RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE



Zinātniskā monogrāfija 2026

ILGTSPĒJĪGA LOĢISTIKA – NO PĒDĒJĀS JŪDZES LĪDZ ŪDEŅRAŽA TEHNOLOĢIJĀM

RĪGAS
TEHNISKĀ
UNIVERSITĀTE

ILGTSPĒJĪGA LOĢISTIKA – NO PĒDĒJĀS JŪDZES LĪDZ ŪDEŅRAŽA TEHNOLOĢIJĀM

Zinātniskā monogrāfija

2026

Kotļars Aleksandrs, Lapuķe Sanda (zin. red.). Ilgtspējīga loģistika – no pēdējās jūdzes līdz ūdeņraža tehnoloģijām. Zinātniskā monogrāfija. Rīga: RTU Izdevniecība, 2026, 174 lpp.

Monogrāfija veltīta ilgtspējīgas loģistikas attīstības jautājumiem, un tajā apvienoti oriģināli un starpdisciplināri pētījumu rezultāti, kuros analizētas dažādas transporta un loģistikas sistēmu pārmaiņu dimensijas, sākot ar videi draudzīgām piegādēm pilsētās un beidzot ar ūdeņraža izmantošanas potenciālu transportā. Monogrāfija izstrādāta, sadarbojoties dažādiem zinātniekiem no vairākām Latvijas zinātņu universitātēm, radot unikālas zināšanas transporta un loģistikas nozarē, kā arī nodrošinot datos un modeļos balstītu pieeju izmantošanu ilgtspējīgas loģistikas attīstībai.

Monogrāfijas autoru zinātniski praktiskās atziņas un pētījumu rezultāti ir izmantojami transporta un klimata politikas plānošanā, ekonomikas analīzē un reģionālajā attīstībā, uzņēmējdarbības un inovāciju atbalsta politikā, augstākajā izglītībā un pētniecībā. Tie paredzēti arī transporta loģistikas nozares profesionāļiem visos ietekmes līmeņos.

Zinātniskā monogrāfija apstiprināta RTU Zinātnes padomes 2026. gada 19. oktobra sēdē, protokola Nr. 04000-3-e/15.

Zinātniskie redaktori
Pētnieks *Ph. D.* Aleksandrs Kotļars
Vadošā pētniece *Dr. oec.* Sanda Lapuķe

Recenzenti
Profesors *Dr. sc. ing.* Aigars Laizāns, Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte, Latvija
Profesore *Dr. oec.* Inna Stecenko, Transporta un sakaru institūts, Latvija
Vadošais pētnieks *Dr. habil. sc. ing.* Namejs Zeltiņš, Elektronikas un datorzinātņu institūts, Latvija

Latviešu valodas teksta literārās redaktores
Inga Gulbe
Rūta Lapsa

Angļu valodas teksta literārā redaktore
Daina Ostrovska
Vāka dizaina autors, maketētājs Vilnis Laizāns
Grāmatas vāka attēls no *www.shutterstock.com*

Zinātniskā monogrāfija sagatavota fundamentālo un lietišķo pētījumu programmas projektā "Pēdējās jūdzes preču sadales ilgtspējīgu un videi draudzīgu pakalpojumu ieviešanai modeļa izstrāde Latvijā (TRANS4ECO)", projekta Nr. lzp-2022/1-0306. Projekts īstenots no 2023. līdz 2025. gadam.

© Rīgas Tehniskā universitāte, 2026

© Astra Auziņa-Emsiņa, Zane Zeibote, Jānis Balodis, Anita Kokarēviča, Jānis Kudiņš, Edmunds Čižo, Māris Jurušs, Valērijs Skribans, Iveta Amoliņa, Aleksandrs Kotļars, Sanda Lapuķe, Leo Jansons, Laila Zemīte, Andris Bačkurs, Antra Kundziņa, 2026

https://doi.org/10.7250/9789934373534
ISBN 978-9934-37-353-4 (pdf)
ISBN 978-9934-37-352-7 (print)

Kotļars Aleksandrs, Lapuķe Sanda (sc. eds.). Sustainable Logistics: From the Last Mile to Hydrogen Technologies. Scientific monograph. Riga: RTU Press, 2026, 174 p.

The monograph is devoted to the topics of sustainable logistics development, and it combines original and interdisciplinary research results that analyse various dimensions of change in transport and logistics systems, ranging from environmentally friendly urban deliveries to the potential use of hydrogen in transport. The monograph is developed in collaboration with various scientists from Latvian science universities, creating unique knowledge in the transport and logistics sector, as well as ensuring the use of data- and model-based approaches for sustainable logistics development.

The scientific and practical findings of the monograph, as well as the results of the research can be used in transport and climate policy planning, economic analysis and regional development, business and innovation support policy, higher education and research, as well as are intended to meet the needs of professionals in transport logistics sector at all levels of influence.

The Scientific monograph is published in accordance with the resolution of the RTU Scientific Council of 19 October 2026, Minutes No. 04000-3-e/15.

Scientific editors
Researcher Ph. D. Aleksandrs Kotļars
Leading Researcher Dr. oec. Sanda Lapuķe

Reviewers
Professor Dr. sc. ing. Aigars Laizāns, Latvia University of Life Sciences and Technologies, Latvia
Professor Dr. oec. Inna Stecenko, Transport and Telecommunication Institute, Latvia
Leading Researcher Dr. habil. sc. ing. Namejs Zeltiņš, Institute of Electronics and Computer Science, Latvia

Literary editors of Latvian text
Inga Gulbe
Rūta Lapsa

Literary editor of English text
Daina Ostrovska
Cover design and layout Vilnis Laizāns
Cover image from www.shutterstock.com

The scientific monograph was prepared within the fundamental and applied research program project "TRANS4ECO: Development of a model for implementation of sustainable and environmentally friendly last mile distribution transportation services in Latvia", project No. lzp-2022/1-0306, from 2023 to 2025.

© Riga Technical University, 2026

© Astra Auziņa-Emsiņa, Zane Zeibote, Jānis Balodis, Anita Kokarēviča, Jānis Kudiņš, Edmunds Čižo, Māris Jurušs, Valērijs Skribans, Iveta Amoliņa, Aleksandrs Kotļars, Sanda Lapuķe, Leo Jansons, Laila Zemīte, Andris Bačkurs, Antra Kundziņa, 2026

https://doi.org/10.7250/9789934373534
ISBN 978-9934-37-353-4 (pdf)
ISBN 978-9934-37-352-7 (print)

Saturs

Ievads 5

Introduction 10

1.
Videi draudzīgāku un zaļāku pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģiju ekonomiskās un reģionālās ietekmes modelēšana Latvijā 16

2.
Transporta efektivitāte Latvijā ekonomiskās produktivitātes un vides ilgtspējas kontekstā 47

3.
Nodokļu stratēģijas elektrisko transportlīdzekļu veicināšanai pilsētu teritorijās 60

4.
Lietoto kravas automobiļu tirgus Eiropā:
datos balstīta analīze, metodoloģija un ekonometrisks lietojums 93

5.
Loģistikas pakalpojumu sniedzēju pāreja uz videi draudzīgiem transporta pakalpojumiem:
dinamiskais modelis un lēmumu pieņemšanas atbalsts 115

6.
Ūdeņraža tehnoloģiju potenciāls Eiropas Savienības autotransporta dekarbonizācijā:
aktuālās tendences un nākotnes perspektīva 132

7.
Ūdeņraža kravas automobiļu ieviešanas literatūras apskats un modelēšanas pieejas 157

Kopsavilkums 170

Summary 172

Ievads

Ilgtspējīgas loģistikas jēdziena aktualitāte pēdējo 20 gadu laikā ir kļuvusi par vienu no galvenajiem pīlāriem transporta politikas, ekonomikas plānošanas un uzņēmējdarbības stratēģiju kontekstā. Saskaņā ar Eiropas Komisijas datiem transporta un loģistikas sektors kopumā veido aptuveni ceturtdaļu no kopējām siltumnīcefekta gāzu emisijām Eiropas Savienībā, līdz ar to tā transformācija ir izšķiroša Eiropas Zaļā kursa un klimatneitralitātes mērķu īstenošanai. Transporta sistēmu efektivitāte un spēja pielāgoties zaļajai un digitālajai pārejai kļuvusi par kritisku nosacījumu ekonomikas konkurētspējai, īpaši situācijā, kad arvien lielāka nozīme tiek piešķirta resursu efektīvai izmantošanai, emisiju samazināšanai un piegādes ķēžu noturībai. Loģistika ir būtisks starpsektoru elements, kas savieno ražošanu, tirdzniecību, enerģētiku un patēriņu vienotā sistēmā. Līdz ar to ilgtspējīga loģistikas attīstība ietver plašu ekonomisko, tehnoloģisko un vides dimensiju kopumu (Kunkel et al., 2022). Mūsdienu izpratnē ilgtspējīga loģistika nozīmē ne tikai efektīvu transportēšanas procesu organizēšanu vai izmaksu samazināšanu, bet arī vides ietekmes mazināšanu, sabiedrības labklājības uzlabošanu un inovāciju integrēšanu. Saskaņā ar (Dobrinevski & Jachnik, 2020) loģistika kļūst par sistēmisku pārmaiņu rīku. Tā ne tikai reaģē uz klimata politikas mērķiem, bet arī ļauj veidot jaunu ekonomikas modeli, kurā ilgtspēja ir produktivitātes priekšnoteikums.

Monogrāfijas mērķis ir padziļināti analizēt ilgtspējīgas loģistikas pārmaiņu dinamiku un tās izpausmes Latvijas un Eiropas kontekstā. Tajā apvienoti septiņi raksti, kuros analizētas dažādas transporta un loģistikas sistēmu pārveides dimensijas, sākot ar videi draudzīgām piegādēm pilsētās un nodokļu politiku un beidzot ar ūdeņraža tehnoloģiju ieviešanas iespējām kravu pārvadājumos. Raksti atspoguļo loģisku pētniecības secību, kas aptver ekonomiskos, tehnoloģiskos, vides un politikas aspektus. Monogrāfija veido teorētiski un empīriski pamatotu skatījumu uz to, kā transporta nozares pāreja uz zema oglekļa risinājumiem var veicināt Latvijas un Eiropas Savienības klimata un ekonomikas mērķu sasniegšanu.

Ilgtspējīgas loģistikas problemātika kļuva īpaši aktuāla pēc Parīzes nolīguma pieņemšanas un Eiropas Zaļā kursa ieviešanas, kas paredz līdz 2050. gadam sasniegt klimatneitralitāti. Šie mērķi ietver plašu politikas spektru, tostarp emisiju samazināšanu, atjaunojamo energoresursu īpatsvara palielināšanu, aprites ekonomikas veicināšanu un transporta elektrifikāciju. Vienlaikus sabiedrībā pieaug izpratne par to, ka vides ilgtspēja nav atdalāma no ekonomiskās efektivitātes un sociālās labklājības. Transporta nozarē šis princips izpaužas kā nepieciešamība saskaņot piegādes ķēžu elastību, izmaksu efektivitāti un emisiju samazināšanu (Bansal et al., 2021). Ilgtspējīgas loģistikas attīstību ietekmē vairāki faktori. Pirmkārt, tehnoloģiskā attīstība (elektrifikācija, digitalizācija, datu analītika un automatizācija) būtiski maina loģistikas darbības principus (Vacchi et al., 2021). Otrkārt, sabiedrības paradumu maiņa un e-komercijas izaugsme rada jaunu pieprasījumu pēc ātriem, elastīgiem un videi draudzīgiem piegādes risinājumiem.

Treškārt, normatīvais regulējums kļūst arvien stingrāks – no 2027. gada transporta nozarei Eiropas Savienībā tiks piemērota emisiju kvotu tirdzniecība (ETS II), kas būtiski ietekmēs izmaksu struktūru un konkurētspēju. Šo procesu rezultātā loģistika vairs nav tikai tehniska vai operatīva funkcija, bet tā kļūst par stratēģisku instrumentu valstu un uzņēmumu līmenī. Efektīva loģistikas politika spēj vienlaikus samazināt emisijas, veicināt ekonomisko izaugsmi un uzlabot sociālo kohēziju, īpaši reģionos, kur transporta infrastruktūra un darba tirgus iespējas ir ierobežotas (Rehman et al., 2023). Latvijas kontekstā transporta un loģistikas nozare ieņem stratēģisku vietu ekonomikā. Tā nodrošina ap 8–10 % no iekšzemes kopprodukta un veido ievērojamu eksporta ienākumu daļu (Centrālā statistikas pārvalde, 2024). Tajā pašā laikā nozare ir viens no lielākajiem emisiju avotiem. Latvijas autoparks ir viens no vecākajiem Eiropas Savienībā (Skribans & Kotlars, 2024), kas nozīmē augstāku vidējo emisiju līmeni un zemāku energoefektivitāti. Šādā situācijā aktuāli ir inovatīvi risinājumi gan pilsētu transportā, gan kravu pārvadājumos, gan starptautiskajā loģistikā.

Monogrāfijas rakstos izmantotas dažādas metodoloģijas, kas atspoguļo mūsdienīgu, datos un modeļos balstītu pieeju transporta nozares pētījumiem. To vidū ir ekonometrija, sistēmdinamika, scenāriju modelēšana, ielaides un izlaides analīze, datu ieguves, mašīnmācīšanās un salīdzinošā politikas analīze. Šāda metožu izmantošana ļauj savienot makroekonomiskos rādītājus un mikrolīmeņa aspektus, novērtējot gan tirgus mehānismus, gan uzņēmumu uzvedību. Dinamisko un scenāriju modelēšanas izmantošana (Amolina et al., 2024) nodrošina iespēju analizēt pārejas procesus laikā, prognozējot ekonomisko un tehnoloģisko mainīgo savstarpējo ietekmi. Savukārt ielaides un izlaides modelēšana (Auzina-Emsina, 2024) ļauj novērtēt to, kā tehnoloģiju pārneses un inovāciju ieviešana vienā nozarē ietekmē citas nozares un reģionālos tirgus. Ekonometrijas un datu analīzes metodes (Skribans & Kotlars, 2024) sniedz kvantitatīvu pamatu transporta tirgus strukturālai izpētei un lēmumu pieņemšanai politikas līmenī. Šo metožu integrācija nodrošina starpdisciplināru skatījumu uz ilgtspējīgas loģistikas problemātiku, kas apvieno ekonomiku, inženierzinātnes, reģionālo attīstību un vides politiku.

Monogrāfijas struktūra veidota loģiskā secībā – no praktiskām un lokālām piegādes problēmām līdz makroekonomiskām un tehnoloģiskām transformācijām. Katrs raksts veido atsevišķu, taču savstarpēji saistītu posmu ilgtspējīgas loģistikas pētniecības ķēdē.

Pirmais raksts **(Auziņa-Emsiņa, 2025)** analizē videi draudzīgu tehnoloģiju ieviešanu pēdējās jūdzes piegādēs, izmantojot ielaides un izlaides analīzi, kas ļauj noteikt starpnozaru ietekmes un ekonomiskos ieguvumus. Pētījums parāda, ka pāreja uz elektriskajiem transportlīdzekļiem, automatizētām noliktavām un viedajiem sūtījumu skapīšiem rada pozitīvu multiplikatora efektu ražošanas un pakalpojumu sektoros. Vienlaikus tas norāda reģionāli diferencētas politikas nepieciešamību – mazāk apdzīvotās teritorijās nepieciešams valsts atbalsts infrastruktūras un investīciju nodrošināšanai. Pētījums uzsver, ka videi draudzīgu tehnoloģiju ieviešana pēdējā jūdzē ir ne tikai ekoloģisks jautājums, bet arī ekonomiskas izaugsmes iespēja, jo

veicina jaunu uzņēmējdarbības modeļu rašanos, tostarp koplietošanas un mikromobilitātes jomā (Peppel et al., 2024).

Otrajā rakstā **(Zeibote u. c., 2025**) transporta efektivitāte pētīta kā faktors, kas nosaka reģionālo ekonomisko produktivitāti un vides ietekmi. Izmantojot korelācijas un klasteru analīzi, autori parāda, ka transporta efektivitāti Latvijā būtiski ietekmē iedzīvotāju blīvums un infrastruktūras pieejamība. Reģioni ap galvaspilsētu Rīgu uzrāda augstāku produktivitāti un zemākas emisijas uz vienu iedzīvotāju, savukārt perifērijās novērojama pretēja tendence. Pētījuma rezultāti uzsver nepieciešamību veidot asimetrijas mazināšanas stratēģiju, kas vienlaikus paaugstina transporta pieejamību attālos reģionos un uzlabo vides efektivitāti. Minētais raksts sniedz nozīmīgu ieguldījumu valsts transporta politikas un reģionālās plānošanas veidošanā, piedāvājot datos balstītus argumentus investīciju prioritizācijai (Paula, 2021).

Trešais raksts **(Jurušs, 2025)** veltīts fiskālo instrumentu lomai elektrisko transportlīdzekļu izplatības veicināšanā un degvielas nodokļu politikas transformācijai. Autors analizē dubultā ieguvuma hipotēzi (Freire-González, 2018; Fullerton & Metcalf, 1997), saskaņā ar kuru vides nodokļi var vienlaikus uzlabot ekoloģisko situāciju un veicināt inovācijas. Rakstā uzsvērts, ka elektrisko transportlīdzekļu popularitāte rada jaunu izaicinājumu valsts budžetam, jo samazinās ieņēmumi no fosilās degvielas nodokļiem, tāpēc nepieciešama diferencēta nodokļu sistēma, kas ņemtu vērā nobraukumu, ģeogrāfiju un piegādes pakalpojumu specifiku. Raksts piedāvā vairākus risinājumus, tostarp nodevu ieviešanu par elektroenerģijas izmantošanu transportā un investīciju stimuliem uzlādes infrastruktūrā. Tas sniedz nozīmīgu ieguldījumu transporta fiskālās politikas ilgtspējas diskusijā.

Ceturtajā rakstā **(Skribans u. c., 2025)** analizēts lietoto kravas automobiļu tirgus Eiropā, izmantojot datu ieguves un mašīnmācīšanās metodes. Pētījums aptver 16 Eiropas Savienības valstis un vairāk nekā miljonu tirgus ierakstu, ļaujot novērtēt transportlīdzekļu vecuma, degvielas veida un emisiju standartu struktūru. Rezultāti parāda, ka lietoto kravas automobiļu tirgus ir būtisks instruments emisiju politikas īstenošanā, jo tieši caur to notiek vecāku, mazāk efektīvu transportlīdzekļu aprite starp Eiropas valstīm. Autori izstrādājuši makroekonometrisku modeli, kas paredz lietoto kravas automobiļu cenu un pieprasījuma dinamiku, ņemot vērā ekonomiskos un politiskos faktorus. Šī pieeja ļauj prognozēt, kā dažādu politikas scenāriju gadījumā mainīsies kravas transporta parka struktūra, un sniedz rekomendācijas klimata mērķu sasniegšanai.

Piektajā rakstā **(Kotļars & Skribans, 2025)** izpētīta loģistikas pakalpojumu sniedzēju pāreja uz zaļajiem pakalpojumiem. Autori izstrādājuši dinamisko modeli, kas simulē uzņēmumu lēmumu pieņemšanas procesus, ņemot vērā tirgus pieprasījumu, tehnoloģiju izmaksas un normatīvo vidi. Modelis ļauj analizēt, kā mainās uzņēmumu motivācija un stratēģijas atkarībā no vides politikas un ekonomiskajiem stimuliem. Pētījums pierāda, ka ilgtspējīgas prakses ieviešana loģistikā nav tikai reputācijas jautājums, bet gan ilgtermiņa konkurētspējas faktors. Modelis piedāvā lēmumu pieņemšanas atbalsta sistēmu, kas palīdz noteikt optimālos pārejas uz zaļo transportu scenārijus. Šis pētījums veicina izpratni par zaļās loģistikas ekonomisko loģiku un piedāvā praktiskus instrumentus uzņēmumu stratēģiskajai plānošanai.

Sestajā rakstā **(Jansons u. c., 2025)** analizētas ūdeņraža tehnoloģiju iespējas transporta dekarbonizācijā, īpaši degvielas šūnu un iekšdedzes dzinēju lietojums. Autori novērtē šo tehnoloģiju efektivitāti, izmaksas un infrastruktūras izaicinājumus, kā arī aplūko ūdeņraža ražošanas veidus (pelēko, zilo un zaļo ūdeņradi) un to ietekmi uz emisiju samazināšanu. Rakstā parādīts, ka ūdeņraža izmantošana ir perspektīva tieši nišas tirgos – kravas transportā, ilgstošos maršrutos un gadījumos, kur elektrifikācija ir tehniski sarežģīta. Vienlaikus uzsvērts, ka tehnoloģiju attīstība un investīciju intensitāte būs noteicošie faktori ūdeņraža tehnoloģiju ieviešanai. Pētījums piedāvā arī scenāriju analīzi līdz 2040. gadam un sniedz ieskatu politikas instrumentu efektivitātē.

Monogrāfijas noslēdzošais raksts **(Kotļars, 2025)** apkopo zinātniskās atziņas par ūdeņraža kravas transporta ieviešanu, izmantojot modeļos balstītu literatūras apskatu. Darbs sistematizē esošās modelēšanas pieejas, analizē tehnoloģisko un ekonomisko efektivitāti un norāda esošo modeļu nepilnības. Autors piedāvā integrētu skatījumu uz ūdeņraža tehnoloģiju ieviešanas faktoriem, kas ietver politikas instrumentus, infrastruktūras pieejamību un tirgus dinamiku. Minētais raksts kalpo kā teorētisks un metodoloģisks ietvars turpmākajiem pētījumiem transporta dekarbonizācijas nozarē.

Monogrāfijas zinātniskais ieguldījums izpaužas kā starpdisciplināra pieeja ilgtspējīgas loģistikas pētniecībā, apvienojot transporta ekonomiku, vides politiku un tehnoloģiju inovāciju analīzi. Pētījumi sniedz empīriskus pierādījumus tam, kā ekonomiskie, fiskālie un tehnoloģiskie faktori ietekmē transporta dekarbonizācijas procesus. Praktiskā nozīme izpaužas kā politikas veidošanas un uzņēmējdarbības plānošanas atbalsts. Rezultātus var izmantot nacionālajos un pašvaldību politikas plānošanas dokumentos, transporta tīklu optimizācijā, kā arī investīciju un nodokļu politikas izstrādē. Monogrāfijas secinājumi sniedz pamatu turpmākai stratēģiskai rīcībai ceļā uz klimatneitrālu transportu Latvijā un Eiropas Savienībā.

Monogrāfijas raksti kopā veido vienotu pētniecības telpu, kurā apvienotas dažādas metodes un skatījumi, radot daudzdimensionālu izpratni par transporta nozares un ilgtspējīgas loģistikas attīstības ceļiem. Tādējādi monogrāfija sniedz ieguldījumu gan zinātnē, gan praksē, piedāvājot datos un modeļos balstītus risinājumus transporta efektivitātes, vides aizsardzības un ekonomiskās izaugsmes saskaņošanai.

Literatūra un avoti

Amoliņa, I., Lapuķe, S., Skribans, V. (2025). Economic Analysis of Cargo Transport Life-Cycle in the European Union. In: Kabashkin, I., Yatskiv, I., Prentkovskis, O. (eds) Reliability and Statistics in Transportation and Communication: Human Sustainability and Resilience in the Digital Age. RelStat 2024. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1337. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87532-8_56.

Auzina-Emsina, A. (2024). GREENER LAST-MILE DELIVERY TECHNOLOGIES AND REGIONAL DEVELOPMENT IN LATVIA: INPUT-OUTPUT APPROACH. *Engineering for Rural Development*, 23, 414–421.
https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF078.

Bansal, A., Kumar, P., & Issar, S. (2021). 3PL selection: A multi-criteria decision-making approach. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 981–985.

Centrālā statistikas pārvalde. (2024). Statistikas datubāzes. Iegūts no https://data.stat.gov.lv.

Dobrinevski, A., & Jachnik, R. (2020). *Exploring options to measure the climate consistency of real economy investments: the transport sector in Latvia* (OECD Environment Working Paper 163). OECD Publishing. Iegūts no https://one.oecd.org/document/ENV/WKP(2020)10/en/pdf.

Freire-González, J. (2018). Environmental taxation and the double dividend hypothesis in CGE modelling literature: A critical review. *Journal of Policy Modeling*, 40 (1), 194–223. https://doi.org/10.1016/J.JPOLMOD.2017.11.002.

Fullerton, D., & Metcalf, G. E. (1997). *Environmental taxes and the double-dividend hypothesis: did you really expect something for nothing?* National Bureau of Economic Research, Cambridge, Mass., USA.

Kunkel, S., Matthess, M., Xue, B., & Beier, G. (2024). Industry 4.0 in sustainable supply chain collaboration: insights from an interview study with international buying firms and Chinese suppliers in the electronics industry. *Resources, Conservation & Recycling*, 202, 107406.

