modif} \cdot ISD^{modif}, \quad (6.5.)$$

kur

E^{price} – degvielas cenas ietekme uz investīciju samazinājumu, %;

$E^{availability}$ – biodīzeļdegvielas pieejamības ietekme uz investīciju samazinājumu, %;

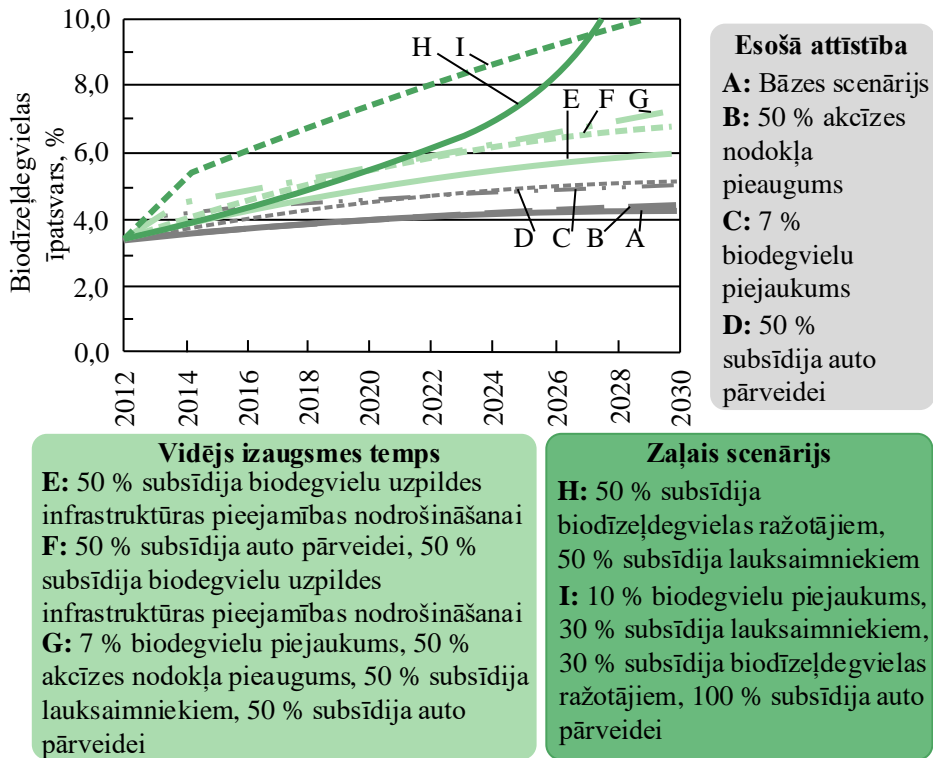
E^{modif} – transportlīdzekļa modifikācijas nepieciešamības ietekme uz investīciju samazinājumu, %.

6.3. Rezultāti

Modelēšanas rezultāti ir redzami 6.2. attēlā. Attēlā parādīts prognozētais biodīzeļdegvielas īpatsvars transporta enerģijas galapatēriņā dažādu politikas instrumentu ietekmē. Bāzes politikas scenārijs (A scenārijs) apraksta esošās politikas ietekmi, kas paredz divu politikas instrumentu kombināciju – 5 % biodīzeļdegvielas piejaukumu kombinācijā ar 0,3 EUR/l akcīzes nodokli fosilajai degvielai. Šo politikas instrumentu ietekmē biodīzeļdegvielas īpatsvars pieaug līdz 4,0 % 2020. gadā un 4,2 % 2030. gadā. Biodīzeļdegvielas īpatsvaru var palielināt, palielinot obligāto biodegvielu piejaukumu no 5 % līdz 7 % (C scenārijs) vai atbalstot galapatērētājus, subsidējot transportlīdzekļa pārveides (nepieciešams, lai izmantotu degvielu ar augstu biodīzeļdegvielas saturu) izmaksas (D scenārijs). Šie politikas instrumentu dod papildus 1,5 % biodīzeļdegvielas īpatsvara pieaugumu 2030. gadā.