Paula, D. (2021, 20. aprīlis). Strengthening the Green Deal in Latvia: what could we expect from electrical mobility? Macroeconomics. Iegūts no https://www.macroeconomics.lv/raksti/strengthening-green-deal-latvia-what-could-we-expect-electrical-mobility.

Peppel, M., Spinler, S., & Winkenbach, M. (2024). Integrating mobile parcel lockers into last-mile delivery networks: an operational design for home delivery, stationary, and mobile parcel lockers. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 54 (4), 418–447. https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2023-0055.

Rehman, F. U., Islam, Md. M., & Miao, Q. (2023). Environmental sustainability via green transportation: A case of the top 10 energy transition nations. *Transport Policy*, 137, 32–44. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.04.013.

Skribans, V., & Kotlars, A. (2024). European cargo vehicle market dataset for 2023. *Data in Brief*, 55, 110648. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340924006152?dgcid=rss_sd_all.

Vacchi, M., Siligardi, C., Cedillo-González, E. I., Ferrari, A. M., & Settembre-Blundo, D. (2021). Industry 4.0 and smart data as enablers of the circular economy in manufacturing: Product re-engineering with circular eco-design. ***Sustainability*** (Switzerland), 13 (18). https://doi.org/10.3390/su131810366.

Introduction

The relevance of the concept of sustainable logistics over the past two decades has become one of the main pillars within the context of transport policy, economic planning, and business strategy. According to data from the European Commission, the transport and logistics sector accounts for approximately one quarter of total greenhouse gas emissions in the European Union; therefore, its transformation is crucial for the implementation of the European Green Deal and climate neutrality objectives. The efficiency of transport systems and their ability to adapt to the green and digital transition have become critical conditions for economic competitiveness, particularly in a situation where increasing importance is attached to the efficient use of resources, emission reduction, and supply chain resilience. Logistics represents a key cross-sectoral element that connects production, trade, energy, and consumption into an integrated system. Consequently, the development of sustainable logistics encompasses a broad range of economic, technological, and environmental dimensions (Kunkel et al., 2022). In contemporary understanding, sustainable logistics means not only organising transport processes efficiently or reducing costs but also mitigating environmental impacts, improving social welfare, and integrating innovation. According to (Dobrinevski & Jachnik, 2020), logistics has become an instrument of systemic change. It not only responds to climate policy objectives but also shapes a new economic model in which sustainability itself is a precondition for productivity.

This monograph has been developed with the aim of providing an in-depth analysis of the dynamics of sustainable logistics transformation and its manifestations in both the Latvian and European contexts. It combines seven articles that analyse various dimensions of transport and logistics system transformation, ranging from environmentally friendly urban deliveries and fiscal policies to the potential introduction of hydrogen technologies in freight transport. The set of articles reflects a logical research sequence encompassing economic, technological, environmental, and policy aspects. The monograph provides a theoretically and empirically grounded perspective on how the transition of the transport sector toward low-carbon solutions can contribute to achieving the climate and economic goals of Latvia and the European Union.

The problematics of sustainable logistics has become particularly topical following the adoption of the Paris Agreement and the introduction of the European Green Deal, which aims to achieve climate neutrality by 2050. These goals include a wide range of policy measures such as emission reduction, an increased share of renewable energy, the promotion of a circular economy, and transport electrification. At the same time, there is a growing public understanding that environmental sustainability cannot be separated from economic efficiency and social well-being. In the transport sector, this principle is expressed in the need to reconcile supply chain flexibility, cost efficiency, and emission reduction (Bansal et al., 2021).

Several factors influence the development of sustainable logistics. Firstly, technological progress (electrification, digitalisation, data analytics, and automation) has significantly changed the principles of logistics operations (Vacchi et al., 2021). Secondly, changes in societal habits and the growth of e-commerce have created new demand for fast, flexible, and environmentally friendly delivery solutions. Thirdly, regulatory frameworks are becoming increasingly stringent; starting in 2027, the transport sector in the European Union will be included in the Emissions Trading System (ETS II), which will significantly affect cost structures and competitiveness. As a result of these processes, logistics is no longer merely a technical or operational function but has become a strategic instrument at both national and corporate levels. An effective logistics policy can simultaneously reduce emissions, promote economic growth, and improve social cohesion, particularly in regions where transport infrastructure and labour market opportunities are limited (Rehman et al., 2023). In the Latvian context, the transport and logistics sector occupies a strategic role in the national economy. It contributes approximately 8–10 % of GDP and constitutes a significant share of export income (Centrālā statistikas pārvalde, 2024). At the same time, the sector remains one of the largest sources of emissions. Latvia's vehicle fleet is among the oldest in the European Union (Skribans & Kotlars, 2024), which implies a higher average emission level and lower energy efficiency. This situation highlights the need for innovative solutions in urban transport, freight logistics, and international transportation.

The articles in the monograph employ various methodologies that reflect a modern, data- and model-based approach to transport sector research. Among them are econometrics, system dynamics, scenario modelling, input-output analysis, data mining, machine learning, and comparative policy analysis. The use of these methods enables the integration of macroeconomic indicators with micro-level aspects, thus evaluating both market mechanisms and corporate behaviour. The application of dynamic and scenario modelling (Amoliņa et al., 2024) provides the opportunity to analyse transition processes over time and forecast the interrelationships between economic and technological variables. Meanwhile, input–output modelling (Auzina-Emsina, 2024) makes it possible to assess how technology transfer and innovation in one sector affect others and influence regional markets. Econometric and data analysis methods (Skribans & Kotlars, 2024) offer a quantitative basis for examining the structural aspects of the transport market and for policy-level decision-making. The integration of these approaches ensures an interdisciplinary perspective on the challenges of sustainable logistics, combining economics, engineering, regional development, and environmental policy.

The structure of the monograph follows a logical sequence – from practical and local delivery challenges to macroeconomic and technological transformations. Each article represents a distinct yet interconnected stage in the research chain of sustainable logistics.

The first article **(Auziņa-Emsina, 2025)** analyses the introduction of environmentally friendly technologies in last-mile deliveries using input–output analysis, which

makes it possible to determine intersectoral impacts and economic benefits. The study demonstrates that the transition to electric vehicles, automated warehouses, and smart parcel lockers creates a positive multiplier effect in manufacturing and service sectors. At the same time, it points to the need for regionally differentiated policies–less populated areas require state support for infrastructure and investment development. The study emphasises that the introduction of environmentally friendly technologies in the last-mile segment is not only an ecological issue but also an opportunity for economic growth, fostering the emergence of new business models, including in the fields of shared mobility and micromobility (Peppel et al., 2024).

The second article **(Zeibote et al., 2025)** examines transport efficiency as a factor determining regional economic productivity and environmental impact. Using correlation and cluster analysis, the authors show that transport efficiency in Latvia is significantly affected by population density and infrastructure accessibility. Regions surrounding the capital, Riga, demonstrate higher productivity and lower emissions per capita, while peripheral regions exhibit the opposite trend. The findings underline the need for a strategy to reduce asymmetries, simultaneously increasing transport accessibility in remote regions and improving environmental efficiency. This article contributes substantially to the development of national transport policy and regional planning by providing data-driven arguments for investment prioritisation (Paula, 2021).

The third article **(Jurušs, 2025**) focuses on the role of fiscal instruments in promoting the adoption of electric vehicles and transforming fuel tax policies. The author analyses the double-dividend hypothesis (Freire-González, 2018; Fullerton & Metcalf, 1997), according to which environmental taxes can simultaneously improve ecological outcomes and stimulate innovation. The article highlights that the growing popularity of electric vehicles creates a new challenge for the state budget, as revenues from fossil fuel taxes decline. Therefore, a differentiated tax system is required, considering mileage, geography, and the specifics of delivery services. The study proposes several solutions, including the introduction of levies for electricity use in transport and investment incentives for charging infrastructure. It thus provides a significant contribution to the discussion on the sustainability of transport fiscal policy.

The fourth article **(Skribans et al., 2025)** analyses the used truck market in Europe using data mining and machine learning methods. The study covers 16 EU countries and more than one million market records, allowing for an assessment of the structure of vehicle age, fuel type, and emission standards. The results show that the used truck market is an important instrument in the implementation of emission policies, as it determines the flow of older, less efficient vehicles between countries. The authors develop a macroeconometric model predicting price and demand dynamics for used trucks, considering economic and policy factors. This approach enables forecasting of how different policy scenarios may influence the structure of the freight vehicle fleet and provides recommendations for achieving climate objectives.

The fifth article **(Kotļars & Skribans, 2025)** explores the transition of logistics service providers to green services. The authors develop a dynamic model simulating corporate decision-making processes, considering market demand, technology costs, and the regulatory environment. The model allows for analysis of how corporate motivation and strategies evolve depending on environmental policy and economic incentives. The study demonstrates that the implementation of sustainable practices in logistics is not merely a matter of reputation but a factor of long-term competitiveness. The model offers a decision-support system that helps identify optimal transition scenarios toward green transport. This research enhances the understanding of the economic logic of green logistics and provides practical tools for strategic business planning.

The sixth article **(Jansons et al., 2025)** analyses the potential of hydrogen technologies in transport decarbonization, particularly the application of fuel cells and internal combustion engines. The authors assess the efficiency, costs, and infrastructural challenges of these technologies, as well as examine hydrogen production methods (grey, blue, and green hydrogen) and their impact on emission reduction. The study shows that hydrogen use is particularly promising in niche markets – freight transport, long-distance routes, and cases where electrification is technically complex. At the same time, it emphasises that technological development and investment intensity will be decisive factors for the pace of hydrogen adoption. The study also provides a scenario analysis up to 2040 and offers insights into the effectiveness of policy instruments.

The final article **(Kotļars, 2025)** summarises scientific insights into the introduction of hydrogen freight transport through a model-based literature review. The work systematises existing modelling approaches, analyses technological and economic efficiency, and identifies shortcomings in existing models. The author presents an integrated view of the factors influencing the implementation of hydrogen technologies, including policy instruments, infrastructure availability, and market dynamics. This article serves as a theoretical and methodological framework for further research in the field of transport decarbonization.

The monograph's scientific contribution lies in its interdisciplinary approach to the study of sustainable logistics, integrating transport economics, environmental policy, and technological innovation analysis. The research provides empirical evidence on how economic, fiscal, and technological factors influence transport decarbonization processes. Its practical significance is expressed in its contribution to policy development and business planning. The results can be applied in national and municipal policy planning documents, transport network optimisation, and the formulation of investment and taxation policies. The monograph's conclusions provide a basis for further strategic action toward climate-neutral transport in Latvia and the European Union.

Collectively, the articles form a unified research framework that combines diverse methods and perspectives, creating a multidimensional understanding of the transport sector and sustainable logistics development pathways. Thus, the monograph

contributes to both science and practice by offering data- and model-based solutions for aligning transport efficiency, environmental protection, and economic growth.

Literature and sources

Amoliņa, I., Lapuķe, S., Skribans, V. (2025). Economic Analysis of Cargo Transport Life-Cycle in the European Union. In: Kabashkin, I., Yatskiv, I., Prentkovskis, O. (eds) Reliability and Statistics in Transportation and Communication: Human Sustainability and Resilience in the Digital Age. RelStat 2024. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 1337. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87532-8_56.

Auzina-Emsina, A. (2024). Greener last-mile delivery technologies and regional development in Latvia: input-output approach. *Engineering for Rural Development*, 23, 414–421. https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF078.

Bansal, A., Kumar, P., & Issar, S. (2021). 3PL selection: A multi-criteria decision-making approach. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 981–985.

Centrālā statistikas pārvalde. (2024). Statistikas datubāzes. Iegūts no https://data.stat.gov.lv.

Dobrinevski, A., & Jachnik, R. (2020). *Exploring options to measure the climate consistency of real economy investments: the transport sector in Latvia* (OECD Environment Working Paper 163). OECD Publishing. Retrieved from https://one.oecd.org/document/ENV/WKP(2020)10/en/pdf.

Freire-González, J. (2018). Environmental taxation and the double dividend hypothesis in CGE modelling literature: A critical review. *Journal of Policy Modeling*, 40 (1), 194–223. https://doi.org/10.1016/J.JPOLMOD.2017.11.002.

Fullerton, D., & Metcalf, G. E. (1997). *Environmental taxes and the double-dividend hypothesis: did you really expect something for nothing?* National Bureau of Economic Research, Cambridge, Mass., USA.

Kunkel, S., Matthess, M., Xue, B., & Beier, G. (2024). Industry 4.0 in sustainable supply chain collaboration: insights from an interview study with international buying firms and Chinese suppliers in the electronics industry. *Resources, Conservation & Recycling*, 202, 107406.

Paula, D. (2021, 20. aprīlis). Strengthening the Green Deal in Latvia: what could we expect from electrical mobility? Macroeconomics. Retrieved from https://www.macroeconomics.lv/raksti/strengthening-green-deal-latvia-what-could-we-expect-electrical-mobility.

Peppel, M., Spinler, S., & Winkenbach, M. (2024). Integrating mobile parcel lockers into last-mile delivery networks: an operational design for home delivery, stationary, and mobile parcel lockers. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 54 (4), 418–447. https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2023-0055.

Rehman, F. U., Islam, Md. M., & Miao, Q. (2023). Environmental sustainability via green transportation: A case of the top 10 energy transition nations. *Transport Policy*, 137, 32–44. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.04.013.

Skribans, V., & Kotlars, A. (2024). European cargo vehicle market dataset for 2023. *Data in Brief*, 55, 110648.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340924006152?dgcid=rss_sd_all.

Vacchi, M., Siligardi, C., Cedillo-González, E. I., Ferrari, A. M., & Settembre-Blundo, D. (2021). Industry 4.0 and smart data as enablers of the circular economy in manufacturing: Product re-engineering with circular eco-design. ***Sustainability*** (Switzerland), 13 (18).
https://doi.org/10.3390/su131810366.

1.

Videi draudzīgāku un zaļāku pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģiju ekonomiskās un reģionālās ietekmes modelēšana Latvijā

Vadošā pētniece *Dr. oec.* Astra Auziņa-Emsiņa, Rīgas Tehniskā universitāte

Ievads

Pēdējās jūdzes piegādes nodrošināšanā tiek izmantotas daudzveidīgas tehnoloģijas un pieejas, kuru ietekme uz citiem ekonomikas dalībniekiem ir pētīta lielākoties specifiski reģionu, konkrētu tehnisku risinājumu, konkrētu preču piegādes vai piegādes laika un drošības kontekstā. Ir relatīvi maz pētījumu, kas veltīti plašākam skatījumam un izvērtējamam, kā tehnoloģiju pārnese un konverģence konkrētā pakalpojumu jomā ietekmē pārējos ekonomikas dalībniekus. Videi draudzīgāku un zaļāku pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģiju konverģences modelēšanas rezultāti apliecina, ka ir nozares, kas no šādām izmaiņām iegūs, jo palielināsies pieprasījums pēc to produktiem, savukārt ir nozares, kuru dalībniekiem jau laikus ir jāpieņem būtiski lēmumi attiecībā uz ilgtermiņa attīstību vai darbības diversifikāciju. Pētījuma ietvaros ir izmantoti salīdzinoši statiskā (*comperative static*) pieeja, salīdzinot situāciju, iestājoties noteiktiem scenārija nosacījumiem un pirms tam. Lielākoties pāreja no viena stāvokļa citā stāvoklī notiek nelineāri, tāpēc tas, kā reāli praksē notiktu šī pārnese un konverģence, cik ilgā laikā, cik pakāpeniski vai strauji, ir atsevišķa pētījuma vērts jautājums.

Jāatzīmē, ka ir būtiski modelēt reāli iespējamu vai jau eksistējošu videi draudzīgāku un zaļāku tehnoloģiju plašāku izmantošana un pārnesi, lai rezultāti ir vērtīga papildu informācija gan transporta, gan vides, gan klimata, gan ekonomikas un reģionālās attīstības politikas veidotājiem, kā arī uzņēmumu īpašniekiem un darbiniekiem un citām iesaistītajām pusēm, kas pašlaik darbojas nozarēs, kas ietekmēs šīs izmaiņas.

Pēdējās jūdzes piegādes nozīmē kravu piegādes, kas ietver preces un dažāda veida sūtījumus. Tomēr pēdējā laikā ievērojamu pētnieku uzmanību ir piesaistījušas arī jauktās piegādes (kravas un pasažieri pēdējā posmā). Mūsdienās uzņēmumi izmanto gan eksistējošas un pārbaudītas tehnoloģijas, ko var dēvēt arī par t. s. vakardienas tehnoloģijām, jo par tām ir pieejama statistika un dažāda veida dati, gan tehnoloģijas, kas devējamas par šodienas tehnoloģijām, jo, lai arī tās tiek izmantotas, tomēr ir maz pieejamo datu un nav laikrindu un attiecīgi ir

problemātiski vērtēt to izmaiņas laikā, gan rītdienas tehnoloģijas, kas vēl ir izstrādes stadijā un tiek testētas.

Pētījuma mērķis ir modelēt ekonomisko ietekmi uz citām nozarēm Latvijā, ja tiek pārnestas un sāktas izmantot alternatīvas tehnoloģijas, kas citās valstīs tiek jau pašlaik izmantotas un uzskatāmas par ilgtspējīgākām tehnoloģijām. Šajā pētījumā galvenā uzmanība pievērsta tehnoloģijām ES, it īpaši Latvijā, un modelēšanai izmantota ielaides un izlaides analīze.

Jāakcentē, ka tehnoloģiskie, vides, tostarp emisiju, kā arī sociālie un psiholoģiskie aspekti, kas saistīti ar cilvēku lēmumu pieņemšanu, uzvedību un paradumu maiņu, ir ārpus šī pētījuma ietvara. Pašlaik ekonomiskās aktivitātes klasifikācijā, ko izmanto ES (*NACE* 2.1. redakcijā), atsevišķi netiek izcelta pēdējās jūdzes piegāde un ar to saistītie pakalpojumi, līdz ar to, balstoties klasifikācijas specifikā, kā visatbilstošākie ir izvēlēti pasta un kurjeru pakalpojumi, kas vistuvāk reprezentē pēdējās jūdzes specifiku, attiecīgi izmantojot arī korespondējošo Preču statistisko klasifikāciju pēc saimniecības nozarēm (*CPA*).

Vēl pētījumā aplūkotas pasta un kurjeru pakalpojumu uzņēmumu (*CPA* H53) izmantotās tehnoloģijas dažādās ES valstīs, īpašu uzmanību pievēršot Vācijai, Francijai, Zviedrijai, Latvijai, Igaunijai un Lietuvai. Aplūkoto valstu skaitu nosaka gan datu pieejamība, gan rezultātu salīdzināmība. Pētījuma rezultāti ir potenciāli vērtīgi reģionālā, valsts un arī ES līmeņa politikas veidotājiem un ieinteresētajām personām, jo sniedz jaunu perspektīvu un argumentus par pārbaudītajām tehnoloģiskajām pārmaiņām. ES jaunajam Zaļajam kursam ir noteikti augsti mērķi, un reģionālās politikas veidošanā pieņemtie lēmumi un darbības var ietekmēt plānotos un gaidāmos rezultātus nākamajā desmitgadē vai ilgākā laika posmā.

1. Literatūras apskats

Pāreja uz ilgtspējīgām un zaļākām pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģijām ir izšķirošs elements, lai Eiropas Savienībā (ES) panāktu vides un ekonomikas ilgtspējību. E-komercija un urbanizācija turpina paplašināties, tāpēc pieprasījums pēc efektīviem, zaļiem un ilgtspējīgiem piegādes risinājumiem kļūst arvien lielāks. Pētījumā, izmantojot ielaides un izlaides (*input-output*) analīzi, tiek analizēta ilgtspējīgu pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģiju ieviešanas ekonomiskā ietekme ES. Pēdējās jūdzes piegādes ekonomiskie, tehnoloģiskie, vides un sociālie aspekti ir intensīvi pētīti dažādos aspektos, piemēram, pētījums par vides un ekonomiskajiem ieguvumiem no mobilo sūtījumu skapīšu plašākas izmantošanas (Peppel et al., 2024), sadarbības ietekmes izpēte pārtikas piegādes pēdējā jūdzē (Aktas et al., 2021), finansiālās un vides priekšrocības, ieviešot zemāku emisiju tehnoloģijas, piemēram, elektriskos transportlīdzekļus piegādes pakalpojumos (Scedrovs et al., 2024), nodokļi un nodokļu aspekti, piemērojot nodokļu atlaides alternatīvajam transportam (Juruss et al., 2024), ilgtspējīgas pēdējās jūdzes piegādes izpēte augošajā pārtikas preču e-tirdzniecībā (*e-grocery)* (Tudisco et al., 2025).

Starpnozaru ietekmes jeb ielaides un izlaides pieeja tiek izmantota daudzās kombinācijās dažādās jomās un daudzveidīgiem pētījumu mērķiem, piemēram, novērtējot ekstrēmu (šoka) politikas pasākumu ekonomisko ietekmi (Reissl et al., 2022), *Covid-19* (Reissl et al., 2024), ekstrēmu dabas parādību, piemēram, plūdu (Di Noia et al., 2025), atsevišķu grūti aptveramu ekonomisko aktivitāšu ietekmi (piemēram, saistīto un autonomo transportlīdzekļu (*connected and autonomous vehicle*) nozare Korejā (Jun et al., 2022)). Transporta jomā ielaides un izlaides pieeju izmanto, lai modelētu produktivitāti veicinošu inovāciju ieguvumus reālā starpreģionālā ielaides un izlaides sistēmā (Zofío et al., 2023), novērtētu transporta ietekmi uz ilgtspējīgu attīstību (Auzina-Emsina & Pocs, 2019), ieguldījumu transporta un loģistikas nozarē ekonomisko ietekmi (T.-J. Kim & Tromp, 2022), ražošanas izmaksu samazināšanos, ko rada garāku un smagāku transportlīdzekļu izmantošana transportējot (Zofío et al., 2023). Līdzšinējos pētījumos aplūkota ne tikai valsts, bet arī reģionālā un vietējā ietekme (Auzina-Emsina & Ozolina, 2017; Bormane et al., 2023).

Pašlaik nav vienota standartizēta rādītāja vai indeksa, kas tiktu izmantots, lai starptautiski salīdzinātu to, cik videi draudzīgi vai zaļi ir transporta pakalpojumi ES. Pētījumā par 27 ES dalībvalstīm, kurā analizēts atjaunojamās enerģijas īpatsvars kopējā enerģijas patēriņā transporta nozarē, apgalvots, ka vislabākie rezultāti ir Zviedrijā, Somijā, Nīderlandē, Luksemburgā un Igaunijā (Dolge et al., 2023). Dažos pētījumos galvenā uzmanība ir pievērsta ES klimata un enerģētikas politikas jomu novērtēšanai un ranžēšanai, jo transports ir viens no galvenajiem mērķiem, lai sasniegtu klimatneitralitātes un emisiju samazināšanas mērķus. Pētījumā, kas ietver arī valstu ranžēšanu, apgalvots, ka Zviedrija, Dānija, Austrija, Īrija, Somija, Latvija un Lietuva ir atzītas par valstīm ar labāko sniegumu ES valstu vidū (Pakere et al., 2021); citā pētījumā apgalvots, ka vislabākie Eiropas Zaļā kursa (*European Green Deal*) rezultāti ir Nīderlandē, Zviedrijā un Īrijā (Ozdemir et al., 2024a). Ziemeļvalstis īpaši izceļas ar konsekventām un stabilām stratēģijām energoilgtspējības jomā un efektīviem politikas ietvariem (Atstāja, 2025).

Piegāde pēdējā jūdzē izraisa aizvien lielāku zinātnisko interesi dažādās auditorijās. Videi draudzīgāks transports ietver pētījumus par galvenajām tendencēm, piemēram, viedo datu (*smart data*) izmantošanu un aprites ekonomiku (Vacchi et al., 2021), ilgtspējīgu mobilitāti (Tammaru et al., 2023), kā arī specifiskām, salīdzinoši inovatīvām jaunākajām tendencēm, piemēram, automobiļu koplietošanu (Vélez & Plepys, 2021), elektrisko skrejriteņu koplietošanu (Krauss et al., 2024), faktoriem, kas ietekmē koplietošanas vai personīgo elektrisko skrejriteņu lietošanu (Aguilera-García et al., 2024), gaisa mobilitātes risinājumu izmantošanu pilsētvidē (Moradi et al., 2024), dzimuma ietekmi uz risinājumu izvēli (Kawgan-Kagan, 2020), vecuma faktoru videi draudzīgākā izvēlē (Ágoston et al., 2024), kā arī mākslīgā intelekta (MI) izmantošanu pēdējās jūdzes loģistikā, lai to stiprinātu, optimizējot maršrutus (Ieva et al., 2025), sūtījumu klasificēšanai (M. Kim & Kim, 2023), piegādes ķēdes elastīguma nodrošināšanai (Modgil et al., 2022), specifisku tehnoloģiju, kā MI balstītu gudro māju tehnoloģiju, izmantošana B2C e-komercijā (Seghezzi & Mangiaracina, 2023) u. c. Videi draudzīgāka pēdējās jūdzes piegāde bieži ir saistāma ar tehniskiem,

tehnoloģiskiem, sociālekonomiskiem aspektiem un ekonomiskiem (izmaksas un ieguvumi) faktoriem un vienlaikus ar personīgiem un neekonomiskiem faktoriem.