Scenārijos E–G parādīti vairāki politikas instrumenti, ar kuru palīdzību var palielināt biodīzeļdegvielas īpatsvaru par 2,5–3,5 %, salīdzinot ar bāzes scenāriju. Vislabākajā scenārijā (G) politikas instrumentu kombinācija dod 7 % biodīzeļdegvielas īpatsvaru 2030. gadā. Modelēšanas rezultāti apliecina, ka biodegvielu pieņemšanas veicināšanai galapatērētāju vidū ir kritiska nozīme. Atbalsts biodegvielu galalietotājiem ar tādiem pasākumiem kā, piemēram, transport-

līdzekļu pārbūves subsidēšana, lai varētu izmantot degvielas maisījumus ar augstu biodīzeļdegvielas saturu, vai uzpildes infrastruktūras izmaksu segšana ļauj sasniegt biodīzeļdegvielas izmantošanas pieaugumu vidējā izaugsmes tempā. Tieši uzpildes infrastruktūras izveides politikas instruments nodrošina vislielāko biodīzeļdegvielas patēriņa pieaugumu mērenās izaugsmes scenārijā. Tas apliecina uzpildes infrastruktūras būtisko lomu alternatīvo degvielu plašākai izmantošanai [40], kas būtu prioritāri jārisina politikas veidotājiem. Kombinācijā ar subsīdiju transportlīdzekļu lietotājiem (F scenārijs) šis politikas instruments nodrošina 5,5 % biodīzeļdegvielas īpatsvaru 2020. gadā un 6,8 % īpatsvaru 2030. gadā. Līdzīgus rezultātus var sasniegt, ieviešot politikas instrumentu kombināciju, kas ir vērsta uz visām biodīzeļdegvielas piegādes ķēdes mērķa grupām. G scenārijā ilustrēts piemērs, kurā kombinēti četri politikas instrumenti: obligātā biodegvielu piejaukuma palielināšana no līdzšinējiem 5 % uz 7 %, par 50 % paaugstināts akcīzes nodoklis fosilajai degvielai, 50 % subsīdija izejvielu piegādātājiem, kas sedz neto maksājumus par hektāru, un 50 % subsīdija transportlīdzekļu īpašniekiem auto pārveidei.



6.2. att. Politikas instrumentu ietekme uz biodīzeļdegvielas īpatsvaru.

Modelēšanas scenāriji rāda, ka ar apskatītajiem politikas instrumentiem nepietiek, lai sasniegtu 10 % biodīzeļdegvielas īpatsvaru transporta enerģijas gala patēriņā. Lai panāktu straujāku biodīzeļdegvielas patēriņu, ir apskatīti divi alternatīvi scenāriji. Pirmajā gadījumā (H scenārijs) ir piedāvāta divu politikas instrumentu kombinācija, kas paredz subsidēt biodīzeļdegvielas ražotājus un izejvielu piegādātājus. Otrajā gadījumā (I scenārijs) tiek ieviesta četru politikas instrumentu kombinācija, kas paredz atbalstu gan biodīzeļdegvielas ražotājiem un lauksaimniekiem, gan degvielas galapatērētājam, kā arī obligātā biodegvielu piejaukuma palielināšanu līdz 10 %. Abu scenāriju rezultātā iespējams panākt nozīmīgu biodīzeļdegvielas pieprasījuma pieaugumu, sasniedzot 10 % īpatsvaru transporta degvielas patēriņā pirms 2030. gada.

SECINĀJUMI

1. Promocijas darba tēma ir pārejas politika uz zema oglekļa transporta sistēmām nākotnē kā daļu no vienotas virzības uz zema oglekļa sabiedrību. Pētījumi šajā jomā parādījuši, ka esošās transporta sistēmas ir grūti mainīt, kas saistīts ar daudzām iesaistītajām pusēm un komplekso mijiedarbību starp tām. Tajā pašā laikā augstā atkarība no fosilās degvielas un negatīvās vides ietekmes prasa ātru rīcību, lai izstrādātu pamatnosacījumus pārejai uz ilgtspējīgāku transporta sistēmu. Šis pētījums papildina esošās zināšanas šajā jomā, piedāvājot trūkstošo ieskatu, kā plānošana atšķirīgos līmeņos var palīdzēt veidot nākotnes transporta sistēmas ar samazinātu negatīvo ietekmi uz vidi, vienlaikus neierobežojot mobilitāti.
2. Ilgtspējīgas transporta pārejas politikas izpēte tika balstīta uz integrētas augšupejošās un lejupejošās analīzes pieeju, saistot četrus dažādus plānošanas līmeņus: starptautisko, nacionālo, vietējo un nozares līmeni. Turpmāk minētas galvenās pētījuma rezultātā gūtās atziņas.
 - **Starptautiskajā līmenī.** Eiropas Komisija ir izvirzījusi stingru nostāju attiecībā uz ilgtspējīgu transporta sistēmu attīstību, tostarp tehnoloģiju progresu, optimālu transporta veidu un infrastruktūras izmantošanu, kā arī transporta lietotāju pārvaldību. Eiropas līmenī tiek pieliktas lielas pūles, lai stiprinātu saikni un sadarbību starp pētniecību un rūpniecību. Tas ļāvis Eiropai kļūt par vienu no vadošajiem reģioniem alternatīvās degvielas transportlīdzekļu jomā. Tomēr septiņu vadošo Eiropas līmeņa organizāciju, kas ir atbildīgas par alternatīvās degvielas transportlīdzekļu izpēti un attīstību, aptauja liecina, ka ir nepieciešams turpmāks progress. Galvenais risināmais jautājums ir saistīts ar Eiropas līmeņa standartizāciju un politikas harmonizāciju, lai izveidotu saskaņotu regulējumu alternatīvās degvielas izmantošanai ceļu transportā. Tas ir svarīgs priekšnoteikums, lai dotu nepieciešamos signālus ieinteresētajām pusēm visos līmeņos: investoriem, pakalpojumu nodrošinātājiem, lietotājiem u. c.
 - **Nacionālajā līmenī.** Pieprasījums pēc transporta pakalpojumiem un enerģijas patēriņš transporta sektorā ir cieši saistīts ar IKP izaugsmi, un var prognozēt, ka transporta sektora emisijas turpinās pieaugt, pat neskatoties uz energoefektivitātes paaugstināšanos autoparkā. Ir maz ticams, ka bez atbilstošiem politikas pasākumiem, kas ir vērsti gan uz infrastruktūras, gan transporta lietotāja uzvedības uzlabojumiem, transporta izmantošanas struktūrā notiks izmaiņas. Valsts līmenī ir dažādi politikas instrumenti, kuru ieviešana var nodalīt IKP izaugsmi un transporta radīto negatīvo ietekmi uz vidi, tostarp pasākumi, kas veicina pāreju no privāto automašīnu izmantošanas uz sabiedrisko transportu un nemotorizētiem transporta veidiem, transporta veida maiņa no autotransporta uz dzelzceļu transportu, autoparka atjaunošana, pāreja uz alternatīvām tehnoloģijām u. c. Scenāriju analīze liecina, ka CO₂ emisiju samazinājums 2030. gadā svārstās no maza līdz apmēram vienai trešdaļai, salīdzinot ar bāzes scenāriju. Šie rezultāti iegūti no jauna oriģināla simulācijas modeļa politikas analīzei nacionālā līmenī. Modelis ir izveidots, izmantojot sistēmdinamikas modelēšanas pieeju, un ir aprobēts, pamatojoties uz Latvijas piemēru. Tas ietver galvenos CO₂ emisiju avotus transporta sektorā un ļauj veikt visaptverošu CO₂ emisiju mazināšanas politiku analīzi līdz 2030. gadam. Modeļa divas būtiskākās priekšrocības:
 - i. modelis ir unikāls savā spējā modelēt daudzu diskreto politikas instrumentu ietekmi, neierobežojot to ietekmes pakāpi (piemēram, subsīdijas apmēru alternatīvās degvielas transportlīdzekļu iegādei), kā arī integrētas politikas paketes;
 - ii. izmantotā “baltās kastes” modelēšanas pieeja ļauj labāk pētīt transporta sistēmā pastāvošās cēloņsakarības un veidot izpratni un pārliecību par reālās sistēmas generēto dinamisko uzvedību. Turklāt šī pieeja ļauj veikt turpmākus uzlabojumus modeļa struktūrā un izmantotajos pieņēmumos, tādējādi palielinot modeļa

precizitāti, kā arī ļaujot to pielāgot transporta sektora analīzei citā perspektīvā vai citu valstu piemēru aspektā.