Eiropas Zaļajam kursam tuvākajā nākotnē ir noteikti augsti un strikti definēti mērķi. Zviedrijai ir otrie labākie Eiropas Zaļā kursa rādītāji aiz Nīderlandes (Ozdemir et al., 2024b). Attiecībā uz sabiedrisko transportu, atklājot pieejamības problēmas transporta sistēmā un palīdzot plānot viedus un ilgtspējīgus mobilitātes tīklus, pilsētu teritorijās tiek pētīti jautājumi, kas saistīti ar pirmo un pēdējo kilometru (vai jūdzi) kā Stokholmā, Zviedrijā (Kåresdotter et al., 2022). Citā Zviedrijā veiktā pētījumā apgalvots, ka uzņēmuma lielumam ir nozīme, kad mazumtirgotāji izstrādā pēdējās jūdzes galīgās izpildes (*last mile back-end fulfilment, LMBF*) un pēdējās jūdzes piegādes (*LMDe*) koncepciju, savukārt pēdējās jūdzes patērētāju vadības (*last mile consumer steering, LMCS*) prakse neatšķiras atkarībā no uzņēmuma lieluma, kā rezultātā lielajiem mazumtirgotājiem ir attīstītāka *LMDe* un *LMBF* struktūra nekā to MVU konkurentiem (Risberg & Jafari, 2022). Tajā pašā laikā piegāde uz mājām bieži ir klientiem vēlamais pēdējās jūdzes piegādes veids, taču konstatēts, ka Zviedrijā trūkst piegādes uz mājām pakalpojumu (Patowary et al., 2023). Videi draudzīgāks transports ietver arī zemākas emisijas un mazāku atkarību no oglekļa dioksīda, vienlaikus ir sagaidāmi ierobežojoši politikas pasākumi, jo plašo aviopārvadājumu izmantošanu veicina to zemās izmaksas (Gössling et al., 2019). Pētījumā par savākšanas un piegādes punktiem (*collection-delivery points*) apgalvots, ka, pārvietojot 5 % savākšanas un piegādes punktus no pilsētu teritorijām uz piepilsētām un lauku teritorijām, par 22,5 % samazinās transportlīdzekļu nobraukto kilometru skaits, ko Zviedrijā izmanto kā videi draudzīgāku pēdējās jūdzes (*last-mile*) pieejas alternatīvu (C. Liu et al., 2019). Videi draudzīgāku un zaļāku transporta tehnoloģiju ieviešana ir komplekss process, kas ietver vairākas paralēlas darbības un neaprobežojas tikai ar dažiem politikas pasākumos paredzētajiem soļiem.

Lai gan esošie pētījumi sniedz vērtīgu ieskatu atsevišķu valstu sniegumā, trūkst visaptverošas analīzes par ilgtspējīgu pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģiju ieviešanas ekonomisko ietekmi dažādos reģionos. Pētījums sniedz ieguldījumu zināšanu plaisas mazināšanā, modelējot, kāda būtu tiešā un netiešā ekonomiskā ietekme uz dažādām nozarēm, ja pēdējās jūdzes pakalpojumu nodrošinātāji aizstātu pašreizējās tehnoloģijas ar citviet pasaulē jau pārbaudītām ilgtspējīgām alternatīvām.

2. Materiāli un metodes

Pētījumā analizēta ilgtspējīgu pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģiju ieviešanas ekonomiskā ietekme ES, izmantojot ielaides un izlaides analīzi. Galvenā uzmanība pievērsta pasta un kurjeru uzņēmumu (*CPA* H53) izmantotajām tehnoloģijām dažādās ES valstīs. Preču statistisko klasifikāciju pēc darbības veida (*CPA*) *Eurostat* izmanto, lai klasificētu produktus (aptverot preces un pakalpojumus) ES, un *CPA* atbilst saimnieciskajām darbībām, kas definētas Eiropas Kopienas saimniecisko

darbību statistiskajā klasifikācijā (*NACE*). Tādējādi ielaides un izlaides tabulu kopumi pa produktiem atbilst *CPA* klasifikācijai, bet pa nozarēm – *NACE* klasifikācijai. Ja piemēro homogēno jeb viendabīgo nozaru jēdzienu, tad konkrētā *NACE* nozare ražo tikai attiecīgo *CPA* produktu kategoriju. Tomēr ES šī koncepcija ir vairāk teorētiska, un mūsdienās mazāk valstu to piemēro ielaides un izlaides datu kopām, koncentrējoties uz vienu produktu pa produktiem (*product-by-product*) vai nozari pa nozarēm (*industry-by-industry*), vai salīdzinoši retākos gadījumos sagatavojot un publicējot ielaides un izlaides tabulu kopumus abos divos ietvaros. Piemēram, Latvijā pirms vairāk nekā divām desmitgadēm ielaides un izlaides datu kopa bija pēc viendabīgām nozarēm, taču šāda pieeja ir pārtraukta un vairs netiek turpināta, un salīdzinoši ilgu laiku tika piemērota pieeja pēc produktiem (*product-by-product*).

Pētījumā galvenā uzmanība pievērsta Latvijai, taču aplūkotas arī tādas ES valstis, kurās ir simetriska ielaides un izlaides datu kopa, piemēram, Beļģija, Čehija, Vācija, Igaunija, Igaunija, Īrija, Grieķija, Spānija, Francija, Horvātija, Itālija, Kipra, Latvija, Lietuva, Ungārija, Austrija, Portugāle, Slovēnija, Slovākija, Slovākija, Zviedrija. Polija pētījuma ietvarā netika iekļauta, jo salīdzinošajā ielaides un izlaides datu kopā nebija pieejami dati par nozari, kas ir pētījuma pamata fokuss (pasta un kurjeru pakalpojumi). Iemesls ir datu nepublicēšana, lai nodrošinātu konfidencialitāti, jo H53 grupā darbojas pārāk maz uzņēmumu. Pamatojoties uz veikto literatūras apskatu, par salīdzinošajām valstīm ar videi draudzīgu, zaļāku un ilgtspējīgu transporta nozari, tostarp pasta un kurjeru pakalpojumiem, tiek uzskatītas Zviedrija, Somija, Nīderlande un Dānija, jo tās ir valstis ar spēcīgu enerģētikas politiku un ilgtspējīgāku pašreizējo darbību ES. Tā kā Somijai, Nīderlandei un Dānijai ir nozaru (*industry-by-industry*), bet ne produktu (*product-by-product*) dimensijas ielaides un izlaides datu kopas, tad par salīdzinošo jeb mērķa līmeņa (*benchmark*) valsti izvēlēta Zviedrija. Starptautiskam salīdzinājumam izvēlētas Francija un Vācija (lai pārstāvētu lielās ekonomikas), Latvija, Lietuva un Igaunija (lai nodrošinātu salīdzināmību reģionālā un ekonomikas lieluma ziņā) un Zviedrija.

Pētījumā izmantoti simetriskie 2020. gada ielaides un izlaides dati; tikai dažas valstis ir publicējušas datu kopas par jaunākiem periodiem, piemēram, 2021. un 2022. gadu. Simetrisko ielaides un izlaides tabulu sagatavošanai un publicēšanai nepieciešams papildu laiks. Obligāta prasība ir tās publicēt trīs gadu laikā pēc pārskata perioda beigām, un tas nav retāk kā reizi piecos gados. Daudzas ES valstis datus publicē ik pēc pieciem gadiem.

Izvērtēšanas un modelēšanas soļi

1. Padziļināta visu ES valstu tiešo izmaksu galveno elementu analīze, par kurām ir pieejami dati, H53 tiešo izmaksu koeficientu starptautiskā analīze (aptverot 19 ES valstis), izvēlēto mērķa līmeņa valstu pamatojums reģionālajai konverģencei, kā arī izvēlētās mērķa līmeņa valsts atkārtots novērtējums attiecībā uz jau esošajām zaļākām pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģijām.

2. Latvijas ielaides un izlaides modeļa (Auzina-Emsina, 2024a) (pieprasījuma puses virzīts modelis) izstrāde, kalibrēšana, atjaunināšana un pilnveide, lai modelētu rādītājus (nodrošinot, ka izmantojami koriģētie (saskaņā ar scenāriju nosacījumiem) tiešo izmaksu koeficienti un arī pievienotās vērtības koeficienti), un modeļa kalibrēšana 2020. gada datiem. Papildus tiek definēti scenāriju skaits un nosacījumi.
3. Reģionālās tehnoloģiskās konverģences modelēšana pasta un kurjeru pakalpojumiem (H53) Latvijā – lielāks pieprasījums pēc sauszemes transporta pakalpojumiem (+10 %), pasta un kurjeru pakalpojumiem (+10 %) un līdz ar to arī pēc elektroenerģijas (+10 %), bet mazāks pieprasījums pēc noliktavu un uzglabāšanas pakalpojumiem un palīgpakalpojumiem (–5 %) digitālo risinājumu un efektīvāku tehnoloģiju dēļ (1. scenārijs). Galvenā uzmanība pievērsta pievienotās vērtības rādītājam. Rezultāti ir aprēķināti absolūtās vērtībās, un ir aprēķinātas relatīvās izmaiņas procentos.
4. Reģionālās tehnoloģiskās konverģences modelēšana pasta un kurjeru pakalpojumiem (H53) Latvijā – ievērojams relatīvais pieprasījuma samazinājums pēc naftas produktiem (–3 %) un mazāk gaisa transporta pakalpojumu (–2 %), ko ietekmē emisiju ierobežojumi un gaisa pasažieru pārvadājumu biļešu cenu pieaugums, grūti sasniedzams mērķa līmenis vides (ES jaunā Zaļā kursa kontekstā) dēļ, sauszemes transporta plašāka izmantošana un glokalizācija (*glocalisation*), šajā pētījumā ar to saprotot ražošanas jaudu izvietošanu tuvāk patērētājiem, īsākus transportēšanas attālumus (mazāk tiek izmantots gaisa transports, vairāk sauszemes transports, jo ūdens transports ir salīdzinoši mazāk piemērots plaša spektra produktu pārvadāšanai) (2. scenārijs).
5. Reģionālās tehnoloģiskās konverģences modelēšana, ja pasta un kurjeru pakalpojumu uzņēmumi (H53) Latvijā pārņem esošas tehnoloģijas, ko jau izmanto Igaunijā, pārējo produktu un pakalpojumu tiešo ieguldījumu koeficienti paliek nemainīgi (mainās tikai H53), kā rezultātā rodas ietekme uz 64 saimnieciskās darbības uzņēmumu izlaidi, pievienoto vērtību un galapatēriņu (3. scenārijs).
6. Reģionālās tehnoloģiskās konverģences modelēšana ar esošo tehnoloģiju Lietuvā (4. scenārijs).
7. Reģionālās tehnoloģiskās konverģences modelēšana ar esošo tehnoloģiju Zviedrijā, jaunākie ielaides un izlaides dati ir par 2022. gadu (5. scenārijs).
8. Izmantota augšupējā summējošā (*bottom-up*) pieeja, apkopojot 64 vērtības 20 saimniecisko darbību grupās, jo reģionālā (reģionu) tilta matrica nav pieejama 64 saimnieciskajām darbībām. Pēc tam veikti absolūto vērtību un relatīvās ietekmes uz reģionālo pievienoto vērtību aprēķini reģionos. 1. un 2. scenārija rezultāti ir par sešiem reģioniem (Rīga, Pierīga, Vidzeme, Kurzeme, Latgale, Zemgale), bet 3.–5. scenārija rezultāti ir par pieciem statistiskajiem reģioniem (Rīga, Vidzeme, Kurzeme, Latgale, Zemgale), kas saistīts ar pētījuma ilgumu un izmaiņām reģionu iedalījumu datu publicēšanas ietvarā.

Pētījuma metodoloģija ietver klasisko ielaides un izlaides analīzi, kas balstīta klasiskajā identitātes vienādojumā, ka ekonomikā konkrētā laika periodā kopējais piedāvājums ir identisks kopējam izlietojumam. Līdz ar to arī izstrādātais ielaides un izlaides modelis balstās tajā, ka kopējais piedāvājums ir identisks kopējam izlietojumam. Jebkurš piegādātais produkts ir iekšzemē ražots (X_j) vai importēts ($IM_{(i)}$), savukārt jebkurš pieprasītais (jeb patērētais produkts) tiek patērēts starppatēriņā (X_{ij}) vai galapatēriņā (Y_i) iekšzemē vai eksportēts, atņemot importēto vērtību (citiem vārdiem sakot, neto galapatēriņa vērtība). Katra produkta (preces vai pakalpojuma) izmaksu struktūru veido citu nozaru produktu izmaksas (starppatēriņa izdevumi X_{ij}) un pievienotā vērtība (1. formula):

$$X_j = \sum X_{ij} + VA_j, \tag{1.}$$

kur X_j – j nozares izlaide;

X_{ij} – i produktu starppatēriņš j nozarē;

VA_j – j nozares pievienotā vērtība.

Tiešo izmaksu koeficienti ilustrē konkrētās tautsaimniecības nozares izmaksu vektoru, t. i., kādi un cik daudz citu nozaru produktu un maksājumu par darbaspēku, kapitālu un citiem ražošanas resursiem ir nepieciešami, lai saražotu vienu konkrētās nozares produktu vienību, atspoguļojot tehnoloģiskās prasības (A_{ij}) (2. formula):

$$A_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_i}, \tag{2.}$$

kur $X_{(ij)}$ – i produktu starppatēriņš ar j produktu;

VA_j – j produkta pievienotā vērtība.

Salīdzinot tiešo izmaksu koeficientus dažādās valstīs, kurās izmanto vienu un to pašu metodoloģiju (*product-by-product*), konstatētas tehnoloģiju un tehnoloģisko prasību atšķirības. Pievienotās vērtības koeficientus $v_{(j)}$ aprēķina kā attiecību pret nozaru izlaidi (3. formula):

$$v_j = \frac{V_{Aj}}{X_j}, \tag{3.}$$

Modelēto izlaidi aprēķina pēc 4. formulas:

$$\hat{X}_i = \left(I - A_{ij}\right)^{-1} * FD_i, \tag{4.}$$

kur $\hat{X}_i$ – aprēķinātā (modelētā) i produkta produkcija;

$\left(I - A_{ij}\right)^{-1}$ – pilno izmaksu (Leontjeva apgrieztā) matrica;

FD_i – i produkta neto galapatēriņš.

Modelēto pievienoto vērtību aprēķina ar apvērstu 3. formulu, izmantojot aprēķināto izlaidi un pievienotās vērtības koeficientus. Pēc tam pievienoto vērtību apkopo, summējot 20 galvenajās ekonomiskajās darbībās, un tad aprēķina ietekmi uz reģionālo attīstību.

Jāakcentē, ka jebkuru ekonomikā saražoto produktu atkarībā no dažādiem faktoriem var izmantot citu produktu ražošanā (kā starpprodukts), patērēt (kā galaprodukts), ieguldīt, eksportēt (kā eksporta produktu) (5. formula):

$$X_i = \sum X_{ij} + FD_i + I_i + EX_i - IM_i, \quad (5.)$$

kur FD_i – mājsaimniecību un valdības galapatēriņš (ieskaitot krājumu izmaiņas);

I_i – investīcijas (jeb bruto kapitālieguldījumi);

EX_i – eksports;

IM_i – imports.

Neatkarīgi no tā, kādā aspektā tiek aplūkota saimnieciskā darbība, nozaru izlaide ir vienāda:

$$X_i = X_j. \quad (6.)$$

Videi draudzīgākas pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģijas piemērošanas ietekme ir modelēta, aizstājot pašreizējo a_i kā vektoru pasta un kurjeru pakalpojumu darbībām ar scenāriju nosacījumiem.

Lai novērtētu videi draudzīgāku tehnoloģiju ietekmi, tiek uzskatīts, ka bāzes scenārija modelēšanā tehnoloģija tiek mainīta, bet galapatēriņa elementi saglabāti nemainīgi. Pēc tam pievienotā vērtība ir pievienotās vērtības koeficienta un izlaides reizinājuma aprēķina lielums:

$$VA_j = v_j \times X_j. \quad (7.)$$

Ir iespējams modelēt arī izmaiņas nozares tehnoloģijās (izmaiņas tiešo izmaksu koeficientu A_{ij} vērtībās) vai izmaiņas pievienotās vērtības daļā, tādējādi aprēķinos izmantojot atbilstošās pievienotās vērtības koeficientu vērtības. Papildinot modeli ar saimnieciskās darbības reģionālo sadalījumu, tiek aprēķināta arī reģionālā ietekme. Reģionu detalizāciju nosaka aktuālā datu pieejamība, kas pamatā balstās *NUTS 3* klasifikācijā.

Visos scenārijos pieņemts, ka transporta patēriņa pamatveids un rutīna ir nemainīga, un izmaiņas tehnoloģijās notiek pakāpeniski, bez ātras esošo modeļu nomaiņas vai atteikšanās no tiem. Kopumā sabiedrībā tiek pieņemts, ka pārmaiņas notiek ilgtermiņā, virzoties uz zaļāku, videi draudzīgāku, ilgtspējīgāku ekonomiku, tostarp zaļāku loģistiku. Pārējie parametri (piemēram, reģionālās ekonomiskās aktivitātes sadalījums pēc *NUTS 3* līmeņa un ekonomiskās aktivitātes pēc pilsētu un lauku tipoloģijas klasifikācijas u. c.) paliek nemainīgi.

3. Pētījuma rezultāti un zinātniskā diskusija

Padziļinātu ES valstu salīdzinājumu pa *NACE 64* nozarēm iespējams veikt, balstoties simetriskajās ielaides un izlaides tabulās, kas lielā darba apjoma dēļ lielākoties tiek publicētas ilgākā laikā pēc pārskata perioda beigām. Pētījuma laikā sākotnēji kā jaunākās tabulas vairumam ES valstu bija pieejamas tikai 2015. gada tabulas, kas tika aizstātas ar 2020. gada tabulu kopumu. Atsevišķas ES valstis (tostarp Zviedrija) publicē šo informāciju biežāk nekā reizi piecos gados, un par tām ir pieejams plašāks informācijas apjoms.

Pasta un kurjeru pakalpojumi ES 2020. gadā vidēji radīja 0,44 eiro pievienoto vērtību uz 1 eiro produkcijas izlaidē. Starp ES un eirozonas vidējo rādītāju ir salīdzinoši neliela atšķirība (sk. 1.1. tabulu). Pievienotās vērtības koeficientu *vj* diapazons ilustrē pasta un kurjeru pakalpojumu daudzveidību 19 ES valstīs, kuras aptver simetriskais datu kopums pa produktiem (*product-by-product*). Izteikti augsta pievienotā vērtība uz vienu saražoto izlaides vienību bija Horvātijā (0,855), ko galvenokārt noteica ārkārtīgi augstā darbinieku atalgojuma daļa (0,513) un darbības bruto ienese un jauktais ienākums (0,334) uz vienu saražoto vienību. Ungārijā, Īrijā, Kiprā, Grieķijā un Francijā pievienotās vērtības koeficienti bija robežās no 0,630 līdz 0,536, tomēr nav pierādījumu, kas ļautu apgalvot, ka pastāv kopīgas iezīmes attiecībā uz ienākuma un darbinieku atlīdzības attiecību pret saražoto produkciju. Divu izlašu *t* testa rezultāti liecina par statistiski nozīmīgu atšķirību starp pirmās grupas valstu un pārējo valstu vidējiem rādītājiem. Vienpusējā *p* vērtība ir 0,0051, divpusējā *p* vērtība ir 0,0102. Abas ir zem kritiskajām vērtībām, kas apstiprina novēroto atšķirību nozīmīgumu. Tomēr nav statistiski nozīmīgu atšķirību starp otro un trešo grupu, kas izveidotas, iedalot pārējās valstis divās grupās. Otrajā grupā, kurā ir valstis, kuru sadalījums ir tuvs vidējam rādītājam, (Slovēnija, Zviedrija, Austrija, Portugāle, Lietuva, Čehija un Slovākija) arī ir viendabīgāks sadalījums. Trešajā grupā (Spānija, Latvija, Beļģija, Vācija, Itālija, Igaunija un Vācija) ir ievērojami lielāks starppatēriņa resursu relatīvais izmantojums un līdz ar to mazāka pievienotā vērtība uz saražotās produkcijas vienību. Pievienotā vērtība uz produkcijas izlaides vienību (pievienotās vērtības koeficienti) pasta un kurjeru pakalpojumu nozarē laika gaitā ir nestabila, piemēram, Zviedrijā koeficients ir samazinājies no 0,512 2019. gadā līdz 0,409 2022. gadā (2021. gadā – 0,477 (sk. 1.1. tabulu)).

Lai radītu vienu pievienotās vērtības vienību, vidēji ES ir jāizlieto 1,24 vienības starppatēriņam, t. i., jāizlieto citi produkti un pakalpojumi. Datu analīze parāda, ka vidējā starppatēriņa attiecība pret pievienoto vērtību būtiski svārstās, rezultējoties datu izkliedē ap vidējo vērtību. Viszemākā vērtība ir 0,17 (Horvātijā), visaugstākā – 1,96 (Igaunijā), kas liecina par būtiskām šī rādītāja svārstībām. Šis rādītājs jāanalizē tikai kontekstā, un būtiski ir vērtēt konkrētās valsts specifiku vai uzskaites īpatnības, jo Horvātijai un Igaunijai ir novērojamas pārāk lielas atšķirības, kas visdrīzāk izskaidrojams tikai ar tehnoloģiju. Vēlams padziļināti aplūkot Horvātijas statistiskās uzskaites specifiku, izmantotās klasifikācijas, atsevišķu nozaru lielumu pēc uzņēmuma skaita, lai gūtu pārliecību, ka rādītājs patiesi atspoguļo šādu zemu attiecību, kas nav

raksturīga nevienā citā ES valstī. Latvija ir starp valstīm, kur vairāk nekā 1,5 eiro ir jāiztērē citu preču un pakalpojumu izlietojumam, lai radītu vienu eiro vērtu pievienoto vērtību pasta un kurjeru pakalpojumos.

1.1. tabula

Pasta un kurjeru pakalpojumu tiešo izmaksu koeficienti pa galvenajiem elementiem 2020. gadā

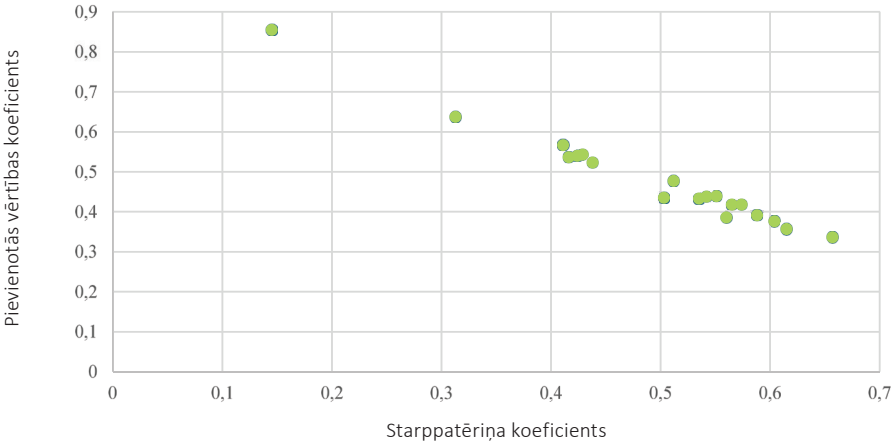
Valsts	Starppatēriņš	Darbības pārpalikums un jauktais ienākums, bruto	Darbinieku atalgojums	Pievienotā vērtība, bruto	Starppatēriņa attiecība pret pievieno vērtību (koeficients)
ES-27	0,540	0,093	0,343	0,437	1,24
Eirozona	0,543	0,091	0,343	0,434	1,25
Horvātija	0,145	0,334	0,513	0,855	0,17
Ungārija	0,313	0,156	0,465	0,630	0,50
Īrija	0,411	0,085	0,457	0,567	0,72
Kipra	0,429	0,050	0,498	0,543	0,79
Grieķija	0,424	0,211	0,367	0,540	0,79
Francija	0,416	-0,134	0,657	0,536	0,78
Slovēnija	0,438	0,081	0,473	0,523	0,84
Zviedrija*	0,512	0,072	0,341	0,477	1,07
Austrija	0,551	0,101	0,321	0,439	1,26
Portugāle	0,542	0,082	0,353	0,438	1,24
Lietuva	0,503	0,127	0,309	0,435	1,16
Čehija	0,535	0,077	0,389	0,432	1,24
Slovākija	0,574	0,096	0,318	0,418	1,37
Spānija	0,565	-0,025	0,455	0,417	1,35
Latvija	0,588	0,078	0,310	0,391	1,50
Beļģija	0,560	0,081	0,314	0,386	1,45
Vācija	0,604	0,093	0,284	0,376	1,61
Itālija	0,615	-0,034	0,385	0,357	1,72
Igaunija	0,657	0,104	0,248	0,336	1,96

* 2021. gada dati; 2020. gada dati *Eurostat* nav pieejami.