- **Pašvaldību līmenī.** Pašvaldībām ir potenciāls sekmēt valsts transporta politikas mērķu sasniegšanu gan attiecībā uz atjaunojamās enerģijas īpatsvara pieaugumu transporta sektorā, gan emisiju samazinājumu, kā parādīja divu piemēru izpēte. Pirmais gadījums ļāva secināt, ka biometāna daudzums, ko var iegūt no organiskajiem sadzīves atkritumiem, kas radīti vidēja lieluma Latvijas pilsētā, ir pietiekams, lai nodrošinātu ar degvielu pilsētas transporta autoparku. Otrais gadījums parādīja, ka elektroautobiļi ir piemērota alternatīva pašvaldību autoparkam, tomēr pastāv būtiski šķēršļi, kas kavē to plašāku izmantošanu. Lai gan abos pētījumos tika izmantotas atšķirīgas metodikas, gan viens, gan otrs norāda uz finansiālo aspektu kā galveno šķērslī, kas kavē alternatīvās degvielas transportlīdzekļu plašāku izmantošanu pašvaldību autoparkā. Alternatīvās degvielas tehnoloģiju kapitālizmaksas ir augstas. Ņemot vērā pašvaldību ierobežotās budžeta iespējas un prioritātes, sagaidāmie ietaupījumi no zemākām degvielas izmaksām izmantošanas laikā, salīdzinot ar tradicionāli izmantoto fosilo degvielu, nav pietiekama motivācija. Var secināt, ka valsts atbalsta pasākumi, kas paredz līdzfinansējumu alternatīvās degvielas transportlīdzekļu ieviešanai, ir svarīgs priekšnosacījums alternatīvās degvielas transportlīdzekļu autoparka palielināšanai pašvaldībās.
 - **Nozares līmenī.** Līdzšinējā politika, lai sasniegtu biodegvielu mērķus transporta sektorā, kas atbilst Eiropas Savienības uzstādījumiem, ir parādījusi sevi kā neefektīvu. Arī domājot par nākotni, nav priekšnoteikumu, kas varētu paātrināt biodegvielu izmantošanu esošajā scenārijā. Tas nozīmē, ka ir nepieciešami politikas atbalsta pasākumi, lai palielinātu biodegvielu izmantošanu un virzītos uz 10 % atjaunojamās transporta enerģijas mērķi 2020. gadā un turpmāk. Lai nodrošinātu pieprasījumu pēc biodegvielas, ir nepieciešami atbalsta pasākumi gan biodegvielas patērētāju, gan ražotāju pusē. To ietekmē divi apstākļi: biodegvielu cenas konkurētspēja ar tradicionālajām degvielām un sabiedrības akcepts. Šie rezultāti tika iegūti no jaunizveidota modelēšanas rīka politikas analīzei biodīzeļdegvielas nozarē, kas ietver trīs galvenos apakšsektoros: ražošanas sektoru, patēriņa sektoru un izejvielu piegādes sektoru. Pētījumā likts īpašs uzsvars uz principiālo scenāriju izvērtējumu Latvijas apstākļos, piemērojot valsts subsīdiju, palielināta akcīzes nodokļa un palielināta biodīzeļdegvielas obligātā piejaukuma politikas instrumentus. Rezultāti sniedz nozīmīgu jaunu ieguldījumu notiekošajās diskusijās par subsīdiju piemērošanu biodegvielas ražotājiem. Lai gan arī līdz šim pasaulē ir veikti politikas pasākumu ietekmes novērtējuma pētījumi biodegvielu nozarē, izmantojot sistēmdinamikas pieeju, problēmas apskatīšana Latvijas apstākļos var tikt uzskatīta par nozīmīgu pienesumu esošajiem modeļiem, jo ļauj integrēt vietējā mērogā nozīmīgus aspektus.
3. Promocijas darbs ir norādījis uz vairākiem turpmākās izpētes virzieniem.
- Līdz šim ir veikti un literatūrā ir aprakstīti daudzi pētījumi par faktoriem, kas ietekmē transporta lietotāju uzvedību zema oglekļa transporta politikas pārejas kontekstā (piemēram, apstākļi, kas ietekmē transporta veida izvēli). Tomēr tas ir bijis vairāk kvalitatīvs nekā kvantitatīvs novērtējums. Esošo pētījumu rezultāti ļauj novērtēt būtiskos faktorus, kas ietekmē transporta lietotāja uzvedību, bet nesniedz pietiekamas zināšanas par to, kā mainīsies transporta lietotāja uzvedība, panākot šo faktoru izmaiņas. To var uzskatīt par sociālo zinātņu izpētes lauku ar nozīmīgu potenciālu papildināt pētījumus inženierzinātņu jomā (piemēram, sistēmdinamikas modelēšanā), it īpaši transporta sektorā, kur transporta lietotāja uzvedībai ir noteicošā loma transporta sistēmas attīstībā.