Avots: autores aprēķini, pamatojoties uz (Eurostat, 2024c).

Tā kā starppatēriņa koeficientam palielinoties, samazinās pievienotās vērtības koeficients, tad šajā datu kopā ir spēcīga negatīva korelācija (–0,99) (sk. 1.1. attēlu).

Līdz ar to, ja valsts politikas mērķis ir veicināt augstākas relatīvās pievienotās vērtības risinājumus un tehnoloģijas, tad pasta un kurjeru pakalpojumu nodrošināšanā, pārskatot esošās tehnoloģijas, ir jāsamazina nepieciešamība pēc citu nozaru produkcijas un paļaušanās uz to.



1.1. attēls. **Starppatēriņa un pievienotās vērtības koeficienta korelācija Eiropas Savienībā 2020. gadā.**

Vācijā, Francijā un Zviedrijā tiek uzskatīts, ka transporta un arī pasta un kurjeru pakalpojumi ir videi draudzīgāki (*CPA* H53) nekā citviet ES. Tiešo izmaksu elementu analīze liecina, ka šajās valstīs vairāk tiek izmantoti telekomunikāciju (J61), datorprogrammēšanas (J62_J63) un noliktavu pakalpojumi (H52), salīdzinot ar Latviju, Igauniju un Lietuvu, kur dominē pašas pakalpojumu nozares konkurentu pakalpojumi (H53).

Aprēķinātie tiešo izmaksu koeficienti pasta un kurjeru pakalpojumu darbības jomā 17 valstīm (sk. 1.2. tabulu) ļauj secināt, ka pievienotās vērtības īpatsvars vienā saražotajā izlaides vienībā (pievienotās vērtības attiecība pret izlaidi) (v_j) būtiski atšķiras vismaz trīs apakšgrupās:

- **augsta** pievienotā vērtība produkcijai (Horvātija, Ungārija, Francija, Īrija, Kipra, Slovēnija, Slovēnija, Zviedrija);
- **vidēja** pievienotā vērtība produkcijai (Austrija, Portugāle, Lietuva, Čehija, Slovākija, Spānija);
- **zema** pievienotā vērtība produkcijai (Latvija, Vācija, Itālija, Igaunija).

Latvijā, lai saražotu vienu eiro vērtīgu pasta un saimnieciskās darbības produktu, 0,59 eiro tiek iztērēti citiem produktiem un pakalpojumiem un 0,02 eiro – produktu nodokļiem; pievienotā vērtība ir salīdzinoši zema – 0,38 eiro, un tā ir zemāka par vidējo rādītāju valstī 2020. gadā (0,49).

1.2. tabula

Pasta un kurjeru saimnieciskās darbības (H53) tiešo izmaksu koeficienti ES* valstīs 2020. gadā

	A_B	C_E	F	G	H	I_U	IC	Nodokļi**	Pievienotā vērtība	Izlaide
Horvātija	0,000	0,015	0,000	0,006	0,099	0,024	0,145	0,000	0,855	1,000
Ungārija	0,002	0,058	0,002	0,032	0,077	0,142	0,313	0,058	0,630	1,000
Francija	0,000	0,066	0,003	0,016	0,070	0,203	0,358	0,045	0,597	1,000
Īrija	0,000	0,039	0,000	0,015	0,169	0,137	0,411	0,022	0,567	1,000
Kipra	0,000	0,086	0,006	0,029	0,106	0,204	0,431	0,028	0,541	1,000
Slovēnija	0,001	0,034	0,004	0,019	0,275	0,105	0,438	0,039	0,523	1,000
Zviedrija***	0,000	0,028	0,008	0,033	0,172	0,236	0,477	0,011	0,512	1,000
Austrija	0,000	0,020	0,015	0,008	0,409	0,098	0,551	0,010	0,439	1,000
Portugāle	0,000	0,020	0,008	0,005	0,392	0,117	0,542	0,020	0,438	1,000
Lietuva	0,000	0,069	0,003	0,012	0,261	0,146	0,503	0,062	0,435	1,000
Čehija	0,005	0,054	0,012	0,023	0,309	0,132	0,535	0,033	0,432	1,000
Slovākija	0,001	0,037	0,005	0,011	0,427	0,092	0,574	0,008	0,418	1,000
Spānija	0,000	0,031	0,007	0,006	0,396	0,124	0,565	0,018	0,417	1,000
Latvija	0,000	0,037	0,001	0,009	0,337	0,204	0,588	0,021	0,391	1,000
Vācija	0,000	0,039	0,014	0,095	0,300	0,155	0,604	0,021	0,376	1,000
Itālija	0,001	0,065	0,004	0,011	0,404	0,135	0,620	0,024	0,356	1,000
Igaunija	0,001	0,044	0,008	0,030	0,428	0,145	0,657	0,006	0,337	1,000

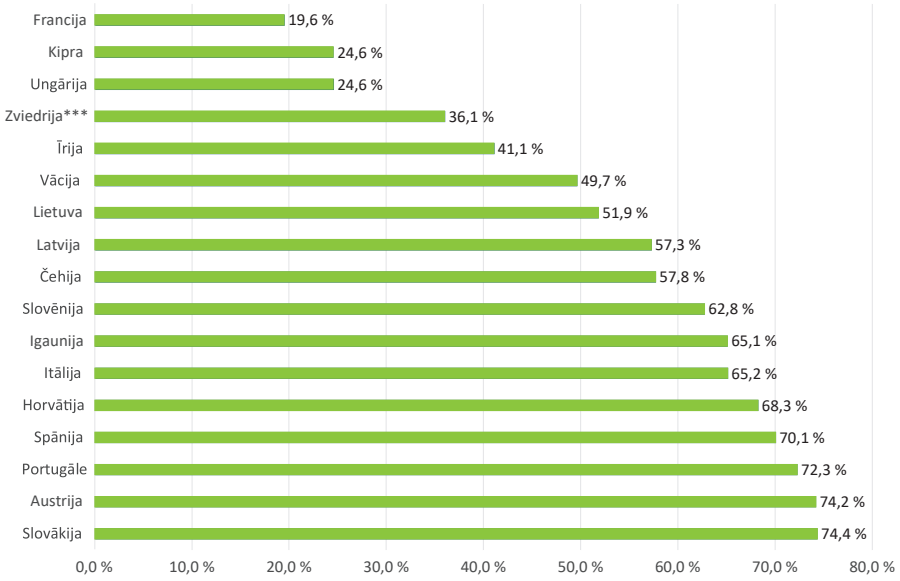
* ES valstis, kas publicē izejvielu un produkcijas tabulas, kas sagatavotas, izmantojot pieeju "produkts pret produktu" (*product-by-product*) (Eurostat).

** Nodokļi mīnus subsīdijas produktiem (D21_D31).

*** 2019. gada dati.

Avots: autores aprēķini, pamatojoties uz (Eurostat, 2025).

Latvijā pasta un kurjeru pakalpojumu sniegšanas starppatēriņa izdevumos 57,3 % veido pašas nozares pakalpojumi, kas ir tuvu vidējam līmenim ES. Tomēr atkārtoti jāakcentē, ka, piemēram, Slovākijā, Austrijā, Portugālē attiecīgi 74,4 %, 74,2 % un 72,3 % no starppatēriņa izdevumiem ir par savas nozares pakalpojumiem, ko sniedz iekšzemes vai ārvalstu konkurenti, savukārt zemākais īpatsvars ir Francijā, Kiprā un Ungārijā – attiecīgi 19,6 %, 24,6 % un 24,6 % (sk. 1.2. attēlu). Pirmajā grupā norādītajās valstīs uzņēmumi ir specializēti un līdz ar to atkarīgi no citiem uzņēmumiem, savukārt otrās grupas valstis ir pašpietiekamas un nepaļaujas, ka nepieciešamos pakalpojumus nodrošinās konkurenti, tos pamatā nodrošinot paši.



1.2. attēls. **Pašas nozares (pasta un kurjeru pakalpojumi) daļa starppatēriņā Eiropas Savienībā 2020. gadā.**

No tā izriet nepieciešamība modelēt ekonomisko efektu, ja Latvijā tiktu lietota videi draudzīgāka (no rūpniecības un patērētāju viedokļa) tehnoloģija, kas ir iespējama reālos apstākļos (jau eksistē līdzīgā etalonvalstī jeb mērķa līmeņa valstī), tāpēc par mērķa līmeņa valsti ir izvēlēta Zviedrija.

Modelēšanas procesā tika novērtēti pieci izstrādātie potenciālie attīstības scenāriji, novērtēšanu veicot divās grupās: 1. un 2. scenārijs nosaka noteiktas sagaidāmas un plānotas izmaiņas, savukārt 3., 4. un 5. scenārijs ir saistīti ar konkrētu esošo tehnoloģiju aizvietošanu pasta un kurjeru pakalpojumos ar citu tehnoloģiju, kas jau tiek izmantota un uzskatāma par zaļāku, ilgtspējīgāku nekā esošā tehnoloģija. Šis pētījums fokusējas uz reālu tehnoloģiju pārnesi, mazāk uzmanības veltot teorētiski iespējamām vai inovatīvām tehnoloģijām, kas ir pieejamas šauram lokam vai vispār vēl praksē nav pieejamas uzņēmumiem saimnieciskai darbībai.

Modelēšanas rezultāti 1. un 2. scenārijam liecina, ka ietekme uz nozarēm ir gan pozitīva (palielinās pieprasījums pēc konkrētiem produktiem vai pakalpojumiem), gan negatīva (samazinās pieprasījums).

Modelēšanas rezultāti 1. scenārijam liecina par ievērojamu ekonomisko ietekmi, ko rada modelēto videi draudzīgāku pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģiju ieviešana, jo īpaši palielinot pieprasījumu vairākās nozarēs. Visizteiktākās izmaiņas vērojamas sauszemes transporta pakalpojumu un cauruļvadu transporta (H49) jomā, kur vērojams 7,0 % pieaugums (sk. 1.3. tabulu). Tas liecina par kompleksu pāreju vai papildu pieprasījumu, ko rada efektīvāka pēdējās jūdzes loģistika, iespējams, pateicoties tam, ka ir lielāka paļaušanās uz elektriskajiem vai hibrīda piegādes

transportlīdzekļiem un optimizētiem maršrutiem. Ieguves rūpniecībā un karjeru izstrādē (B) vērojams 5,2 % pieaugums, kas, ticamāk, atspoguļo pieaugošo pieprasījumu pēc izejvielām, ko izmanto ar transportu saistītas infrastruktūras būvniecībā. Līdzīgi arī elektroenerģijas, gāzes, tvaika un gaisa kondicionēšanas apgāde (D) pieaug par 3,7 %, kas atbilst pieaugošajai transporta sistēmu elektrifikācijai un digitālo loģistikas platformu pieaugošajām enerģijas vajadzībām. Ievērojama izaugsme vērojama arī apstrādes rūpniecības nozarēs: gumijas un plastmasas izstrādājumu (C22) (+2,6 %); ķīmisko vielu un ķīmisko produktu (C20) (+2,2 %); parasto metālu (C24) (+2,1 %) un mehānisko transportlīdzekļu, piekabju un puspiekabju (C29) (+2,0 %). Šie pieaugumi atspoguļo materiālās prasības, kas saistītas ar videi draudzīgāku transporta līdzekļu un ar tiem saistītās infrastruktūras ražošanu un uzturēšanu. Jāatzīmē, ka arī pasta un kurjeru pakalpojumi (H53) pieaug par 2,5 %, kas liecina par to, ka nozare ne tikai pielāgojas videi draudzīgākām tehnoloģijām, bet arī gūst labumu no lielākas efektivitātes un, iespējams, lielāka pakalpojumu pieprasījuma. Arī nomas un līzinga pakalpojumi (N77) pieaug par 2,3 %, kas, iespējams, ir saistīts ar pieaugošo tendenci nomāt elektriskos transportlīdzekļus un loģistikas iekārtas, nevis iegādāties tās savā īpašumā. Kopumā rezultāti liecina par pozitīvu ietekmi, kurā ilgtspējīgu pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģiju ieviešana stimulē izaugsmi gan tiešajās nozarēs, gan palīgnozarēs un netieši saistītās nozarēs, balstoties starpnozaru saiknēs. Šie secinājumi uzsver to, cik svarīgi ir izmantot integrētas politikas pieejas, kurās ņemtas vērā nozaru savstarpējās atkarības, veicinot pāreju uz videi draudzīgu tehnoloģiju un risinājumu izmantošanu.

1.3. tabula

Lielākā modelētā ietekme uz nozares darbības rezultātiem 1. scenārijā (izmaiņas, %)

Kods	Produkts/pakalpojums (*CPA* kods)	Izmaiņas, % (salīdzinājumā ar situāciju pirms scenārija)
H49	Sauszemes transporta pakalpojumi un cauruļvadu transporta pakalpojumi	7,0
B	Ieguves rūpniecība un karjeru izstrāde	5,2
D	Elektrība, gāze, tvaiks un gaisa kondicionēšana	3,7
C22	Gumijas un plastmasas izstrādājumi	2,6
H53	Pasta un kurjeru pakalpojumi	2,5
N77	Nomas un līzinga pakalpojumi	2,3
C20	Ķīmiskās vielas un ķīmiskie produkti	2,2
C24	Pamata metāli	2,1
C29	Mehāniskie transportlīdzekļi, piekabes un puspiekabes	2,0

Kopējais tautsaimniecības izlaides apjoms palielinās par 0,8 % (sk. 1.4. tabulu), un vislielākais pieaugums ir vairumtirdzniecībā un mazumtirdzniecībā, transporta, izmitināšanas un ēdināšanas pakalpojumu nozarē (G–I) +1,7 %, kas atspoguļo tehnoloģiju uzlabojumu tiešo ietekmi. Rūpniecība plašākā izpratnē, apvienojot ieguves, apstrādes un enerģijas ražošanu, (B–E) pieaug par 1,3 %, ko veicina pieaugošais pieprasījums pēc transporta iekārtām, materiāliem un enerģijas. Arī profesionālie un administratīvie pakalpojumi (M–N) palielinās (+0,8 %), pateicoties atbalsta funkcijām digitālās un darbības pārveides jomā. Citās nozarēs, piemēram, informācijas un komunikācijas (J), finanšu pakalpojumu (K) un būvniecības (F), vērojams neliels pieaugums, savukārt sabiedrisko pakalpojumu (O–Q) un mākslas un atpūtas (R–U) nozares neietekmē, liecinot par ierobežotu tiešu loģistikas inovāciju ietekmi. Šie rezultāti liecina, ka, lai gan kopējā ekonomiskā ietekme ir mērena, pāreja uz videi draudzīgāku loģistiku stimulē daudzas nozares, jo īpaši tās, kas cieši saistītas ar transporta, tirdzniecības un rūpniecības piegādes ķēdēm.

1.4. tabula

Modelētā ietekme uz *NACE* nozarēm 1. scenārijā (izmaiņas, %)

Kods	Nozare	Izmaiņas, % (salīdzinājumā ar situāciju pirms scenārija)
A	Lauksaimniecība, mežsaimniecība un zivsaimniecība	0,2
B–E	Rūpniecība (izņemot būvniecību)	1,3
F	Būvniecība	0,3
G-I	Vairumtirdzniecība un mazumtirdzniecība; transports; izmitināšana un ēdināšanas pakalpojumi	1,7
J	Informācija un komunikācija	0,5
K	Finanšu un apdrošināšanas darbības	0,3
L	Darbības ar nekustamo īpašumu	0,2
M–N	Profesionālā, zinātniskā un tehniskā darbība; administratīvo un apkalpojošo dienestu darbība	0,8
O–Q	Valsts pārvalde un aizsardzība; izglītība; veselības aprūpe un sociālais darbs	0,0
R–U	Māksla, izklaide un atpūta; citas apkalpojošās darbības; mājsaimniecību un ārpusteritoriālo organizāciju un struktūru darbība	0,0
	Kopā	**0,8**

Tomēr 2. scenārija rezultāti liecina par spēcīgu nozares reakciju uz pieņemtajām izmaiņām pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģijās. Vislielākā ietekme vērojama ieguves rūpniecībā un karjeru izstrādē (B), kur pieaugums ir 4,9 % (sk. 1.5. tabulu), ko, visticamāk, nosaka pieprasījums pēc izejvielām, ko izmanto transporta un infrastruktūras modernizācijā. Tūlīt pēc tam seko sauszemes transports (H49) un elektroapgāde (D), kur pieaugums ir attiecīgi 3,6 % un 3,5 %, atspoguļojot pieaugošo elektrifikāciju un loģistikas darbību. Arī pasta un kurjeru pakalpojumi (H53) pieaug par 2,4 %, liecinot par tiešu tehnoloģisko uzlabojumu ietekmi. Tādās apstrādes rūpniecības nozarēs kā ķīmiskā rūpniecība (C20), gumijas un plastmasas rūpniecība (C22), parastie metāli (C24) un mehānisko transportlīdzekļu rūpniecība (C29) vērojama mērena izaugsme (1,0–2,4 %), kas liecina par plašu rūpniecības reakciju uz videi draudzīgāku risinājumu izmantošanu loģistikā. Ievērojams arī ūdens transporta (H50) pieaugums par 2,3 %, kas potenciāli ir saistīts ar kravu novirzīšanu uz citiem transporta veidiem vai lielāku intermodālo integrāciju. Latvijā gan līdz šim ūdens transports iekšzemes piegādēm ir izmantots ierobežoti.

1.5. tabula

Būtiskākā modelētā ietekme uz nozares darbības rezultātiem 2. scenārijā (izmaiņas, %)

Kods	Ekonomiskā darbība	Izmaiņas, % (salīdzinājumā ar situāciju pirms scenārija)
B	Ieguves rūpniecība un karjeru izstrāde	4,9
H49	Sauszemes transporta pakalpojumi un cauruļvadu transporta pakalpojumi	3,6
D	Elektrība, gāze, tvaiks un gaisa kondicionēšana	3,5
H53	Pasta un kurjeru pakalpojumi	2,4
C20	Ķīmiskie produkti	2,4
H50	Ūdens transporta pakalpojumi	2,3
C22	Gumijas un plastmasas izstrādājumi	1,8
C24	Pamata metāli	1,2
C29	Mehāniskie transportlīdzekļi, piekabes un puspiekabes	1,0

Vērtējot kopējo ietekmi uz tautsaimniecību, 2. scenārija modelēšanas rezultāti liecina, ka kopējais ekonomikas izlaides pieaugums ir 0,5 % un ietekme uz dažādām nozarēm ir atšķirīga (sk. 1.6. tabulu). Rūpniecības nozarē (B–E) ir vērojams vislielākais pieaugums (+1,2 %), ko veicina pieprasījuma pieaugums pēc ražošanas izejvielām, piemēram, ķīmiskajām vielām, gumijas un transporta iekārtām. Tas saskan ar detalizētajiem nozaru rezultātiem, kur ķīmisko vielu (C20) un gumijas un plastmasas izstrādājumu (C22) pieaugums līdzīgos pieņēmumos bija attiecīgi 2,4 % un 1,8 %. G–I sektors, kas ietver vairumtirdzniecību un mazumtirdzniecību, transportu, izmitināšanu un ēdināšanas pakalpojumus, pieaug par 0,9 %. Tas atspoguļo uzlabotās piegādes tehnoloģiju efektivitātes tiešo ietekmi un pasta un kurjeru pakalpojumu (H53) un sauszemes transporta (H49) aktivitātes pieaugumu, kas dezagregētajos (apakšnozaru līmenī) rezultātos pieauga attiecīgi par 2,4 % un 3,6 %.

Šie rezultāti liecina, ka videi draudzīgāka pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģijas ne tikai uzlabo rezultātus vides jomā, bet arī stimulē noteiktu komercdarbību un loģistiku. Profesionālie, zinātniskie un administratīvie pakalpojumi (M–N) pieaug par 0,5 %, ko, iespējams, noteica augošais pieprasījums pēc digitālajiem risinājumiem, modelēšanas un atbalsta pakalpojumiem, kas saistīti ar loģistikas optimizāciju. Līdzīgi, informācijas un komunikācijas (J) pieaug par 0,3 %, liecinot par IKT nozīmi viedāku piegādes sistēmu nodrošināšanā. Tādās nozarēs kā lauksaimniecība (A), būvniecība (F), finanšu pakalpojumi (K) un nekustamais īpašums (L) vērojams neliels pieaugums 0,2–0,3 % apmērā, kas liecina par netiešiem ieguvumiem, izmantojot piegādes ķēdes saiknes un infrastruktūras attīstību. Piemēram, būvniecības aktivitātes pieaugums var būt saistīts ar noliktavu un loģistikas centru paplašināšanos. Turpretī sabiedriskie pakalpojumi (O–Q) un māksla un atpūta (R–U) paliek neietekmēti (0 % pārmaiņas), liecinot par ierobežotu tiešu ietekmi uz tehnoloģiskajām pārmaiņām loģistikā. Tas norāda uz pārejo nozaru specifisko raksturu, kur privātās un uz ražošanu orientētās nozares ir jutīgākas. Kopumā rezultāti uzsver, ka zaļāku pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģiju ieviešana dod labumu vairākām nozarēm un vislielākā ietekme vērojama rūpniecībā un ar tirdzniecību saistītajās nozarēs, savukārt sabiedrisko un kultūras pakalpojumu nozarē ietekme saglabājas stabila. Šie secinājumi pamato mērķtiecīga politikas atbalsta nepieciešamību nozarēs, kurās ir augsta atsaucība un potenciāls videi nekaitīgai izaugsmei.

1.6. tabula

Modelētā ietekme uz *NACE* nozarēm 2. scenārijā (izmaiņas, %)

Kods	Nozare	Izmaiņas, % (salīdzinājumā ar situāciju pirms scenārija)
A	Lauksaimniecība, mežsaimniecība un zivsaimniecība	0,2
B–E	Nozare	1,2
F	Būvniecība	0,2
G–I	Vairumtirdzniecība un mazumtirdzniecība; transports; izmitināšana un ēdināšanas pakalpojumi	0,9
J	Informācija un komunikācija	0,3
K	Finanšu un apdrošināšanas darbības	0,2
L	Darbības ar nekustamo īpašumu	0,2
M–N	Profesionālā, zinātniskā un tehniskā darbība; administratīvo un apkalpojošo dienestu darbība	0,5
O–Q	Valsts pārvalde un aizsardzība; izglītība; veselības aprūpe un sociālais darbs	0,0
R–U	Māksla, izklaide un atpūta; citas apkalpojošās darbības; mājsaimniecību un ārpusteritoriālo organizāciju un struktūru darbība	0,0
	Kopā	**0,5**

Reģionālās modelēšanas rezultāti liecina, ka abi pirmie modelētie scenāriji – 1. scenārijs un 2. scenārijs – rada pozitīvu ekonomisko ietekmi visos Latvijas *NUTS* 3 reģionos, lai gan ar atšķirīgu intensitāti (sk. 1.7. tabulu). 1. scenārijs uzrāda spēcīgāku kopējo ietekmi, jo vidējais pieaugums valstī ir 0,77 %, salīdzinot ar 0,51 % pieaugumu 2. scenārijā. Lielākais reģionālais pieaugums 1. scenārijā vērojams Pierīgā (+0,85 %), kam seko Kurzeme (+0,79 %) un Rīga (+0,76 %). Tas liecina, ka reģionos ar lielāku loģistikas aktivitāti un infrastruktūras blīvumu videi draudzīgāka pēdējās jūdzes tehnoloģiju ieviešana dod lielāku labumu.

2. scenārijā reģionālā ietekme ir mērenāka, bet joprojām pozitīva visos reģionos. Pierīga atkal ir līderis ar 0,58 % pieaugumu, tai seko Zemgale un Kurzeme (abas +0,55 %). Salīdzinoši mazāks pieaugums Rīgā (+0,48 %) un Latgalē (+0,52 %) var atspoguļot atšķirības ekonomikas struktūrā, loģistikas intensitātē vai tehnoloģiskajā gatavībā. Konsekventā pozitīvā ietekme visos reģionos abos scenārijos uzsver ilgtspējīgas loģistikas pārveides plašo reģionālo potenciālu. Tomēr ietekmes apjoms nepārprotami ir atkarīgs no scenārija, un 1. scenārijs piedāvā lielāku stimulu, kas, iespējams, ir saistīts ar agresīvākiem pieņēmumiem par pieprasījuma izmaiņām

un tehnoloģiju ieviešanu. Šie secinājumi uzsver reģionāli pielāgotu politikas pasākumu nozīmi, lai maksimāli palielinātu zaļās loģistikas ieguvumus, jo īpaši tādos augsta potenciāla reģionos kā Pierīga un Kurzeme, vienlaikus nodrošinot iekļaujošu izaugsmi relatīvi mazāk attīstītajos reģionos.

1.7. tabula

1. un 2. scenārija modelētā reģionālā ietekme (izmaiņas, %) sešos reģionos

Scenārijs/*NUTS* 3	KOPĀ	Rīga	Pierīga	Vidzeme	Zemgale	Kurzeme	Latgale
1. scenārijs	0,77	0,76	0,85	0,72	0,75	0,79	0,75
2. scenārijs	0,51	0,48	0,58	0,53	0,55	0,55	0,52

Scenāriju ietekmes modelēšanas sākumposmā (attiecīgi pēc 1. un 2. scenārija nosacījumiem) tika modelēta arī ietekme uz pilsētu un laiku reģioniem pēc pilsētu un lauku tipoloģijas. Iegūtie rezultāti apliecina, ka lielākā ietekme šādā iedalījumā ir t. s. pārejas reģioniem (*intermediate regions*) (sk. 1.8. tabulu).

1.8. tabula

1. un 2. scenārija modelētā reģionālā ietekme uz pilsētu un lauku teritorijām (izmaiņas, %), pilsētas un lauku tipoloģija *NUTS 3* līmenī

Scenārijs/ teritorija	KOPĀ	Pārsvarā urbanizēti reģioni (*Predominantly urban regions*)	Pārejas reģioni (*Intermediate regions*)	Pārsvarā lauku reģioni (*Predominantly rural regions*)
1. scenārijs	0,77	0,76	0,81	0,74
2. scenārijs	0,51	0,48	0,56	0,54

Nākamais posms (3., 4. un 5. scenārijs) ir modelēt jau esošo tehnoloģiju pārņemšanas un ieviešanas ekonomisko ietekmi citās valstīs – Baltijas jūras reģiona kaimiņvalstīs (Igaunijā, Lietuvā) un salīdzinošā valstī, kas arī ir Baltijas jūras reģiona valsts un ģeogrāfiski atrodas salīdzinoši tuvu ar līdzīgiem gadalaikiem.

Reģionālās tehnoloģiskās konverģences modelēšanas rezultāti liecina, ka, ja uzņēmumi pārņem citā valstī pastāvošās tehnoloģijas, tad Latvijas gadījumā, ja tiek apsteigtas Igaunijā lietotās tehnoloģijas (3. scenārijs), tad esošais pieprasījums rada lielāku kopējo pieprasījumu valstī (0,1 %), lielākais pieaugums ir pašu pakalpojumiem (pasta un kurjeru pakalpojumi (H53); par 12,1 %), kam seko gaisa transports (H51), izdevējdarbības pakalpojumi (J58) un poligrāfijas pakalpojumi (C18) (sk. 1.9. tabulu). Vislielākais modelētais samazinājums ir finanšu un apdrošināšanas palīgpakalpojumiem (K66) (–10,5 %), kam seko ievērojams samazinājums tekstilizstrādājumu, apģērbu, ādas un saistīto izstrādājumu (C13–C15) (–0,3 %) un nomas un līzinga pakalpojumu (N77) (–0,2 %) nozarē.

1.9. tabula

Modelēšanas rezultāti par lielāko pieprasījuma pieaugumu reģionālās tehnoloģiskās konverģences gadījumā Latvijā (3. scenārijs)

Produkts/pakalpojums (*CPA* kods)	Izmaiņas, % (salīdzinājumā ar situāciju pirms scenārija)
Pasta un kurjeru pakalpojumi (H53)	12,1 %
Gaisa transporta pakalpojumi (H51)	3,3 %
Izdevējdarbības pakalpojumi (J58)	1,3 %
Poligrāfijas un ierakstīšanas pakalpojumi (C18)	1,2 %
Parastie metāli (C24)	1,1 %
Mašīnu remonta un uzstādīšanas pakalpojumi (C33)	1,0 %

Avots: autores aprēķini; uzskaitītie rezultāti virs 1 %.

Turpmāka modelēšanas rezultātu pārbaude liecina, ka lielā importēto produktu īpatsvara un mazākās pievienotās vērtības uz vienu produkcijas vienību dēļ modelētais faktiskais pievienotās vērtības pieaugums ir ievērojami mazāks – tikai 0,01 %.

Visbūtiskākais samazinājums 3. scenārija nosacījuma apstākļos ir vērojams finanšu un apdrošināšanas pakalpojumu palīgpakalpojumos (L66), kas samazinājās par 10,5 % (sk. 1.10. tabulu). Šis straujais kritums varētu atspoguļot mazāku paļaušanos uz finanšu starpniecības un atbalsta pakalpojumiem, jo piegādes un saistītās loģistikas aktivitātes kļūst automatizētākas un digitalizētākas. Tekstilizstrādājumu, apģērbu un ādas izstrādājumu (C13_15) vērtība samazinās par 0,3 %, kas. iespējams, patērētāju pieprasījuma pārmaiņu vai šo preču transporta vajadzību samazināšanās dēļ saskaņā ar lokalizētākiem un efektīvākiem piegādes risinājumiem. Īpašnieku apdzīvoto mājokļu nosacītā īres maksa (L68) un īres un nomas pakalpojumi (N77) samazinās par 0,2 %, liecinot par nelielu ar nekustamo īpašumu saistīto darbību sarukumu, kas, iespējams, saistīts ar mainīgajām platību prasībām vai aktīvu īpašumtiesību modeļiem loģistikas nozarē. Šie rezultāti uzsver, cik svarīgi ir paredzēt nozaru specifiskos kompromisus, pārejot uz videi draudzīgākiem risinājumiem un zaļāku ekonomiku kopumā.

1.10. tabula

Modelēšanas rezultāti par lielāko pieprasījuma samazinājumu reģionālās tehnoloģiskās konverģences gadījumā Latvijā (3. scenārijs)

Produkts/pakalpojums (*CPA* kods)	Izmaiņas, % (salīdzinājumā ar situāciju pirms scenārija)
Finanšu un apdrošināšanas pakalpojumu palīgpakalpojumi (L66)	–10,5 %
Tekstilizstrādājumi, apģērbi, ādas un saistītie izstrādājumi (C13_15)	–0,3 %
Aprēķinātā īres maksa par īpašnieku apdzīvotiem mājokļiem (L68)	–0,2 %
Nomas un līzinga pakalpojumi (77)	–0,2 %

Reģionālā ietekme uz nozarēm dažādos statistikas reģionos Latvijā liecina tikai par minimālu ietekmi gan modelētās darbības nelielā relatīvā apjoma dēļ (pasta un kurjeru pakalpojumi veido 0,3 % no pievienotās vērtības), gan salīdzinoši nelielo modelēto tehnoloģisko pārmaiņu dēļ. Kopsavilkuma rezultāti par 3., 4. un 5. scenāriju Latvijas reģionālo attīstību pa statistiskajiem reģioniem apkopoti 1.16. tabulā.

Tomēr, ja uzņēmumi Latvijā pārņem Lietuvā esošās tehnoloģijas (4. scenārijs), tas rada mazāku un efektīvāku saimniecisko darbību (–0,1 %) un mazāk finanšu pakalpojumu palīgpakalpojumu (K66) (–10,9 %), gaisa transporta (H51) (–4,7 %), ķīmisko vielu un ķīmisko produktu (C20) (–0,9 %), uzglabāšanas un transporta palīgpakalpojumu (H52) (–0,7 %), nomas un līzinga pakalpojumu (N77) (–0,6 %), bet prasa vairāk papīra ražošanas (+4,6 %) un poligrāfijas pakalpojumu (+4,1 %) (sk. 1.11. tabulu).

1.11. tabula

Modelēšanas rezultāti par lielāko pieprasījuma pieaugumu reģionālās tehnoloģiskās konverģences gadījumā Latvijā (4. scenārijs)

Produkts/pakalpojums (*CPA* kods)	Izmaiņas, % (salīdzinājumā ar situāciju pirms scenārija)
Papīrs un papīra izstrādājumi (C17)	4,6 %
Poligrāfijas un ierakstīšanas pakalpojumi (C18)	4,1 %
Pasta un kurjeru pakalpojumi (H53)	1,9 %
Apsardzes un izmeklēšanas pakalpojumi; biroju administratīvie, biroju atbalsta pakalpojumi (N80–82)	0,6 %
Dalīborganizāciju sniegtie pakalpojumi (S94)	0,3 %

Avots: autores aprēķini; uzskaitītie rezultāti virs 0,3 %.

Visbūtiskākais kritums vērojams finanšu un apdrošināšanas palīgpakalpojumos, kas samazinājās par 10,9 % (sk. 1.12. tabulu). Tas liecina par būtisku pieprasījuma samazināšanos pēc finanšu starpniecības operācijām, ko, iespējams, nosaka pieaugošā automatizācija, digitālās maksājumu sistēmas un racionalizētie loģistikas procesi, kas apiet tradicionālos pakalpojumu risinājumus un pieeejas. Gaisa transporta pakalpojumi piedzīvo samazinājumu par 4,7 %, kas atspoguļo pāreju uz ilgtspējīgākiem sauszemes transporta veidiem. Tas atbilst plašākiem vides politikas mērķiem un liecina par iespējamu kravu pārvadājumu apjoma pārdali, atsakoties no gaisa transporta ar augstu emisiju līmeni. Mērens kritums vērojams arī ķīmisko vielu un ķīmisko produktu (–0,9 %), noliktavu un palīgpakalpojumu (–0,7 %), kā arī nomas un līzinga pakalpojumu (–0,6 %) nozarēs. Šos samazinājumus var skaidrot ar efektivitātes pieaugumu un mazāku atkarību no tradicionālās loģistikas infrastruktūras, jo digitālās un automatizētās sistēmas optimizē uzglabāšanu un aktīvu izmantošanu. Samazinājums vērojams arī tādās uz patērētājiem vērstās nozarēs kā ceļojumu aģentūras un rezervēšanas pakalpojumi (–0,5 %) un tekstilizstrādājumu un apģērbu ražošana (–0,5 %), iespējams, patēriņa modeļu maiņas un transporta intensitātes samazināšanās dēļ, izmantojot

lokālākus piegādes modeļus. Visbeidzot, sauszemes transporta pakalpojumi samazinās par 0,4 %, kas, iespējams, atspoguļo maršrutu efektivitātes uzlabošanos un konsolidāciju, samazinot kopējo nepieciešamo transportlīdzekļu nobraukto kilometru skaitu.

1.12. tabula

Modelēšanas rezultāti par lielāko pieprasījuma samazinājumu reģionālās tehnoloģiskās konverģences gadījumā Latvijā (4. scenārijs)

Produkts/pakalpojums (*CPA* kods)	Izmaiņas, % (salīdzinājumā ar situāciju pirms scenārija)
Finanšu pakalpojumu un apdrošināšanas pakalpojumu palīgpakalpojumi	–10,9 %
Gaisa transporta pakalpojumi	–4,7 %
Ķimikālijas un ķīmiskie produkti	–0,9 %
Noliktavu un transporta palīgpakalpojumi	–0,7 %
Nomas un līzinga pakalpojumi	–0,6 %
Ceļojumu aģentūru, tūrisma operatoru un citi rezervēšanas pakalpojumi un ar tiem saistītie pakalpojumi	–0,5 %
Tekstilizstrādājumi, apģērbi, ādas un saistītie izstrādājumi	–0,5 %
Sauszemes transporta pakalpojumi un cauruļvadu transporta pakalpojumi	–0,4 %

Pētījumā (Auzina-Emsina, 2024a), kas veikts 2024. gadā, modelējot esošās tehnoloģijas ieviešanu pasta un kurjeru pakalpojumos Latvijā no salīdzinošās valsts (Zviedrijas) un izmantojot jaunāko 2019. gada datu kopu (kas bija pieejama šajā pētījuma ieviešanas laikā), tika argumentēta minimāla, bet negatīva ietekme – 0,06 % kopējās pievienotās vērtības kritums.

Modelēšanas rezultāti liecina par spēcīgu pozitīvu ietekmi uz pasta un kurjeru pakalpojumiem (H53) – pieaugums par 7,7 % (sk. 1.13. tabulu), kas apliecina šīs nozares centrālo lomu pārejā uz videi draudzīgāku piegādi pēdējā jūdzē. Šo pieaugumu pavada 2,4 % pieaugums nodarbinātības pakalpojumos (N78), kas liecina par pieaugošu darbaspēka pieprasījumu, ko, iespējams, veicina paplašinātas loģistikas darbības. Ieguvēji ir arī digitālā un tehniskā atbalsta nozares – datorprogrammēšanas un informācijas pakalpojumi (J62_J63) pieaug par 0,6 %, savukārt arhitektūras un inženierpakalpojumi (M71) – par 0,5 %, atspoguļojot digitālo rīku un infrastruktūras plānošanas integrāciju loģistikas modernizācijā. Arī vairumtirdzniecība un mazumtirdzniecība (G45) pieaug par 0,5 %, liecinot par plašāku tirdzniecības pakalpojumu izmantošanu. Šie rezultāti uzsver ilgtspējīgas risinājumu starpnozaru ieguvumus, jo īpaši ar tehnoloģijām, darbaspēku un tirdzniecību saistītos pakalpojumos.

1.13. tabula

Modelēšanas rezultāti par lielāko pieprasījuma pieaugumu reģionālās tehnoloģiskās konverģences gadījumā Latvijā (5. scenārijs)

Produkts/pakalpojums (*CPA* kods)	Izmaiņas, % (salīdzinājumā ar situāciju pirms scenārija)
Pasta un kurjeru pakalpojumi (H53)	7,7 %
Nodarbinātības pakalpojumi (N78)	2,4 %
Datorprogrammēšanas, konsultāciju un saistītie pakalpojumi; Informācijas pakalpojumi (J62_J63)	0,6 %
Automobiļu un motociklu vairumtirdzniecība, mazumtirdzniecība un remonts (G45)	0,5 %
Arhitektūras un inženiertehniskie pakalpojumi; tehniskās testēšanas un analīzes pakalpojumi M71)	0,5 %

Scenārijā, kas modelē Zviedrijas pēdējās jūdzes piegādes tehnoloģiju ieviešanu Latvijā (5. scenārijā), vairākās nozarēs ir vērojams ievērojams pieprasījuma samazinājums (sk. 1.14. tabulu). Visnozīmīgākais samazinājums vērojams finanšu un apdrošināšanas pakalpojumu palīgpakalpojumos (K66), kas samazinās par 10,8 %. Tas liecina par būtisku finanšu atbalsta funkciju pārstrukturēšanu, ko, visticamāk, izraisījusi automatizācijas palielināšanās un loģistikas operāciju racionalizācija, kas samazina nepieciešamību pēc starpniecības pakalpojumiem. Gaisa transporta pakalpojumi (H51) samazinās par 5,5 %, atspoguļojot pāreju uz ilgtspējīgākām un lokālākām piegādes sistēmām, kas atbilst scenārija uzsvaram uz emisiju samazināšanu un īsākiem transporta attālumiem. Arī ar ražošanu saistītajās nozarēs vērojams sarukums – papīra izstrādājumu (C17) samazinājums par 1,8 %, iespējams, saistīts ar mazāku vajadzību pēc iepakojuma vai digitālo aizstājēju, savukārt nomas un līzinga pakalpojumu (N77) samazinājums par 1,6 % liecina par pāreju no tradicionālās aktīvu izmantošanas uz integrētākiem vai koplietošanas loģistikas risinājumiem.

1.14. tabula

Modelēšanas rezultāti par lielāko pieprasījuma samazinājumu reģionālās tehnoloģiskās konverģences gadījumā Latvijā (5. scenārijs)

Produkts/pakalpojums (*CPA* kods)	Izmaiņas, % (salīdzinājumā ar situāciju pirms scenārija)
Finanšu un apdrošināšanas pakalpojumu palīgpakalpojumi (K66)	–10,8 %
Gaisa transporta pakalpojumi (H51)	–5,5 %
Papīra izstrādājumi (C17)	–1,8 %
Nomas un līzinga pakalpojumi (N77)	–1,6 %

Tomēr jāatzīmē, ka pētījuma izstrādes gaitā tika izmantoti modelēšanas procesā aktuālākie un jaunākie pieejamie dati, līdz ar to atjauninātais modelis, izmantojot 2022. gada datus par Zviedrijas pasta un kurjeru pakalpojumiem, liecina par jutīgumu pret tehnoloģisko tiešo izmaksu koeficientu un pievienotās vērtības koeficientu izmaiņām, un modelētā ietekme uz kopējo izlaidi un arī pievienoto vērtību ir palielinājums par 0,02 % (sk. 1.15. tabulu).

Apkopotais salīdzinājums par ietekmi uz nozari, ja Latvijas pasta un kurjeru pakalpojumu uzņēmumos reāli tiek pārņemtas un lietotas esošās tehnoloģijas, liecina, ka ietekme uz nozari ir atšķirīga (sk. 1.15. tabulu).

1.15. tabula

Modelēšanas rezultāti par nozaru sniegumu reģionālās tehnoloģiskās konverģences gadījumā Latvijā (3., 4. un 5. scenārijs)

	3. scenārijs	4. scenārijs	5. scenārijs
	Igaunijas pasta un kurjeru pakalpojumu tehnoloģiju lietošana Latvijā	Lietuvas pasta un kurjeru pakalpojumu tehnoloģiju lietošana Latvijā	Zviedrijas pasta un kurjeru pakalpojumu tehnoloģiju lietošana Latvijā
KOPĀ	0,01 %	–0,03 %	0,02 %
A. Lauksaimniecība, mežsaimniecība un zivsaimniecība	0,02 %	–0,02 %	0,00 %
B. Ieguves rūpniecība un karjeru izstrāde	0,08 %	0,10 %	0,00 %
C. Ražošana	0,15 %	0,10 %	–0,05 %
D. Elektroenerģijas, gāzes, tvaika un gaisa kondicionēšanas padeve	0,03 %	0,17 %	–0,07 %
E. Ūdensapgāde, kanalizācija, atkritumu apsaimniekošana un sanācija	0,02 %	–0,06 %	–0,05 %
F. Būvniecība	0,05 %	0,01 %	0,05 %
G. Vairumtirdzniecība un mazumtirdzniecība, mehānisko transportlīdzekļu un motociklu remonts	0,11 %	–0,01 %	0,05 %
H. Transportēšana un uzglabāšana	–0,29 %	0,43 %	0,86 %
I. Izmitināšana un ēdināšanas pakalpojumi	0,04 %	–0,03 %	0,00 %
J. Informācija un komunikācija	0,08 %	–0,12 %	0,40 %

1.15. tabulas turpinājums

	3. scenārijs	4. scenārijs	5. scenārijs
	Igaunijas pasta un kurjeru pakalpojumu tehnoloģiju lietošana Latvijā	Lietuvas pasta un kurjeru pakalpojumu tehnoloģiju lietošana Latvijā	Zviedrijas pasta un kurjeru pakalpojumu tehnoloģiju lietošana Latvijā
K. Finanšu un apdrošināšanas darbības	–1,73 %	–2,18 %	–2,21 %
L. Darbības ar nekustamo īpašumu	0,00 %	0,06 %	0,09 %
M. Profesionālā, zinātniskā un tehniskā darbība	0,33 %	–0,11 %	0,09 %
N. Administratīvās un palīgdarbības	0,29 %	–0,06 %	–0,44 %
O. Valsts pārvalde un aizsardzība, obligātā sociālā apdrošināšana	0,01 %	0,01 %	0,00 %
P. Izglītība	0,00 %	–0,01 %	–0,01 %
Q. Veselība un sociālais darbs	0,03 %	0,00 %	0,01 %
R. Māksla, izklaide un atpūta	–0,02 %	–0,02 %	–0,02 %
S. Citas pakalpojumu darbības	0,04 %	0,11 %	0,11 %
T. Mājsaimniecību kā darba devēju darbība, nediferencētu preču un pakalpojumu ražošana mājsaimniecībās pašu vajadzībām	0,00 %	0,00 %	0,00 %

3. scenārija (Igaunija), 4. scenārija (Lietuva) un 5. scenārija (Zviedrija) modelēšanas rezultāti atklāj gan kopīgas iezīmes, gan dažādas ekonomiskās ietekmes atšķirības, piemērojot tos Latvijas pasta un kurjeru pakalpojumu nozarei. Minētie noslēguma posma trīs scenāriji uzrāda konsekventu finanšu un apdrošināšanas darbību samazinājumu, kas svārstās no –1,73 % 3. scenārijā līdz –2,21 % 5. scenārijā. Tas liecina par kopēju strukturālu novirzīšanos no tradicionālās finanšu starpniecības, ko, iespējams, nosaka pieaugošā automatizācija un digitalizācija loģistikas operācijās.

Līdzīgi arī sabiedriskie pakalpojumi, izglītība un ar mājsaimniecībām saistītās darbības visos scenārijos lielākoties netiek ietekmētas, kas liecina par to, ka šīs nozares tieši neietekmē tehnoloģiskās pārmaiņas pēdējās jūdzes piegādes jomā. Neraugoties uz šīm kopīgajām iezīmēm, scenāriji ievērojami atšķiras pēc to kopējās ekonomiskās ietekmes un nozaru dinamikas. 5. scenārijs, kas modelē Zviedrijas pasta un kurjeru pakalpojumu tehnoloģiju ieviešanu, rada vislielāko kopējo ieguvumu, jo īpaši transporta un uzglabāšanas (+0,86 %) un informācijas un komunikācijas (+0,40 %) nozarē. Tas atspoguļo digitālās infrastruktūras un ilgtspējīgas loģistikas prakses progresīvo integrāciju Zviedrijas modelī. Tomēr tas rada arī visstraujāko kritumu administratīvā atbalsta un finanšu pakalpojumu jomā, uzsverot augstas efektivitātes sistēmu graujošo raksturu. 3. scenārijs, kas balstīts Igaunijas

tehnoloģijā, rada nelielu, bet pozitīvu kopējo ietekmi (+0,01 %) ar līdzsvarotiem rezultātiem pa nozarēm. Tas liecina par mērenu izaugsmi profesionālo un administratīvo pakalpojumu jomā, lai gan transporta nozarē vērojams neliels kritums. Tas liecina par konservatīvāku tehnoloģisko profilu ar ierobežotiem strukturāliem traucējumiem. Turpretī 4. scenārijs, kurā izmantota Lietuvas pasta un kurjeru pakalpojumu tehnoloģija, rada nelielu kopējo sarukumu (–0,03 %). Šis scenārijs uzrāda vājākus rezultātus apstrādes rūpniecībā, IKT un profesionālajos pakalpojumos, kas liecina par zemāku tehnoloģisko efektivitāti vai integrāciju, salīdzinot ar citiem modeļiem.

Kopumā, lai gan visiem šiem noslēguma posma trim scenārijiem ir kopīga zināma strukturālā ietekme, jo īpaši finanšu un sabiedrisko pakalpojumu jomā, Zviedrijas modelis piedāvā visdinamiskāko transformāciju, Igaunijas modelis ir līdzsvarotāks un stabilāks, savukārt Lietuvas modelis ir viskonservatīvākais ekonomiskās ietekmes ziņā. Šie secinājumi uzsver, cik svarīgi ir izvēlēties ne tikai videi draudzīgākas, bet arī ekonomiski adaptīvākas tehnoloģijas, plānojot valsts loģistikas pāreju.

Noteikti efektīvākām tehnoloģijām nepieciešami digitāli un autonomi risinājumi, kas saistīti ar juridiskiem aspektiem un nepieciešamību pēc tiesiskā regulējuma (Hoffmann & Prause, 2018), cilvēka iesaistes samazināšanos un drošību (Meir et al., 2025), kā arī ietekmi uz vidi un emisijām (Heldt et al., 2021).

1.16. tabula

Reģionālās ietekmes modelēšanas rezultāti (pievienotās vērtības izmaiņas, % (salīdzinājumā ar situāciju pirms scenārija)) Latvijā

Scenāriji	Latvija	Rīga	Vidzeme	Kurzeme	Zemgale	Latgale
3. scenārijs	0,01 %	–0,01 %	0,04 %	0,03 %	0,05 %	0,02 %
4. scenārijs	–0,03 %	–0,06 %	0,03 %	0,04 %	0,03 %	0,03 %
5. scenārijs	0,02 %	0,01 %	0,03 %	0,06 %	0,02 %	0,04 %

Avots: autores aprēķini; izmantoti atjaunināti izejvielu un produkcijas dati par Zviedriju 2022. gadā.

Iegūtie secinājumi ir vērtīgi valsts un ES politikas veidotājiem, lai novērtētu tehnoloģiskās konverģences potenciālo ietekmi uz reģioniem, ko daļēji veicina jaunais ES Zaļais kurss.