- Ilgtermiņa siltumnīcefekta gāzu emisiju samazinājuma mērķu sasniegšana transporta sektorā Latvijā ir saistīta ar atbildīgu lēmumu pieņemšanu, kas mainīs gan cilvēku uzvedību, gan arī pārvietošanās paradumus. Lielai daļai pasākumu būs nepieciešamas arī nozīmīgas investīcijas. Lai plānotu investīcijas un veicamos pasākumus, ir nepieciešami ticami izejas dati un esošās situācijas novērtējums. Svarīga šādas izpētes daļa ir pētījums par cilvēku pārvietošanās paradumiem, cilvēku blīvuma izmaiņām, kā arī par instrumentiem, kas motivē iedzīvotājus mainīt savus paradumus. Ticamiem izejas datiem ir nozīmīga loma arī pēc pasākumu ieviešanas fāzē (monitoringā), kad tiek izvērtēts, vai īstenotais pasākums ir sniedzis plānoto ieguvumu.
 - Esošajā praksē investīciju lēmumu pieņemšana galvenokārt ir balstīta uz tiešiem ekonomiskiem apsvērumiem, t.i., peļņas un atmaksāšanās laika novērtējumu. Tomēr vides politikas lēmumi sniedz virkni netiešu ekonomisku ieguvumu, piemēram, sabiedrības veselības uzlabošanās, vietējās ekonomikas izaugsme, dzīves līmeņa kāpums, ko neapskata tradicionālās vērtēšanas metodes. Tāpēc par piemērotāku metodi var uzskatīt izmaksu un ieguvumu analīzi, kas vērtē ne vien projekta tiešās, bet arī ārējās izmaksas un ieguvumus. Ir nepieciešami pētījumi izmaksu un ieguvumu analīzes metodes lietojumam transporta sektorā. Šīs metodikas ieviešana praksē ļautu labāk atspoguļot pieņemto investīciju lēmumu ietekmi.
4. Promocijas darbā demonstrēts integrēts politikas novērtējums pārejai uz zema oglekļa transporta sistēmu. Izpēte par CO₂ emisiju ilgtermiņa dinamisko attīstību transporta sektorā Latvijā ļāvusi labāk izprast būtiskos tehniskos, ekonomiskos un sociālos aspektus, kas virza šo uzvedību, un ļāvusi veidot politiku, kas spēj nošķirt IKP izaugsmi, pieprasījumu pēc transporta un ar to saistīto negatīvo ietekmi uz klimatu. Pētījums par alternatīvās degvielas transportlīdzekļu ieviešanu pašvaldībās ir pirmais mēģinājums saistīt nacionāla un vietēja līmeņa transporta plānošanu Latvijā, vēršot uzmanību valstiski svarīgiem jautājumiem pašvaldības līmenī. Visbeidzot, sistēmdinamikas modelis biodīzeļdegvielas nozarē Latvijā ir nodrošinājis labāku izpratni par nozares attīstību Latvijā. Modeļi var izmantot gan esošās, gan jaunas politikas izvērtējumam, lai veicinātu biodegvielu izmantošanu.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] S. Faberi, L. Paolucci, B. Lapillonne, and K. Pollier, “Trends and policies for energy savings and emissions in transport,” 2015.
- [2] European Union, “Statistical pocketbook ‘EU transport in figures’” Publications Office of the European Union, Luxembourg:, p. 148, 2015.
- [3] Eurostat, “Share of renewable energy in fuel consumption of transport (tsdcc340),” 2016.