Secinājumi

1. Modelēšanas rezultāti apliecina, ka Latvijā esošās pēdējās jūdzes pakalpojumu nodrošināšanas izmaiņas, balstoties starpnozaru saiknēs, tiešā vai netiešā veidā ietekmē daudzas nozares.
2. Starpnozaru ietekmes modelēšanas, balstoties izvirzītajos attīstības scenārijos, rezultāti liecina par ietekmi uz katru nozari atsevišķi, jo dažādās nozarēs tehnoloģiskā konverģence ir atšķirīga. Piemēram, pasta un kurjeru pakalpojumi gūst ievērojamu labumu no Igaunijas tehnoloģiju ieviešanas (3. scenārijs), savukārt finanšu un apdrošināšanas pakalpojumu palīgpakalpojumi piedzīvo ievērojamu kritumu.
3. Modelēšanas rezultāti liecina, ka, ieviešot Lietuvas tehnoloģijas (4. scenārijs), var palielināties efektivitāte, tādējādi panākot efektīvāku saimniecisko darbību.
4. Ņemot vērā to, ka pasta un kurjeru pakalpojumu īpatsvars ekonomikā ir salīdzinoši neliels, kopējā reģionālā ietekme Latvijā ir minimāla, kas liecina, ka tehnoloģiskā konverģence un pāreja uz videi draudzīgu un ilgtspējīgu praksi būtiski neietekmē reģionālo ekonomikas dinamiku.
5. Konstatētais jutīgums pret datu atjauninašanu uzsver, cik svarīgi ir izmantot aktuālus un precīzus datus ekonomikas modelēšanā, politikas veidošanā un lēmumu pieņemšanā.
6. Šie secinājumi sniedz vērtīgas atziņas vietējiem, valsts, reģionālajiem un ES politikas veidotājiem, norādot, ka var būt nepieciešamas mērķtiecīgas stratēģijas, lai mazinātu negatīvo ietekmi uz noteiktām nozarēm, vienlaikus veicinot izaugsmi citās. Tas ir īpaši svarīgi saistībā ar jauno ES Zaļo kursu, kura mērķis ir veicināt tehnoloģiju attīstību un ilgtspējīgu attīstību.

Rakstā iekļautās daļas pirmēji angļu valodā publicētas konferenču krājuma *Engineering for Rural Development* rakstā GREENER LAST-MILE DELIVERY TECHNOLOGIES AND REGIONAL DEVELOPMENT IN LATVIA: INPUT-OUTPUT APPROACH (https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF078) un rakstā *Sustainable last-mile delivery technologies in regional perspective and policy-making: input-output analysis* (https://doi.org/10.22616/ERDEV.2025.24.TF078).

Literatūra un avoti

Ágoston, C., Balázs, B., Mónus, F., & Varga, A. (2024). Age differences and profiles in pro-environmental behavior and eco-emotions. *International Journal of Behavioral Development*, 48 (2), 132–144.
https://doi.org/10.1177/01650254231222436.

Aguilera-García, Á., Gomez, J., Rangel, T., Baeza, M. D. L. Á., & Vassallo, J. M. (2024). Which factors influence the use of shared and privately-owned e-scooters in the city of Madrid? Implications for urban mobility. *Cities*, 147.
https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104785.

Aktas, E., Bourlakis, M., & Zissis, D. (2021). Collaboration in the last mile: evidence from grocery deliveries. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 24 (3), 227–241. https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1740660.

Atstāja, D. (2025). Renewable Energy for Sustainable Development: Opportunities and Current Landscape. Energies, 18 (1). https://doi.org/10.3390/en18010196.

Auzina-Emsina, A. (2024a). GREENER LAST-MILE DELIVERY TECHNOLOGIES AND REGIONAL DEVELOPMENT IN LATVIA: INPUT-OUTPUT APPROACH. Engineering for Rural Development, 23, 414–421. https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF078.

Auzina-Emsina, A. (2024b). GREENER LAST-MILE DELIVERY TECHNOLOGIES AND REGIONAL DEVELOPMENT IN LATVIA: INPUT-OUTPUT APPROACH. Engineering for Rural Development, 23, 414–421. https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF078.

Auzina-Emsina, A. (2025). Sustainable last-mile delivery technologies in regional perspective and policy-making: input-output analysis. https://doi.org/10.22616/ERDEV.2025.24.TF078.

Auzina-Emsina, A., & Ozolina, V. (2017). High-technology industries competitiveness and regional allocation by nuts 3 regions in Latvia. Research for Rural Development, 2, 241–248. https://doi.org/10.22616/rrd.23.2017.074.

Auzina-Emsina, A., & Pocs, R. (2019). Impact of transport and storage sector on sustainable development: Evaluation using input-output model. IMCIC 2019 – 10th *International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics, Proceedings*, 1, 1–6.

Bormane, S., Sloka, B., & Skiltere, D. (2023). SUSTAINABLE CONSUMPTION AND WASTE MANAGEMENT. *Engineering for Rural Development*, 22, 937–942. https://doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF185.

Di Noia, J., Caiani, A., Cesarini, L., Arosio, M., & Monteleone, B. (2025). A high resolution input–output model to assess the economic impact of floods. *Journal of Economic Behavior and Organization*, 230. https://doi.org/10.1016/j.jebo.2025.106896.

Dolge, K., Barisa, A., Kirsanovs, V., & Blumberga, D. (2023). The status quo of the EU transport sector: Cross-country indicator-based comparison and policy evaluation. *Applied Energy*, 334. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120700.

Eurostat. (2025, March 11). Eurostat Database. Symmetric Input-Output Table at Basic Prices (Product by Product). https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/naio_10_cp1700/default/table?lang=en&category=na10.naio_10.naio_10_n.naio_10_cp.

Gössling, S., Hanna, P., Higham, J., Cohen, S., & Hopkins, D. (2019). Can we fly less? Evaluating the 'necessity' of air travel. *Journal of Air Transport Management*, 81. https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2019.101722.

Heldt, B., Matteis, T., von Schmidt, A., & Heinrichs, M. (2021). Cool but dirty food? – Estimating the impact of grocery home delivery on transport and CO<inf>2</inf> emissions including cooling. *Research in Transportation Economics*, 87.
https://doi.org/10.1016/j.retrec.2019.100763.

Hoffmann, T., & Prause, G. (2018). On the regulatory framework for last-mile delivery robots. Machines, 6 (3).
https://doi.org/10.3390/machines6030033.

Ieva, S., Bilenchi, I., Gramegna, F., Pinto, A., Scioscia, F., Ruta, M., & Loseto, G. (2025). Enhancing Last-Mile Logistics: AI-Driven Fleet Optimization, Mixed Reality, and Large Language Model Assistants for Warehouse Operations. *Sensors*, 25 (9).
https://doi.org/10.3390/s25092696.

Jun, W. K., An, M. H., & Choi, J. Y. (2022). Impact of the connected & autonomous vehicle industry on the Korean national economy using input-output analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 178.
https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121572.

Juruss, M., Smite-Roke, B., & Nesterenko, I. (2024). REDUCING EXTERNALITIES OF LAST MILE DELIVERY THROUGH TAXATION. *Engineering for Rural Development*, 23, 1129–1136.
https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF233.

Kåresdotter, E., Page, J., Mörtberg, U., Näsström, H., & Kalantari, Z. (2022). First Mile/Last Mile Problems in Smart and Sustainable Cities: A Case Study in Stockholm County. *Journal of Urban Technology*, 29 (2), 115–137.
https://doi.org/10.1080/10630732.2022.2033949.

Kawgan-Kagan, I. (2020). Are women greener than men? A preference analysis of women and men from major German cities over sustainable urban mobility. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8.
https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100236.

Kim, M., & Kim, Y. (2023). Parcel Classification and Positioning of Intelligent Parcel Storage System Based on YOLOv5. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13 (1).
https://doi.org/10.3390/app13010437.

Kim, T.-J., & Tromp, N. (2022). The Economic Impact of the Logistics Industry in South Korea: Based on an Input-Output Approach. *LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics*, 13 (1), 174–185.
https://doi.org/10.2478/logi-2022-0016.

Krauss, K., Gnann, T., Burgert, T., & Axhausen, K. W. (2024). Faster, greener, scooter? An assessment of shared e-scooter usage based on real-world driving data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice,* 181.
https://doi.org/10.1016/j.tra.2024.103997.

Liu, C., Wang, Q., & Susilo, Y. O. (2019). Assessing the impacts of collection-delivery points to individual's activity-travel patterns: A greener last mile alternative? *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 121, 84–99.
https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.08.007.

Meir, A., Grimberg, E., & Musicant, O. (2025). The human-factors' challenges of (tele)drivers of Autonomous Vehicles. *Ergonomics*, 68 (6), 947–967. https://doi.org/10.1080/00140139.2024.2346552.

Modgil, S., Singh, R. K., & Hannibal, C. (2022). Artificial intelligence for supply chain resilience: learning from Covid-19. *International Journal of Logistics Management*, 33 (4), 1246–1268. https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2021-0094.

Moradi, N., Wang, C., & Mafakheri, F. (2024). Urban Air Mobility for Last-Mile Transportation: A Review. *Vehicles*, 6 (3), 1383–1414. https://doi.org/10.3390/vehicles6030066.

Ozdemir, S., Demirel, N., Zaralı, F., & Çelik, T. (2024a). Multi-criteria assessment framework for evaluation of Green Deal performance. *Environmental Science and Pollution Research International*, 31 (3), 4686–4704. https://doi.org/10.1007/s11356-023-31370-2.

Ozdemir, S., Demirel, N., Zaralı, F., & Çelik, T. (2024b). Multi-criteria assessment framework for evaluation of Green Deal performance. *Environmental Science and Pollution Research International*, 31 (3), 4686–4704. https://doi.org/10.1007/s11356-023-31370-2.

Pakere, I., Prodanuks, T., Kamenders, A., Veidenbergs, I., Holler, S., Villere, A., & Blumberga, D. (2021). Ranking EU climate and energy policies. *Environmental and Climate Technologies*, 25 (1), 367–381. https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0027.

Patowary, M. M. I., Peulers, D., Richter, T., Melovic, A., Nilsson, D., & Söilen, K. S. (2023). Improving last-mile delivery for e-commerce: the case of Sweden. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 26 (7), 872–893. https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1998396.

Peppel, M., Spinler, S., & Winkenbach, M. (2024). Integrating mobile parcel lockers into last-mile delivery networks: an operational design for home delivery, stationary, and mobile parcel lockers. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 54 (4), 418–447. https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2023-0055.

Reissl, S., Caiani, A., Lamperti, F., Ferraresi, T., & Ghezzi, L. (2024). A regional input-output model of the COVID-19 crisis in Italy: decomposing demand and supply factors. *Economic Systems Research*, 36 (1), 100–130. https://doi.org/10.1080/09535314.2023.2213394.

Reissl, S., Caiani, A., Lamperti, F., Guerini, M., Vanni, F., Fagiolo, G., Ferraresi, T., Ghezzi, L., Napoletano, M., & Roventini, A. (2022). Assessing the Economic Impact of Lockdowns in Italy: A Computational Input-Output Approach. *Industrial and Corporate Change*, 31 (2), 358–409. https://doi.org/10.1093/icc/dtac003.

Risberg, A., & Jafari, H. (2022). Last mile practices in e-commerce: framework development and empirical analysis of Swedish firms. *International Journal of Retail and Distribution Management*, 50 (8–9), 942–961. https://doi.org/10.1108/IJRDM-10-2021-0513.

Scedrovs, A., Mendzins, K., Barisa, A., & Feofilovs, M. (2024). Electrifying the Last Mile Delivery by Eco-Efficiency Analysis: Case Study of Latvia. *Environmental and Climate Technologies*, 28 (1), 367–378.
https://doi.org/10.2478/rtuect-2024-0029.

Seghezzi, A., & Mangiaracina, R. (2023). Smart home devices and B2C e-commerce: a way to reduce failed deliveries. *Industrial Management and Data Systems*, 123 (5), 1624–1645.
https://doi.org/10.1108/IMDS-10-2022-0651.

Tammaru, T., Sevtsuk, A., & Witlox, F. (2023). Towards an equity-centred model of sustainable mobility: Integrating inequality and segregation challenges in the green mobility transition. *Journal of Transport Geography*, 112.
https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2023.103686.

Tudisco, V., Perotti, S., Ekren, B. Y., & Aktas, E. (2025). Sustainable e-grocery home delivery: An optimization model considering on-demand vehicles. *Computers and Industrial Engineering*, 201.
https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.110874.

Vacchi, M., Siligardi, C., Cedillo-González, E. I., Ferrari, A. M., & Settembre-Blundo, D. (2021). Industry 4.0 and smart data as enablers of the circular economy in manufacturing: Product re-engineering with circular eco-design. *Sustainability (Switzerland)*, 13 (18).
https://doi.org/10.3390/su131810366.

Vélez, A. M. A., & Plepys, A. (2021). Car sharing as a strategy to address ghg emissions in the transport system: Evaluation of effects of car sharing in Amsterdam. *Sustainability (Switzerland)*, 13 (4), 1–15.
https://doi.org/10.3390/su13042418.

Zofío, J. L., González, J., Prieto, A., & Vicente, J. (2023). Modelling the spatial and sectoral benefits of productivity enhancing innovations using a transport oriented multiregional IO framework: the 'megatruck' in Spain. *Economic Systems Research*, 35 (2), 228–264.
https://doi.org/10.1080/09535314.2021.1951178.

2.

Transporta efektivitāte Latvijā ekonomiskās produktivitātes un vides ilgtspējas kontekstā

Pētniece *Dr. oec*. Zane Zeibote, Latvijas Universitāte
Ph. D. pretendents *Mg. oec.* Jānis Balodis, Latvijas Universitāte
Docente *Ph. D*. Anita Kokarēviča, Rīgas Stradiņa universitāte
Docents *Ph. D*. Jānis Kudiņš, Daugavpils Universitāte
Docents *Ph. D.* Edmunds Čižo, Daugavpils Universitāte

Ievads

Pēdējos gados strauji pieaugušas vairākas Latvijas ekonomikas nozares, bet transporta un uzglabāšanas nozare ir bijusi viena no lēnāk augošajām (Mauris, 2022). Transporta nozare bieži tiek minēta kā nozīmīga vides piesārņotāja, kas rada ievērojamu siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju apjomu. Valsts lauksaimniecības un transporta nozares veido vislielāko SEG emisiju apjomu uz vienu iedzīvotāju (Paula, 2021). Latvija ir starp ES valstīm ar vecāko autoparku (Skribans & Kotlars, 2024), un šis fakts bieži tiek piesaukts kā iemesls lielajam transporta SEG emisiju apjomam (Kotlars & Skribans, 2023; Zalamane, 2020). Salīdzinot ar citām ES valstīm, Latvijā ir vidēji zems ienākumu līmenis, mazs transportlīdzekļu skaits un salīdzinoši neliels SEG emisiju apjoms. Vienlaikus tiek radīta mazāka pievienotā vērtība uz salīdzināmiem SEG emisiju apjomiem, jo īpaši transporta un lauksaimniecības nozarēs (Rehman et al., 2023).

Analizējot transporta efektivitāti Latvijā ekonomiskās produktivitātes un vides ilgtspējas kontekstā, jāņem vērā iedzīvotāju blīvuma telpiskā sadalījuma specifika, kas noteikti ietekmē transporta efektivitātes koncepcijas būtību valstī. Latvijā ir ļoti augsts iedzīvotāju blīvums galvaspilsētā un tās apkārtnē (un tas turpina pieaugt), salīdzinot ar citiem reģioniem un īpaši ar tām pašvaldībām, kas atrodas netālu no valsts robežas (Centrālā statistikas pārvalde, 2024). Runājot par transportēšanas efektivitāti, īpaši zīmīgi, ka gandrīz tukšas teritorijas (1–3 iedzīvotāji uz km^2) atrodas ne tikai pie Latvijas valsts robežas ar Krieviju un Baltkrieviju (kur transportēšanas iespējas pašreizējo ģeopolitisko apstākļu dēļ ir ļoti ierobežotas), bet arī pie robežas ar Lietuvu un Igauniju (kur nav šķēršļu pārrobežu transportam un saimnieciskajai darbībai). Izskatās, ka gandrīz visa Latvijas ekonomika (arī transporta nozare un darbaspēks) koncentrējas ap galvaspilsētu, un ceļa attālums no Latvijas pašvaldībām līdz Rīgai kļūst par transporta efektivitātes pamatu, kas nosaka ekonomisko produktivitāti un vides ilgtspēju Latvijas pašvaldībās.

Šī pētījuma objekts ir Latvijas pašvaldības. Savukārt pētījuma priekšmets ir transporta efektivitātes, ekonomiskās produktivitātes un vides ilgtspējas savstarpējās sakarības Latvijas pašvaldībās, īpašu uzmanību pievēršot iedzīvotāju blīvuma telpiskā sadalījuma, transporta infrastruktūras pieejamības un attāluma līdz galvaspilsētai ietekmei uz teritoriālajām atšķirībām ekonomiskajā un vides efektivitātē.

Pētījuma mērķis ir analizēt transporta efektivitāti Latvijā plašākā ekonomiskās produktivitātes un vides ilgtspējas kontekstā. Tā mērķis ir arī izpētīt, kā transporta efektivitāti ietekmē Latvijas unikālais iedzīvotāju blīvuma telpiskais sadalījums, īpaši ekonomiskās aktivitātes koncentrācija ap galvaspilsētu, kā arī situāciju mazapdzīvotajos lauku rajonos netālu no robežām ar kaimiņvalstīm.

1. Literatūras apskats

Literatūras apskata mērķis ir nodrošināt pamatu šajā pētījumā izmantoto terminu turpmākai konceptualizācijai un empīriskai interpretācijai: transporta efektivitāte, ekonomiskā produktivitāte un vides ilgtspēja. Atsevišķi mēģinājumi konceptualizēt un empīriski interpretēt šos terminus ir īstenoti iepriekšējos pētījumos (Balodis, 2022; Balodis, 2023; Balodis et al., 2022; Komarova et al., 2023; Komarova et al., 2024). Ir aplūkoti arī citi attiecīgie pētījumi, jo īpaši pētījums par iedzīvotāju blīvumu kā saistošo faktoru starp autotransportu un vides kvalitāti (Din et al., 2022), vides ilgtspējību, izmantojot videi nekaitīgus pārvadājumus (gadījums ar 10 valstīm, kurās notiek enerģētiskā pāreja) (Rehman et al., 2023), kā arī pētījums par transporta sistēmu ilgtspējīgas efektivitātes novērtēšanu Dienvidamerikā, izmantojot datu aptvēruma analīzi (Queiroz et al., 2024).

Balodis savā pētījumā galveno uzmanību pievērš dažādu transporta attīstības aspektu ietekmei uz teritoriju (valstu) produktivitāti un efektivitāti (Balodis, 2022). Transporta efektivitāte šajā pētījumā ir saistīta ar teritorijas transporta infrastruktūras un transporta pakalpojumu spēju uzlabot produktivitāti un integrāciju globālajos tīklos, vienlaikus līdzsvarojot ekoloģisko ietekmi. Pētījumā uzsvērts, ka vienkārša transporta maršrutu paplašināšana automātiski nepalielina produktivitāti un var samazināt ekoloģisko efektivitāti (Balodis, 2022). Savukārt attiecībā uz ekonomisko produktivitāti iepriekš minētajā pētījumā tā aplūkota divās formās: teritoriālā produktivitāte (ko mēra pēc IKP uz km²) un teritoriālā konkurētspēja (Balodis, 2022). Savukārt vides ilgtspēja (ekoloģiskā efektivitāte) pētījumā definēta kā ietekme uz vidi uz iedzīvotāju platības vienību, ko īpaši mēra ar "ekoloģisko pēdu" pasaules hektāros (ha) uz vienu iedzīvotāju. Pētījumā šī mērvienība izmantota, lai ņemtu vērā iedzīvotāju blīvumu, tādējādi radot "ekoloģisko pēdu uz km²" (Balodis, 2022).

Nākamajos Baloža un līdzautoru pētījumos (Balodis, 2023; Balodis et al., 2022) transporta efektivitāte ir konceptualizēta un izvērtēta, izmantojot teritorijas transporta attīstības indeksu (*TTDI*), kas apvieno četrus galvenos komponentus: transportēšanas līmeni, transporta internacionalizācijas līmeni, transporta infrastruktūras kvalitāti un transporta pakalpojumu efektivitāti. Pētījumā (Balodis, 2023) indekss

piemērots ES valstīm, parādot, kā katras valsts transporta attīstība ietekmē tās vispārējo efektivitāti un konkurētspēju. Attiecībā uz transporta efektivitātes konceptualizāciju iepriekš minētajos pētījumos to nosaka infrastruktūras kvalitātes, starptautiskās savienojamības un transporta pakalpojumu efektivitātes integrācija teritorijā (Balodis, 2023; Balodis et al., 2022).

Turpmākajā pētījumā par transporta infrastruktūras attīstību un tās ietekmi uz teritoriālo ražošanu (Komarova et al., 2023) ir izpētīts sarežģītais līdzsvars starp transporta infrastruktūras attīstību, lai palielinātu ekonomisko produktivitāti, vienlaikus ņemot vērā arī ietekmi uz vides ilgtspējību. Ar transporta efektivitāti saprot pakāpi, kādā transporta infrastruktūra un pakalpojumi veicina preču un cilvēku efektīvu pārvietošanos teritorijās un pāri tām. To mēra, izmantojot tādus indeksus kā globālās konkurētspējas indekss (GKI), loģistikas veiktspējas indekss (*LPI*) un *TTDI* (Komarova et al., 2023).

Komarovas un līdzautoru pētījumā analizēts, cik efektīvi pašvaldību budžetu izdevumi transporta infrastruktūrai veicina vietējās ekonomikas uzlabošanos. Pētījumā ietverta hipotēze, ka transporta efektivitāte ir saistīta ar pašvaldību budžetu stratēģisko sadali, lai veicinātu preču un cilvēku kustību, kas ir ļoti svarīga vietējai ekonomikas izaugsmei (Komarova et al., 2024). Ekonomisko produktivitāti jeb teritoriālo produktivitāti novērtē pēc veiktās saimnieciskās darbības pašvaldībās, ko galvenokārt mēra ar gada vidējo ienākuma nodokli uz vienu iedzīvotāju (Komarova et al., 2024).

Rēmana un līdzautoru pētījumā par iedzīvotāju blīvumu kā pamata mehānismu starp autotransportu un vides kvalitāti uzsvērts, ka iedzīvotāju blīvums būtiski ietekmē transporta efektivitāti, jo īpaši reģionos ar atšķirīgu iedzīvotāju koncentrāciju (Rehman et al., 2023). Pētījumā konstatēts, ka ceļu infrastruktūra (*RIN*) un autotransporta enerģijas patēriņš (*RTEC*) ir būtiski faktori, kas ietekmē vides kvalitāti. Pētījuma rezultāti liecina par kompleksu mijiedarbību starp transporta efektivitāti, infrastruktūru, enerģijas patēriņu un ietekmi uz vidi, uzsverot integrētas un kontekstam specifiskas transporta politikas nozīmi kvalitāti (Rehman et al., 2023).

Pētījums par vides ilgtspējību, izmantojot videi nekaitīgus pārvadājumus (10 lielāko valstu, kas īsteno enerģētikas pāreju, izpēte), atklāj, ka videi nekaitīgi pārvadājumi ievērojami samazina ekoloģisko pēdu. Inovācijas un iekšzemes ieguldījumi ir uzskatāmi par vides ilgtspējību veicinošiem faktoriem kvalitāti (Rehman et al., 2023). Ir konstatēts, ka urbanizācija palielina ekoloģisko pēdu un vides degradāciju pētījumā iekļautajās valstīs. Tas norāda, ka, veicinot videi nekaitīgu transportu, ir jāapsver arī pilsētu izaugsmes ietekme, lai mazinātu tās nelabvēlīgo ietekmi uz vidi kvalitāti (Rehman et al., 2023).

Visbeidzot, ESAO (*OECD*) Vides darba dokumentā par transporta nozari Latvijā (Dobrinevski & Jachnik, 2020) ir ierosināts izmantot plašāku stratēģiju, lai veicinātu pāreju no autotransporta uz ilgtspējīgākiem transporta veidiem, piemēram, sabiedrisko transportu. Tas ietver ieguldījumus sabiedriskā transporta infrastruktūras paplašināšanā, jo īpaši galvaspilsētas reģionā, kur satiksmes sastrēgumi un emisijas ir ievērojamas. Attiecībā uz nomaļiem reģioniem ar mazāku iedzīvotāju

blīvumu ESAO eksperti iesaka koncentrēties uz ieguldījumiem, kas uzlabo esošās transporta infrastruktūras savienojamību un efektivitāti (Dobrinevski & Jachnik, 2020). Reģionos ar zemu iedzīvotāju blīvumu eksperti uzsver, cik svarīgi ir izstrādāt transporta politiku, kas būtu pielāgota vietējām vajadzībām (Dobrinevski & Jachnik, 2020). Šo ieteikumu mērķis ir uzlabot transporta efektivitāti, vienlaikus atbalstot ekonomikas produktivitāti un vides ilgtspēju gan Latvijas galvaspilsētā, gan nomaļos reģionos.

2. Konceptuālais ietvars un pētījuma metodoloģija

Balstoties literatūras apskatā un vispārējā empīriskajā analīzē, kas veikta šī pētījuma ievadā, autori piedāvā Latvijas teritoriju iedalīt trīs veidos, lai turpmāk konceptualizētu un definētu transportēšanas efektivitātes terminu (atsevišķi katram teritorijas veidam) šo teritoriju ekonomiskās produktivitātes un vides ilgtspējas kontekstā. Latvijas administratīvais iedalījums pašvaldību teritorijās (36 novadi, n = 36, un septiņas valsts nozīmes pilsētas, kas neietilpst novados, n = 7) ir spēkā saskaņā ar Latvijas Republikas likumu "Par administratīvajām teritorijām un apdzīvotām vietām" (Saeima of Latvia, 2020), kas pieņemts 2021. gada 1. jūlijā. Pētījuma izlasē iekļauti visi Latvijas novadi, kā arī valsts nozīmes pilsētas, kas kopā veido 43 objektus (n = 43) un atbilst Latvijas novadu iedzīvotāju kopumam (statistiskajā analīzē – visu pozīciju kopums, no kura tiek izvilkti dati statistiskam pētījumam). Šādu salīdzinoši nelielu objektu skaitu var analizēt ar izmantotajām statistikas metodēm (Kish, 1965), bet jāpievērš lielāka uzmanība iegūto rezultātu statistiskajai nozīmībai.

Pētījuma objekta un priekšmeta sistēmiskās analīzes sākumposmā izvērtēta ārējās ietekmes (procesu) un Latvijas pašvaldību mijiedarbība. Ārējā ietekme ir tradicionālā prakse un pastāvīgas prasības attiecībā uz vides apstākļiem un ekonomisko produktivitāti, no vienas puses, un inovatīvā prakse un jaunas prasības attiecībā uz vides ilgtspēju un ekonomisko produktivitāti, no otras puses. Šīs savstarpējās ietekmes rezultātā Latvijā atbilstoši šī pētījuma uzdevumam teorētiski var izdalīt triju veidu teritorijas: Latvijas galvaspilsēta Rīga, teritorijas ar mazāku iedzīvotāju blīvumu un nomaļās teritorijas ar zemu iedzīvotāju blīvumu. Galvenie potenciālie Latvijas pašvaldību tipoloģijas noteicēji (kas empīriski jātestē turpmākajā statistisko datu kvantitatīvajā analīzē): iedzīvotāju blīvums; attālums līdz Rīgai; transporta un tā infrastruktūras īpatnības.

Nākamais minētās teorētiskās sistēmiskās analīzes empīriskās verifikācijas metodiskais jautājums ir konceptuālo konstrukciju empīriskā interpretācija, lai tās praktiski izmērītu Latvijas pašvaldībās. 2.1. tabulā redzamas gan konceptuālās konstrukcijas, kas izmantotas pētījuma objekta un priekšmeta sistēmiskajā analīzē, gan to empīriskā interpretācija, kas balstīta izmantotās zinātniskās literatūras idejās un Latvijas statistikas datos.

2.1. tabula

Konceptuālas konstrukcijas, ko izmanto pētījuma objekta un priekšmeta sistēmiskajā analīzē, un to empīriskā interpretācija

Konceptuālās konstrukcijas	Pētījuma datu empīriskā interpretācija, 2022./2023. gads
Ekonomiskā produktivitāte (dažādās teritorijās)	IKP uz vienu iedzīvotāju, EUR Vidējais ikgadējais ienākumu nodoklis uz vienu iedzīvotāju, EUR
Vides ilgtspēja (dažādās teritorijās)	Siltumnīcefekta gāzes (CO_2, N_2O, CH_4, HFC un SF_6 – CO_2 ekvivalents) (SEG) uz vienu iedzīvotāju, CO_2 kg ekvivalents SEG uz teritorijas m^2, tūkst. tonnu CO_2 ekvivalents
Transporta sadalījuma raksturojums dažādās teritorijās	Elektrisko vieglo automobiļu daļa, % no kopējiem reģistrētajiem vieglajiem automobiļiem
Transporta infrastruktūras raksturojums (teritorijās)	Asfalta un citu bitumena seguma ceļu daļa, % no kopējā ceļu seguma Ceļu blīvums, ceļa km (valsts un pašvaldību ceļi un ielas) uz teritorijas km^2
Galvenie teritoriju raksturojumu noteicošie rādītāji	Iedzīvotāju blīvums, iedzīvotāju skaits uz teritorijas km^2, attālums līdz Rīgai, km

Avots: izveidots, pamatojoties uz (Balodis, 2022; Balodis, 2023; Balodis et al., 2022; Centrālā statistikas pārvalde, 2024; Komarova et al., 2024; Valsts kase, 2024).

Tā kā ietekme starp Latvijas pašvaldībām / transporta efektivitāti tajās un praksi / prasībām pēc vides ilgtspējas / ekonomiskās produktivitātes ir abpusēja, šeit noder korelācijas analīze ar Pīrsona koeficientu, lai kvantitatīvi noteiktu sakarību starp pētījuma objektu/priekšmetu un spēkiem, kas uz tām iedarbojas. Tie Latvijas novadu tipoloģijas galvenie potenciālie noteicēji, kas statistiski būtiski korelē ar izvēlētajiem Latvijas novadu ekonomiskās produktivitātes un vides ilgtspējas rādītājiem, piedalīsies turpmākajā notiekošajā klasteru analīzē, lai apzinātu Latvijas teritoriju empīriskos tipus (sk. 2.1. tabulu). Autori uzskata, ka transporta efektivitātei katram apzinātās Latvijas teritorijas veidam ir savas īpatnības, kas balstītas to specifiskajā ekonomiskās produktivitātes un vides ilgtspējas kontekstā.

3. Pētījuma rezultāti un zinātniskā diskusija

Analizējot pētījumu rezultātus, iesākumā pārbaudīta atbilstība starp transporta un tā infrastruktūras īpatnībām Latvijas pašvaldībās, Latvijas pašvaldību vispārējām īpatnībām un to ekonomisko produktivitāti un vides ilgtspēju.

Korelācijas analīzes rezultāti iezīmē transporta un tā infrastruktūras saistību ar ekonomiskajiem un vides rādītājiem Latvijas pašvaldībās. Labāka ceļu infrastruktūra un lielāks elektrisko vieglo automobiļu īpatsvars ir saistīts ar uzlabotiem ekonomiskajiem rezultātiem (attiecīgi $R = 0{,}511$, $p < 0{,}001$ un $R = 0{,}400$, $p = 0{,}008$ attiecībā uz IKP uz vienu iedzīvotāju; $R = 0{,}544$, $p < 0{,}001$ un $R = 0{,}800$, $p < 0{,}001$ attiecībā uz ienākuma nodokli uz vienu iedzīvotāju (aprēķināts, izmantojot *IBM SPSS* statistikas programmatūru un datus no (Centrālā statistikas pārvalde, 2024; Valsts kase, 2024) un zemākas SEG emisijas uz vienu iedzīvotāju (attiecīgi $R = -0{,}705$, $p < 0{,}001$ un $R = -0{,}505$, $p < 0{,}001$ attiecībā uz SEG uz vienu iedzīvotāju). Tomēr palielināts ceļu blīvums un iedzīvotāju blīvums var radīt lielākas SEG emisijas uz platības vienību (attiecīgi $R = 0{,}856$, $p < 0{,}001$ un $R = 0{,}969$, $p < 0{,}001$), radot problēmas vides ilgtspējai. Rīga tuvums ir izšķirošs ekonomiskajai ražīgumam ($R = -0{,}494$, $p < 0{,}001$ IKP uz vienu iedzīvotāju; $R = -0{,}832$, $p < 0{,}001$ ienākuma nodoklim uz vienu iedzīvotāju) un var veicināt lielāku SEG emisiju uz vienu iedzīvotāju, palielinoties attālumam ($R = 0{,}432$, $p = 0{,}004$). Jebkurā gadījumā visi pieci savstarpēji saistītie rādītāji uzrāda statistiski nozīmīgas attiecības ar vienu vai otru ekonomiskās produktivitātes un vides ilgtspējas aspektu Latvijas pašvaldībās un tiks iekļauti turpmākajā notiekošajā klasteru analīzē.

Klasteru aglomerācijas procesa rezultāti parādīja, ka optimālais klasteru skaits, kas aprēķināts, pamatojoties uz aglomerācijas procesa soļa fiksēšanu, pēc kura koeficients pakāpeniski palielinās (šajā gadījumā no 8,879 39. solī līdz 14,064 40. solī), ir 4 (aprēķināts, izmantojot *IBM SPSS* statistikas programmatūru). Galvenie klasteru analīzes rezultāti ir parādīti 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Klasteru analīzes rezultātā iegūtās Latvijas novadu tipoloģiskās grupas, n = 43, 2022–2023

Parametri	1. klasteris	2. klasteris	3. klasteris	4. klasteris
Klastera nosaukums	Galvaspilsēta Rīga	Centrālāk izvietotās pilsētas	Visi Latvijas novadi	Attālāk izvietotās pilsētas
Pašvaldību skaits	1	3	36	3
Dalībnieki	Rīga	Jelgava, Jūrmala, Ventspils	36 Latvijas novadi, kas turpmāk jāklasificē	Daugavpils, Liepāja, Rēzekne
Elektrisko vieglo automobiļu daļa, % no kopējā automobiļu skaita	5,7	7,7		1,4
Asfalta un citu bitumena seguma ceļu daļa, % no kopējā ceļu seguma	72,3	69,5		69,9
Ceļu blīvums, ceļa km (valsts un pašvaldību ceļi un ielas) uz teritorijas km^2	3,96	3,91		4,8
Iedzīvotāju blīvums, iedzīvotāju skaits uz teritorijas km^2	2,309	724		1,364
Attālums līdz Rīgai, km	0	83		223

Avots: izveidots, izmantojot *IBM SPSS* statistikas programmatūru un datus no (Centrālā statistikas pārvalde, 2024; Kish, 1965; Komarova et al., 2023; Komarova et al., 2024; Koršenkovs et al., 2019).

Klasteru analīzes rezultāti, kas parādīti 2.2. tabulā, atklāj atšķirīgas tipoloģiskās grupas Latvijas pašvaldību vidū. 1., 2. un 4. klasteris parāda līdzīgu stāvokli transporta infrastruktūras attīstībā, savukārt attālās pilsētas (4. klasteris) saskaras ar tādām problēmām kā elektrisko transportlīdzekļu mazāka ieviešana un lielāks attālums no ekonomiskā centra, ietekmējot to ekonomisko un vides profilu (sk. 2.3. tabulu). Attālākām pilsētām Latvijā ir "rūpnieciskāki" profili, salīdzinoši lielāks (salīdzinot ar tuvējām pilsētām) iedzīvotāju blīvums un ceļu blīvums.

2.3. tabula

Latvijas pilsētu grupu ekonomiskie un vides profili, n = 7, 2022–2023

Ekonomiskie un vides indikatori	Latvijas galvaspilsēta Rīga	Centrālāk izvietotās pilsētas (Jelgava, Jūrmala, Ventspils)	Attālāk izvietotās pilsētas (Daugavpils, Liepāja, Rēzekne)
IKP uz vienu iedzīvotāju, EUR	28 943,00	12 454,67	13 283,67
Iedzīvotāju ienākuma nodoklis uz vienu iedzīvotāju, EUR	1159,68	992,17	645,66
SEG uz vienu iedzīvotāju, kg	3712,09	2630,55	3306,92
SEG uz km^2 no kopējās teritorijas, tūkst. t	7,42	1,71	4,12

Avots: izveidots, izmantojot *IBM SPSS* statistikas programmatūru un datus no (Centrālā statistikas pārvalde, 2024; Valsts kase, 2024).

Rīga uzrāda visaugstāko ekonomisko produktivitāti un ienākumu līmeni, izceļot tās centrālo lomu Latvijas ekonomikā. Tuvējās pilsētas gūst labumu no tuvuma Rīgai, uzrādot mērenu ekonomisko aktivitāti, savukārt attālākajās pilsētās ir nedaudz augstāks IKP uz vienu iedzīvotāju, bet zemāks ienākuma nodokļa līmenis (sk. 2.3. tabulu). Vides profila kontekstā Rīgas lielā ekonomiskā aktivitāte ir saistīta ar augstām izmaksām uz vienu iedzīvotāju un konkrētām teritorijām raksturīgām SEG emisijām. Centrālajās pilsētās ir vislabvēlīgākie ekoloģiskie raksturlielumi ar viszemākajām SEG emisijām uz vienu iedzīvotāju un uz km^2, kas liecina par līdzsvaru starp saimniecisko darbību un vides ilgtspējību. Attālākajās pilsētās, lai gan tās ir ekonomiski mazāk aktīvas, ir ievērojamas SEG emisijas uz vienu iedzīvotāju, uzsverot vides problēmas, neraugoties uz mazāku (salīdzinājumā ar Rīga) kopējo SEG emisiju blīvumu (sk. 2.3. tabulu). Šajā analīzē uzsvērtas ekonomiskās priekšrocības un vides izaicinājumi, ar ko saskaras dažādas Latvijas pilsētu grupas, Rīga ekonomiskajai vadībai kontrastējot ar tās ietekmi uz vidi un tuvējām pilsētām demonstrējot līdzsvarotākus profilus.

36 Latvijas novadiem īpaši veikta otra klasteru analīzes kārta, neiekļaujot septiņu pilsētu pašvaldības. Klasteru aglomerācijas rezultāti parādīja, ka optimālais klasteru skaits, kas aprēķināts, pamatojoties uz aglomerācijas procesa soļa fiksēšanu, pēc kura koeficients pakāpeniski palielinās (šajā gadījumā no 16,864 34. solī līdz 43,970 35. solī), ir 2 (aprēķināts, izmantojot *IBM SPSS* statistikas programmatūru). Galvenie klasteru analīzes rezultāti ir atspoguļoti 2.4. tabulā.

2.4. tabula

Latvijas novadu tipoloģiskās grupas, kas iegūtas klasteru analīzes rezultātā, n = 36, 2022–2023

Parametri	1. klasteris	2. klasteris
Klastera nosaukums	Centrālāk izvietotie reģioni	Attālāk izvietotie reģioni
Pašvaldību skaits	17	19
Dalībnieki	Ādažu, Aizkraukles, Bauskas, Cēsu, Dobeles, Jelgavas, Ķekavas, Limbažu, Mārupes, Ogres, Olaines, Ropažu, Salaspils, Saulkrastu, Siguldas, Tukuma, Valmieras pašvaldības	Alūksnes, Augšdaugavas, Balvu, Dienvidkurzemes, Gulbenes, Jēkabpils, Krāslavas, Kuldīgas, Līvānu, Ludzas, Madonas, Preiļu, Rēzeknes, Saldus, Smiltenes, Talsu, Valkas, Varakļānu, Ventspils pašvaldības
Elektrisko vieglo automobiļu daļa, % no kopējā automobiļu skaita	3,8	1,0
Asfalta un citu bitumena seguma ceļu daļa, % no kopējā ceļu seguma	37,3	24,7
Ceļu blīvums, ceļa km (valsts un pašvaldību ceļi un ielas) uz teritorijas km^2	1,05	0,81
Iedzīvotāju blīvums, iedzīvotāju skaits uz teritorijas km^2	53	10
Attālums līdz Rīgai, km	52	182

Avots: izveidots, izmantojot *IBM SPSS* statistikas programmatūru un datus no (Centrālā statistikas pārvalde, 2024).

Centrālajiem apgabaliem raksturīga lielāka elektrotransportlīdzekļu pieņemšana, labāk attīstīta transporta infrastruktūra, lielāks iedzīvotāju blīvums un tuvums Rīgai (sk. 2.4. tabulu). Šie faktori veicina labākas ekonomiskās iespējas, pakalpojumu pieejamību un vides tehnoloģijas, padarot šos novadus dinamiskākus un integrētākus Latvijas kopējā ekonomiskajā ietvarā. Attālākajos reģionos ir mazāka elektromobiļu pieņemšana, mazāk attīstīta transporta infrastruktūra, mazāks iedzīvotāju blīvums, un tie atrodas ievērojami tālāk no Rīgas (sk. 2.4. tabulu). Šie faktori veicina ekonomisko izolāciju, lēnāku attīstību un samazinātu piekļuvi modernajai infrastruktūrai un vides tehnoloģijām, padarot reģionus mazāk konkurētspējīgus un atkarīgākus no tradicionālajām transportēšanas metodēm. Kopumā tipoloģiskās grupas atspoguļo pilsētu un lauku dalījumu Latvijas novados, centrālajiem novadiem gūstot labumu no pilsētu centru tuvuma un labākas infrastruktūras, savukārt nomaļajiem novadiem nākas saskarties ar izaicinājumiem, kas saistīti ar attālumu, zemāku transporta infrastruktūras kvalitāti un mazāku iedzīvotāju blīvumu.

2.5. tabula

Latvijas novadus raksturojošie ekonomiskie un vides profili, n = 36, 2022–2023

Ekonomiskie un vides indikatori	Centrālāk izvietotie reģioni, n = 17	Attālāk izvietotie reģioni, n = 19
IKP uz vienu iedzīvotāju, EUR	13 499,24	10 042,32
Iedzīvotāju ienākuma nodoklis uz vienu iedzīvotāju, EUR	925,28	586,83
SEG uz vienu iedzīvotāju, kg	5106,35	6865,78
SEG uz km^2 no kopējās teritorijas, tūkst. t	0,20	0,07

Avots: izveidots, izmantojot *IBM SPSS* statistikas programmatūru un datus no (Centrālā statistikas pārvalde, 2024; Valsts kase, 2024).

Kā liecina 2.5. tabulas dati, centrālākajos novados ir labāki ekonomiskie rādītāji, lielāks IKP uz vienu iedzīvotāju un ienākuma nodokli uz vienu iedzīvotāju, atspoguļojot attīstītākas ekonomikas, labāku piekļuvi tirgiem un augstāku ienākumu līmeni. Vides aspektā šajos apgabalos ir zemākas SEG emisijas uz vienu iedzīvotāju, bet koncentrētas saimnieciskās darbības dēļ tiem ir augstākas emisijas uz vienu km^2. Savukārt attālāk izvietotie novadi saskaras ar ekonomiskām problēmām – zemāku IKP uz vienu iedzīvotāju un ienākuma nodokli uz vienu iedzīvotāju, atspoguļojot to ģeogrāfisko izolētību, zemāku ekonomisko aktivitāti un mazāku ekonomisko iespēju pieejamību. To lielās SEG emisijas uz vienu iedzīvotāju norāda uz mazāk efektīvu enerģijas izmantošanu un lielākām vides problēmām, lai gan kopējās SEG emisijas uz vienu km^2 ir mazākas plašo un mazapdzīvoto teritoriju dēļ.

Transporta efektivitātes būtība centrālajās un attālās Latvijas teritorijās atspoguļo katras no tām atšķirīgās ekonomiskās un vides īpatnības. Centrālākajām Latvijas pašvaldībām, gan pilsētām, gan novadiem, transporta efektivitāti vairo labi attīstīti ceļu tīkli, lielāks ceļu blīvums, labāka transporta infrastruktūra. Šī efektivitāte veicina saimnieciskās darbības, bet tai ir nepieciešama rūpīga pārvaldība, lai līdzsvarotu ekonomisko izaugsmi ar vides ilgtspējību. Attālākajos reģionos transporta efektivitāte ir zemāka, jo ir mazāk attīstīta transporta infrastruktūra, mazāks ceļu blīvums un elektromobiļi tiek pieņemti minimāli. Efektivitātes problēmas sarežģī garāki attālumi un lielākas transportēšanas izmaksas, tādējādi apgrūtinot ekonomikas un vides ilgtspējas sasniegšanu.

Secinājumi

Šajā pētījumā uzsvērtas atšķirības starp centrālām un attālākām Latvijas pašvaldībām gan pilsētu, gan novadu līmenī, uzsverot nepieciešamību pēc mērķtiecīgas transporta politikas, kas risinātu katras grupas unikālo ekonomiskās produktivitātes un vides ilgtspējas kontekstu. Centrālie novadi gūst labumu no pilsētu centru un infrastruktūras tuvuma, bet attālākie novadi cīnās ar ekonomisko izolāciju un vides neefektivitāti. Teritorijas 100 km rādiusā ap Latvijas galvaspilsētu ir "cita pasaule", salīdzinot ar attālo Latviju, kas atrodas vairāk nekā 100 km attālumā no Rīgas. Pašreizējā ģeopolitiskā situācija un sankcijas/ierobežojumi pret Krieviju un Baltkrieviju nav šīs situācijas iemesls, jo nomaļajās Latvijas pašvaldībās pie robežām ar Igauniju un Lietuvu ir līdzīgs ekonomiskās produktivitātes un vides ilgtspējas konteksts, kā arī līdzīga transporta efektivitāte kā nomaļajās pašvaldībās pie robežām ar Krieviju un Baltkrieviju.

Transporta efektivitāti centrālajā un attālajā Latvijā būtiski ietekmē katras teritorijas ekonomiskie un vides profili. Centrālie apgabali gūst labumu no tuvuma Rīgai ar labāku infrastruktūru un ekonomiskajām iespējām, bet saskaras ar vides problēmām koncentrētu emisiju dēļ. Attālāk izvietotie reģioni cieš no ekonomiskās un transporta neefektivitātes izolācijas un nepietiekami attīstītas transporta infrastruktūras dēļ, kā rezultātā uz vienu iedzīvotāju tiek radīta lielāka ietekme uz vidi. Lai uzlabotu pārvadājumu efektivitāti visā Latvijā, ir nepieciešamas mērķtiecīgas stratēģijas atsevišķi centrētām un attālām Latvijas teritorijām. Centrālajām teritorijām galvenā uzmanība ir pievērsta transporta tīklu optimizēšanai, elektromobiļu popularizēšanai un ilgtspējīgu pilsētas transporta risinājumu integrēšanai. Attālāk izvietotajām teritorijām ir vajadzīgi ieguldījumi transporta infrastruktūras uzlabošanā, piemēram, lauku ceļu modernizācijā un inovatīvu, lokalizētu transporta risinājumu, piemēram, kopīgu mobilitātes pakalpojumu, izpētē, lai uzlabotu piekļuvi un samazinātu emisijas. Šie pasākumi var palīdzēt līdzsvarot ekonomisko izaugsmi ar vides ilgtspēju, kas pielāgota Latvijas centrēto un attālo teritoriju specifiskajām vajadzībām un iespējām.

Rakstā iekļautās daļas pirmēji angļu valodā publicētas konferences krājuma "*Reliability and Statistics in Transportation and Communication: Human Sustainability and Resilience in the Digital Age: Selected Papers from the 24th International Multidisciplinary Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat-2024)"* rakstā *"Transportation Efficiency in Latvia in the Context of Economic Productivity and Environmental Sustainability*" (https://doi.org/10.1007/978-3-031-87532-8_57).

Literatūra un avoti

Balodis, J. (2022). Pasaules valstu ražīguma un produktivitātes atkarība no transporta attīstības. In Meņšikovs, V. (Ed.), *Starptautiskās zinātniskās konferences "Sociālās zinātnes reģionālajai attīstībai 2021" materiāli. III daļa: Ekonomikas* (5.–19. lpp.). Daugavpils: Daugavpils Universitāte.

Balodis, J. (2023). Teritorijas transporta attīstības novērtēšanas metodoloģija. In Meņšikovs, V. (Ed.), Starptautiskās zinātniskās konferences *"Sociālās zinātnes reģionālajai attīstībai 2022" materiāli. III daļa: Ekonomikas* (5.–21. lpp.). Daugavpils: Daugavpils Universitāte.

Balodis, J., Komarova, V., Čižo, E., Ruza, O., & Kokarevica, A. (2022). Assessing the transport development of the European Union countries. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 10 (2), 130–146.
https://doi.org/10.9770/jesi.2022.10.2(8).

Centrālā statistikas pārvalde. (2024). *Statistikas datubāzes.* Iegūts no https://data.stat.gov.lv.

Din, A. U., Ming, J., Vega-Muñoz, A., Salazar, G., & Contreras-Barraza, N. (2022). Population Density: An Underlying Mechanism Between Road Transportation and Environmental Quality. *Environmental Economics and Management*, 10.
https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.940911.

Dobrinevski, A., & Jachnik, R. (2020). *Exploring options to measure the climate consistency of real economy investments: the transport sector in Latvia* (OECD Environment Working Paper 163). OECD Publishing. Iegūts no https://one.oecd.org/document/ENV/WKP(2020)10/en/pdf.

Kish, L. (1965). Survey Sampling. New York: John Wiley and Sons.

Komarova, V., Čižo, E., Balodis, J., Kokarevica, A., Ruza, O., & Kudins, J. (2023). Development of transport infrastructure and its impact on territorial production. *Entrepreneurship and Sustainability Issues,* 10 (4), 338–356.
https://doi.org/10.9770/jesi.2023.10.4 (21).