- [4] European Environment Agency, “EEA greenhouse gas – data viewer,” 2016. [Online]. Available: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>.
- [5] European Commission, “White Paper ‘Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system,’” Brussels, p. 30, 2011.
- [6] “Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC,” *Off. J. Eur. Union*, vol. L 140, pp. 16–62, 2009.
- [7] “Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European economic and social Committee and the Committee of the regions ‘Renewable energy progress report,’” Brussels, 2013.
- [8] “Directive 2014/94/EU of the European Parliament and of the Council of 22 October 2014 on the deployment of alternative fuels infrastructure,” *Off. J. Eur. Union*, vol. L 307, pp. 1–20, 2014.
- [9] R. Bos and R. Temme, “A Roadmap towards Sustainable Mobility in Breda,” *Transp. Res. Procedia*, vol. 4, pp. 103–115, 2014.
- [10] K. Nakamura and Y. Hayashi, “Strategies and instruments for low-carbon urban transport: An international review on trends and effects,” *Transp. Policy*, vol. 29, pp. 264–274, Sep. 2013.
- [11] R. Gross, P. Heptonstall, J. Anable, P. Greenacre, and E4tech, “What policies are effective at reducing carbon emissions from surface passenger transport?,” 2009.
- [12] F. M. Zermoglio, A. Van Jaarsveld, W. V Reid, J. Romm, R. Biggs, and Y. Tianxiang, “Ecosystems and human well-being: Multiscale assessments, Volume 4,” in *The Millennium Ecosystem Assessment Series*, Washington, D.C.: Island Press, 2005, pp. 61–83.
- [13] B. Girod, D. P. van Vuuren, and S. Deetman, “Global travel within the 2°C climate target,” *Energy Policy*, vol. 45, pp. 152–166, Jun. 2012.
- [14] A. Blumberga, D. Blumberga, G. Bažbauers, P. Davidsen, E. Moxnes, I. Dzene, A. Barisa, G. Žogla, E. Dāce, and A. Ozarska, *System Dynamics for Environmental Engineering Students*. Riga: Riga Technical University, Institute of Energy Systems and Environment, 2011, p. 351.
- [15] M. J. Radzicki and R. A. Taylor, *Introduction to System Dynamics. A Systems Approach to Understanding Complex Policy Issues*. 1997.
- [16] E. K. Keating, “Everything you ever wanted to know about how to develop a system dynamics model , but were afraid to ask,” *Proc. Sixt. Int. Conf. Syst. Dyn. Soc.*, no. 617, p. 28, 1998.
- [17] D. H. Meadows, “The unavoidable a priori,” in *Elements of the System Dynamics Method*, J. Randers, Ed. Cambridge (Massachusetts): MIT Press, 1980, pp. 23–57.
- [18] O. Chiu Chuen, M. R. Karim, and S. Yusoff, “Mode choice between private and public transport in Klang Valley, Malaysia,” *Sci. World J.*, vol. 2014, no. Figure 1, pp. 7–9, 2014.
- [19] J. Asensio, “Transport mode choice by commuters to Barcelona’s CBD,” *Urban Stud.*, vol. 39, no. 10, pp. 1881–1895, 2002.
- [20] R. Marqués, V. Hernández-Herrador, M. Calvo-Salazar, and J. A. García-Cebrián, “How

- infrastructure can promote cycling in cities: Lessons from Seville,” *Res. Transp. Econ.*, vol. 53, pp. 31–44, Nov. 2015.
- [21] L. Nerhagen, “Travel mode choice: Effects of previous experience on choice behaviour and valuation,” *Tour. Econ.*, vol. 9, no. 1, pp. 5–30, 2003.
- [22] A. H. M. Mehbub Anwar, “Paradox between public transport and private car as a modal choice in policy formulation,” *J. Bangladesh Inst. Planners ISSN*, vol. 2, pp. 71–77, 2009.
- [23] J. N. Rachele, A. M. Kavanagh, H. Badland, B. Giles-Corti, S. Washington, and G. Turrell, “Associations between individual socioeconomic position, neighbourhood disadvantage and transport mode: Baseline results from the HABITAT multilevel study,” *J. Epidemiol. Community Health*, vol. 69, pp. 1217–1223, 2015.
- [24] J. Anable, “‘Complacent car addicts’ or ‘aspiring environmentalists’? Identifying travel behaviour segments using attitude theory,” *Transp. Policy*, vol. 12, no. 1, pp. 65–78, 2005.
- [25] E. Moxnes, “Interfuel substitution in OECD-European electricity production,” *Syst. Dyn. Rev.*, vol. 6, no. 1, pp. 44–65, 1990.
- [26] C. D. Waldron, J. Harnisch, O. Lucon, R. S. Mckibbin, S. B. Saile, F. Wagner, M. P. Walsh, L. Q. Maurice, L. Hockstad, N. Höhne, J. Hupe, D. S. Lee, K. Rypdal, M. Kapshe, D. M. Allyn, M. Locke, S. Lukachko, and S. Pesmajoglou, “Mobile Combustion,” in *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 2006, pp. 1–78.
- [27] Latvijas Republikas Finanšu ministrija, “Makroekonomisko pieņēmumu un prognožu skaitliskās vērtības,” 2015.
- [28] M. Weiss, M. K. Patel, M. Junginger, A. Perujo, P. Bonnel, and G. van Grootveld, “On the electrification of road transport – Learning rates and price forecasts for hybrid-electric and battery-electric vehicles,” *Energy Policy*, vol. 48, pp. 374–393, Sep. 2012.
- [29] Eurostat, “Average carbon dioxide emissions per km from new passenger cars (tsdtr450),” 2016.
- [30] A. Gancone, I. Cakars, L. Siņics, I. Stīle, A. Pulķe, L. Rubene, V. Ratniece, G. Klāvs, L. Gračkova, A. Lazdiņš, A. Butlers, A. Bārdule, A. Lupiķis, L. Bērziņa, R. Sudars, and R. Ondzule, “Latvia’s national inventory report submission under UNFCCC,” 2015.
- [31] Eurostat, “Distribution of population by degree of urbanisation, dwelling type and income group (ilc_lvho01),” 2016.
- [32] M. Salvia, S. Di Leo, C. Nakos, H. Maras, S. Panevski, O. Fülöp, S. Papagianni, Z. Tarevska, D. Čeh, E. Szabó, and B. Bodzsár, “Creating a sustainable and resource efficient future: A methodological toolkit for municipalities,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 480–496, Oct. 2015.
- [33] A. R. Neves, V. Leal, and J. C. Lourenço, “A methodology for sustainable and inclusive local energy planning,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 17, pp. 110–121, Sep. 2015.
- [34] P. Fenton, S. Gustafsson, J. Ivner, and J. Palm, “Sustainable energy and climate strategies: Lessons from planning processes in five municipalities,” *J. Clean. Prod.*, vol. 98, pp. 213–221, Jul. 2015.
- [35] D. Rutz, R. Janssen, R. Ramanauskaite, U. Hoffstede, H. Hahn, B. Kulisic, R. Bosnjak, and M. Kruhek, “The use of bio-waste for biomethane production in European cities,” 2012, June, pp. 18–22.
- [36] “Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC,” *Off. J. Eur. Union*, vol. L 315, pp. 1–56, 2012.
- [37] “Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003 on the promotion of the use of biofuels or other renewable fuels for transport,” *Off. J. Eur. Union*, vol. L 123, pp. 0042–0046, 2003.
- [38] Latvijas Republikas Ekonomikas ministrija, “Informatīvais ziņojums par situāciju biodegvielas ražošanas nozarē,” 2012.

- [39] L. Van de Velde, W. Verbeke, M. Popp, J. Buysse, and G. Van Huylenbroeck, “Perceived importance of fuel characteristics and its match with consumer beliefs about biofuels in Belgium,” *Energy Policy*, vol. 37, no. 8, pp. 3183–3193, Aug. 2009.
- [40] D. Browne, M. O’Mahony, and B. Caulfield, “How should barriers to alternative fuels and vehicles be classified and potential policies to promote innovative technologies be evaluated?,” *J. Clean. Prod.*, vol. 35, pp. 140–151, Nov. 2012.