Komarova, V., Ignatjeva, S., Kudins, J., Kokarevica, A., Ostrovska, I., & Čižo, E. (2024). Latvian municipal budget expenditures on transport infrastructure and production in the context of improving the local economy. *Journal of Eastern European and Central Asian Research*, 11 (4), 736–753.
https://doi.org/10.15549/jeecar.v11i4.1608.

Koršenkovs, J., Ignatjevs, S., & Dembovskis, V. (2019). Teorētiskais un metodoloģiskais pamatojums ražīguma un produktivitātes izpētei reģionālajā ekonomikā. *Sociālo Zinātņu Vēstnesis = Social Sciences Bulletin*, 29(2), 25–64.
https://doi.org/10.9770/szv.2019.2 (2).

Kotlars, A., & Skribans, V. (2023). Development and Practical Application of Hybrid Decision-Making Model for Selection of Third-Party Logistics Service Providers. *Transport and Telecommunication*, 24 (4), 443–458.
https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/ttj-2023-0035.

Mauris, J. (2022, 20. maijs). *Latvian transport sector. Long good-bye to the East-West transport corridor.* Macroeconomics. Iegūts no https://www.macroeconomics.lv/raksti/latvian-transport-sector-long-good-bye-east-west-transport-corridor.

Paula, D. (2021, 20. aprīlis). *Strengthening the Green Deal in Latvia: what could we expect from electrical mobility?* Macroeconomics. Iegūts no https://www.macroeconomics.lv/raksti/strengthening-green-deal-latvia-what-could-we-expect-electrical-mobility.

Queiroz, H. S. Júnior, Celestino, M. A. S., Falcão, V. A., da Silva, F. G. F., Andrade, M. O., & Brasileiro, A. (2024). Evaluating sustainable efficiency: A study on transportation systems in South America using data envelopment analysis. *Latin American Transport Studies*, 2, 100012. https://doi.org/10.1016/j.latran.2024.100012.

Rehman, F. U., Islam, Md. M., & Miao, Q. (2023). Environmental sustainability via green transportation: A case of the top 10 energy transition nations. *Transport Policy*, 137, 32–44. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2023.04.013.

Saeima of Latvia. (2020, 22. jūnijs). *Law on administrative territories and populated areas.* Latvijas Vēstnesis=Bulletin of Latvia, 119C. Iegūts no https://likumi.lv/ta/en/en/id/315654.

Skribans, V., & Kotlars, A. (2024). European cargo vehicle market dataset for 2023. *Data in Brief*, 55, 110648. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340924006152?dgcid=rss_sd_all.

Valsts kase. (2024). *Pamatbudžeta ieviešanas ziņojums* (2PB_Pasv). Iegūts no https://e2.kase.gov.lv/pub5.5_pasv/code/pub.php?module=pub.

Zalamane, D. (2020). Ar nodokli vecāku automašīnu iegādei Latvijā plāno veicināt autoparka atjaunināšanu. *LSM*. Iegūts no https://www.lsm.lv/raksts/zinas/ekonomika/ar-nodokli-vecaku-automasinu-iegadei-latvija-plano-veicinat-autoparka-atjauninasanu.a372414/.

3.

Nodokļu stratēģijas elektrisko transportlīdzekļu veicināšanai pilsētu teritorijās

Vadošais pētnieks *Dr. oec.* Māris Jurušs, Rīgas Tehniskā universitāte

Ievads

Tēmas aktualitāte

E-komercijas un pēdējās jūdzes piegādes pakalpojumu straujā paplašināšanās ir radījusi būtiskas vides problēmas pilsētu teritorijās. Pilsētas saskaras ar pieaugošiem satiksmes sastrēgumiem un emisijām no piegādes transportlīdzekļiem. Ir nepieciešami pasākumi, tostarp efektīva nodokļu politika, kas veicina ilgtspējīgu pēdējās jūdzes sadali, vienlaikus saglabājot ekonomisko dzīvotspēju.

Ar elektrisko transportlīdzekļu popularitātes straujo pieaugumu pēdējos gados valdības saskaras ar vairākiem izaicinājumiem. Ir jāatrod risinājums, kā saglabāt budžeta ieņēmumus, ko līdz šim nodrošināja degvielas nodokļi, vienlaikus sasniedzot vides mērķus. Turklāt pieaug nepieciešamība pēc budžeta izdevumiem, lai atbalstītu pāreju uz alternatīvo transportu un vēl svarīgāk – nodrošinātu uzlādes infrastruktūras un citas investīcijas.

Nepieciešamas pārdomātas nodokļu stratēģijas, lai nodrošinātu ilgtermiņa finansējumu infrastruktūras projektu finansēšanai, saglabājot budžeta ieņēmumus valsts pieaugošo vajadzību apmierināšanai. Jāpēta, kādas ir alternatīvas degvielas nodokļu ieņēmumu samazināšanās kompensēšanai, piemēram, ieviešot jaunus nodokļu vai nodevu maksājumus arī par elektriskajiem transportlīdzekļiem – to reģistrāciju, izmantošanu vai par to izmantotajiem resursiem – akumulatoriem vai elektroenerģiju.

Elektrisko transportlīdzekļu izmantošana, kas ir efektīva un videi draudzīga, pieaug, pateicoties valdības stimuliem, piemēram, finansiālam atbalstam un nodokļu atlaidēm, tomēr to izplatība tirgū joprojām ir ierobežota dažādu finansiālo, tehnoloģisko, sociālo un infrastruktūras faktoru dēļ (Ņesterenko et al., 2024).

Nepieciešami pētījumi, kas ieinteresētajām personām un politikas veidotājiem sniegtu ieteikumus, kā veicināt alternatīvu transporta veidu izmantošanu pēdējās jūdzes preču sadalē, saglabājot vides ietekmes un ekonomiskās attīstības līdzsvaru.

Raksta oriģinalitāti apliecina detalizētā izpēte par patērētāju attieksmi pret elektriskajiem transportlīdzekļiem mijiedarbībā ar nodokļu jautājumiem un infrastruktūras attīstības izaicinājumiem.

Mērķis un uzdevumi

Šajā rakstā pētīta fiskālo instrumentu loma videi draudzīgas piegādes prakses ieviešanas veicināšanā, īpašu uzmanību pievēršot nodokļu stimuliem un to ietekmei uz pilsētu loģistikas pārveidi. Mērķis ir izpētīt ekonomisko ietekmi, ko rada pāreja no iekšdedzes dzinēja transportlīdzekļiem uz elektriskajiem transportlīdzekļiem.

Vides ekonomikas dilemmu risināšanā ir dažādas hipotēzes, kā, piemēram, dubultā ieguvuma hipotēze (*double-dividend hypothesis*) (Freire-González, 2018; Fullerton & Metcalf, 1997), kuras pamatā ir diskusijas, ka arī vides jautājumu risināšana var dot ieguvumu inovācijām, tehnoloģiskajam progresam, uzņēmējdarbības attīstībai un ekonomikas izaugsmei kopumā. Šajā rakstā diskusijās lielāka uzmanība pievērsta ekonomikas attīstības novērtējuma atsaistei no vides jautājumiem (*decoupling*) (Deutch, 2017; Shuai ChenYang et al., 2019; Wu et al., 2018).Galvenā uzmanība pievērsta degvielas nodokļa ieņēmumu samazinājumam un būtiskajiem ieguldījumiem, kas vajadzīgi uzlādes infrastruktūrai.

Izpētot dažādu valstu nodokļu un fiskālo politiku attiecībā uz elektrisko transportlīdzekļu aplikšanu ar nodokļiem un infrastruktūras attīstību, politikas veidotāji var izveidot efektīvas stratēģijas, kas līdzsvaro finanšu stabilitāti ar vides mērķiem (Ņesterenko et al., 2024).

Ir jāizvērtē dažādi aspekti, tostarp ekonomiskie, no darba vietu rašanās elektrisko transportlīdzekļu ražošanā, infrastruktūras uzturēšanā un citiem aspektiem.

Tēmas dimensijas

Raksts ietver detalizētu analīzi par to, kā pāreja uz elektriskajiem transportlīdzekļiem ietekmēs tradicionālo automobiļu piegādes ķēdi, kas, iespējams, novedīs pie jaunu piegādātāju parādīšanās un esošo pārveidošanas. Pētījumā ietverts arī ietekmes uz naftas nozari novērtējums, tostarp nepieciešamība pēc diversifikācijas stratēģijām.

Vēl uzmanība pievērsta ietekmei uz elektrotīklu. Rakstā novērtētas investīcijas infrastruktūrā, kas nepieciešamas, lai atbalstītu pieaugošo elektrisko transportlīdzekļu parku, un viedo uzlādes tehnoloģiju priekšrocības elektroenerģijas pieprasījuma pārvaldībā. Turklāt pētīts, kā elektriskie transportlīdzekļi var darboties kā mobilas enerģijas uzglabāšanas vienības, uzlabojot tīkla stabilitāti maksimālā pieprasījuma periodos un dodot iespēju enerģētikas nozarē izveidot jaunus uzņēmējdarbības modeļus.

Aplūkotas elektrisko transportlīdzekļu ieviešanas globālās ekonomiskās sekas, tostarp tās ietekme uz starptautisko tirdzniecību, izejvielu tirgiem un ģeopolitiskajām attiecībām.

Lai sasniegtu ES izvirzītos Eiropas Zaļā kursa mērķus, ir jāizvērtē elektrisko transportlīdzekļu iespējas un gaisa piesārņojuma mazināšanas iespējas pilsētās. Neskatoties uz elektrisko transportlīdzekļu reģistrāciju pieaugumu, to kopējais skaits

joprojām ir zems, un pilsētu gaisa piesārņojums joprojām ir nozīmīga problēma (Juruss et al., 2024a).

Lai veicinātu elektrisko transportlīdzekļu ieviešanu, pastāv vairāki alternatīvi risinājumi. Rakstā ietverti vairāku risinājumu apskats no veiktajiem padziļinātajiem pētījumiem, tostarp nodokļu diferencēšana, nodokļu piemērošana, kas balstās nobraukumā, nevis automobiļos vai izmantoto resursu veidā, kā arī investīciju veicināšanas pasākumi, tostarp tehnoloģiju attīstībai (Juruss et al., 2024a).

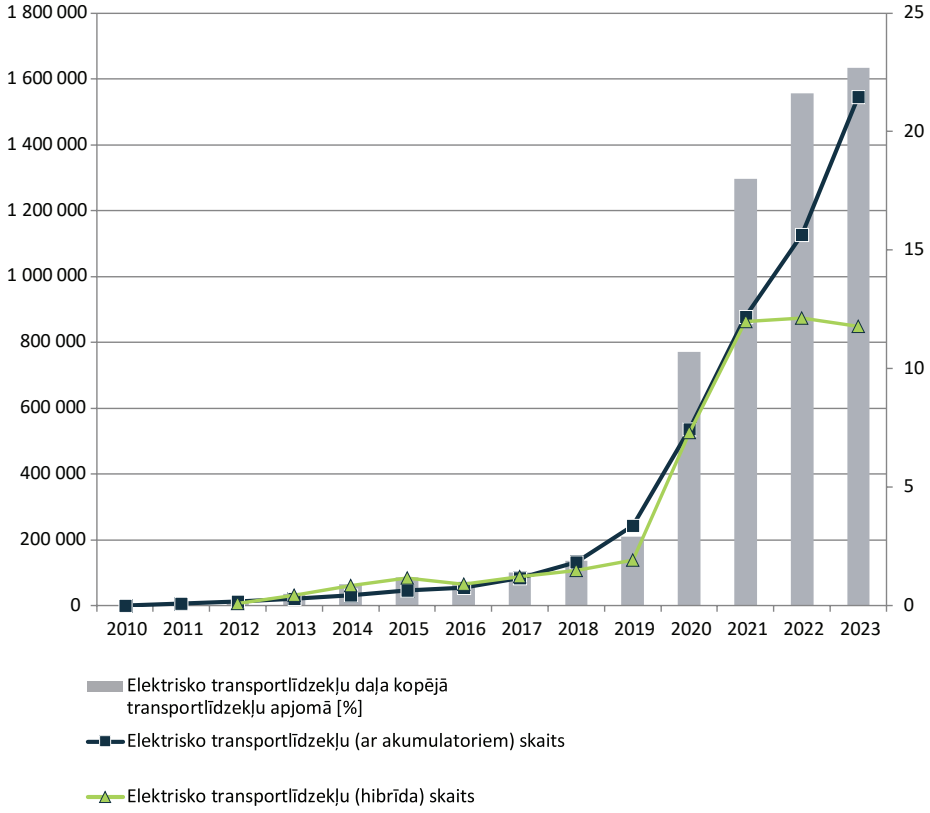
Rakstā ietverts literatūras apskats, kas balstās dažādu pētījumu atziņās. Viens no aspektiem ir nodokļu atlaides, kas var veicināt alternatīvo transportlīdzekļu pārdošanu, bet arī radīt izmaksas vai negūtos ieņēmumus valstij. Turklāt jāmeklē līdzvērtīga pieeja dažādiem transporta veidiem, piemēram, privātpersonu lietojumā esošiem transportlīdzekļiem un komerciāliem transportlīdzekļiem.

1. Datu analīze

1.1. Elektrisko transportlīdzekļu tirgus

Elektrisko transportlīdzekļu izmantošana Eiropā ir kļuvusi ļoti populāra gan personu privātām vajadzībām, gan komerciāliem nolūkiem. Šāds pieaugums vērojams jau no 2013. gada, kad strauji sāka pieaugt šo transportlīdzekļu tirgus daļa, bet vēl būtiskāks pieaugums ir novērojams no 2019. gada (European Environment Agency, 2024).

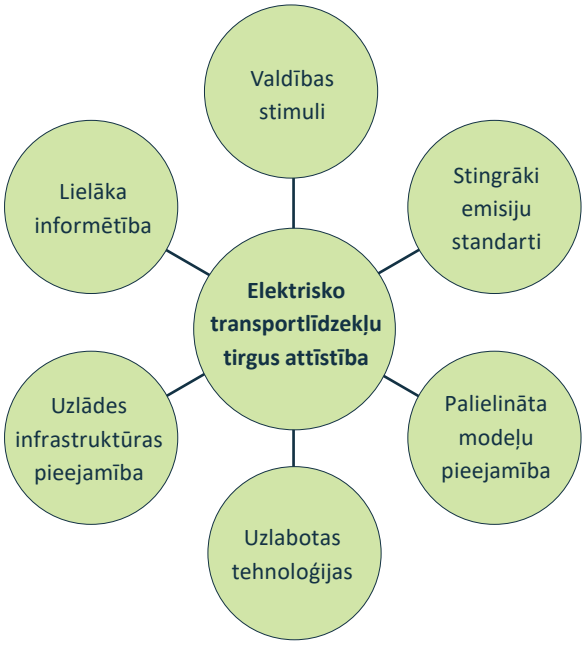
Turpmākajos gados elektromobiļu tirgus pieauga vēl dramatiskāk, 2020. gadā veidojot 10,7 %, bet 2021. gadā – pārsteidzošus 18,0 %. Šī straujā izaugsme norāda uz būtiskām izmaiņām patērētāju gaumē un tendencēs automobiļu nozarē, kas, iespējams, ir labvēlīgu valdības noteikumu, uzlabotas vides apziņas un labāku tehnoloģiju rezultāts (sk. 3.1. attēlu).



3.1. attēls. **Reģistrēto elektrisko transportlīdzekļu skaits Eiropas Savienībā** (European Environment Agency, 2024).

Reģistrēto elektrisko transportlīdzekļu skaits pēdējos gados apsteidza hibrīda transportlīdzekļu skaitu, kas liecina par patērētāju priekšroku pilnībā elektriskiem transportlīdzekļiem. Elektrisko transportlīdzekļu tirgus daļa pieauga no 0 % 2010. gadā līdz 22,7 % 2023. gadā.

Sākotnēji (2010–2015) izaugsme bija lēna, bet 2016.–2019. gadā tā kļuva stabilāka. No 2020. gada sākās straujš pieaugums, ko veicināja valdības atbalsts, stingrāki emisiju standarti, plašāks modeļu klāsts, uzlabota tehnoloģija un pieejamāka uzlādes infrastruktūra (sk. 3.2. attēlu).

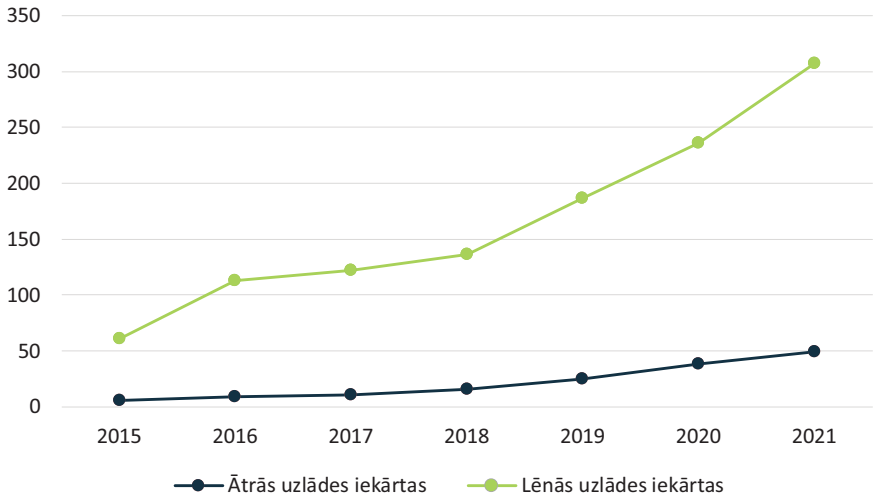


3.2. attēls. **Elektrisko transportlīdzekļu tirgus galvenie izaugsmes iemesli** (Juruss et al., 2024a; Ņesterenko et al., 2024).

Pieaugošā klientu interese par elektriskajiem transportlīdzekļiem atspoguļojas šajā eksponenciālajā pieaugumā, ko veicināja akumulatoru tehnoloģiju attīstība, labvēlīgi valdības tiesību akti un pieaugošā vides apziņa. Elektrisko transportlīdzekļu tirgus daļas straujā paplašināšanās ne tikai parāda patērētāju mainīgās vēlmes, bet arī norāda uz iespējamu paradigmas maiņu automobiļu rūpniecībā, kam ir tālejoša ietekme uz ražotājiem, politikas veidotājiem un infrastruktūras attīstību.

1.2. Infrastruktūra

Elektrisko transportlīdzekļu skaita palielināšanās ietekmē arī attiecīgas infrastruktūras attīstību. No 2015. līdz 2021. gadam gan ātro, gan lēno lādētāju skaits palielinājās, atspoguļojot centienus atbalstīt pieaugošo elektrisko transportlīdzekļu skaitu (sk. 3.3. attēlu).



3.3. attēls. **Ātrās un lēnās uzlādes iekārtas Eiropā, tūkst.**
(International Energy Agency, 2022).

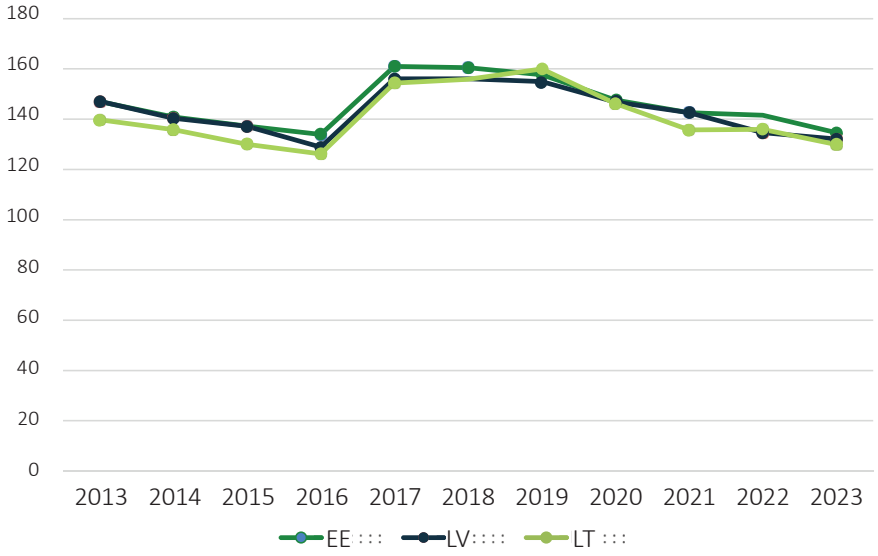
Tomēr joprojām dominēja lēnie lādētāji, kas liecina par sākotnējo koncentrēšanos uz plaši pieejamu, zemāka ātruma uzlādi lietošanai naktī vai galamērķī. Neskatoties uz to, ātrie lādētāji piedzīvoja spēcīgu izaugsmi, ko veicināja pieprasījums pēc ātrākas uzlādes garākos braucienos. Laikā no 2015. līdz 2021. gadam ātro lādētāju skaits pieauga vairāk nekā astoņas reizes (no 6000 līdz 49 000), savukārt lēno lādētāju skaits pieauga gandrīz piecas reizes (no 61 000 līdz 307 000). 2015.–2017. gadā vērojama mērena izaugsme, jo elektrisko transportlīdzekļu tirgus joprojām bija sākuma stadijā. Savukārt 2018.–2021. gadā jau vērojama strauja uzlādes tīkla paplašināšanās, ko veicināja pieaugoša elektrisko transportlīdzekļu ieviešana, valdības stimuli, privātā sektora investīcijas un uzlaboti uzlādes standarti.

Elektrisko transportlīdzekļu uzplaukums ir veicinājis strauju uzlādes infrastruktūras attīstību. Pieaugot elektrisko transportlīdzekļu skaitam, radās nepieciešamība pēc uzlādes vietu skaita palielinājuma. Tādējādi infrastruktūras attīstībai arvien vairāk tiek sniegts arī valdības atbalsts: subsīdijas, nodokļu atvieglojumi un atbalstoši regulējumi. Privātie uzņēmumi arī spēlēja nozīmīgu lomu, investējot uzlādes tīklu izveidē un uzturēšanā. Tehnoloģiju attīstība padarīja uzlādi ātrāku un efektīvāku, savukārt autovadītāji pieprasīja ērtākas un uzticamākas uzlādes iespējas.

Nākotnē infrastruktūras paplašināšanās turpināsies, jo arvien vairāk cilvēku pāriet uz elektriskajiem transportlīdzekļiem. Pieprasījums pēc lieljaudas uzlādes stacijām pieaugs, īpaši garākiem braucieniem. Uzlādes iekārtu stratēģiskajai izvietošanai būs būtiska nozīme, nodrošinot pieejamību pilsētās, uz automaģistrālēm, darbavietās un mājās. Turklāt arvien vairāk uzlādes tīklu tiks integrēti ar atjaunojamiem energoresursiem, samazinot emisijas. Viedās uzlādes tehnoloģijas ļaus optimizēt enerģijas patēriņu, padarot uzlādi efektīvāku un izdevīgāku.

1.3. Ietekme uz vidi

Transports ir viens no galvenajiem faktoriem, kas rada vislielāko vides piesārņojumu visā Eiropas Savienībā. Lai arī pēdējos gados jaunu vieglo automobiļu vidējās CO_2 emisijas uz kilometru ES samazinās, tomēr joprojām samazinājums ir nepietiekams (sk. 3.4. attēlu).



3.4. attēls. **Jaunu vieglo automobiļu vidējās CO_2 emisijas uz km**
(Eurostat, 2024a).

ES 27 dalībvalstīs kopumā ir skaidra un būtiska jaunu vieglo automobiļu radīto CO_2 emisiju samazināšanās tendence uz kilometru, jo īpaši sākot no 2007./2008. gada. Tas norāda uz jaunu autoparku efektivitātes palielināšanos un pāreju uz transportlīdzekļiem ar zemāku emisiju līmeni. Ievērojams kritums vērojams pēdējos gados. Vislielākie samazinājumi parādās laikā no 2019. līdz 2023. gadam. Tas, visticamāk, atspoguļo ietekmi, ko rada stingrāki ES emisiju standarti, elektrisko transportlīdzekļu un hibrīdautomobiļu lielāka pieejamība un ieviešana, kā arī izmaiņas patērētāju uzvedībā.

Dažādu ES dalībvalstu emisiju līmeņi un to samazinājuma tempi būtiski atšķiras. Dažās valstīs pastāvīgi ir zemākas emisijas nekā citās, un dažas valstis laika gaitā ir panākušas lielāku samazinājumu.

Ir valstis, kas dažos gados (īpaši ap 2017.–2019. gadu) piedzīvoja īslaicīgu emisiju pieaugumu, pirms atsāka lejupejošo tendenci. Tas varētu būt saistīts ar konkrētām politikas izmaiņām, patērētāju izvēles maiņu attiecībā uz lielākiem transportlīdzekļiem (piemēram, apvidus automobiļiem) vai īslaicīgām neveiksmēm tehnoloģiju attīstībā. Baltijas valstīs ir līdzīgas tendences.

Kopumā ES Austrumeiropas dalībvalstīs ir augstākas emisijas, jo tirgū dominē vecāks autoparks. Tomēr arī šajās valstīs pēdējos gados ir tendence CO_2 emisijām samazināties.

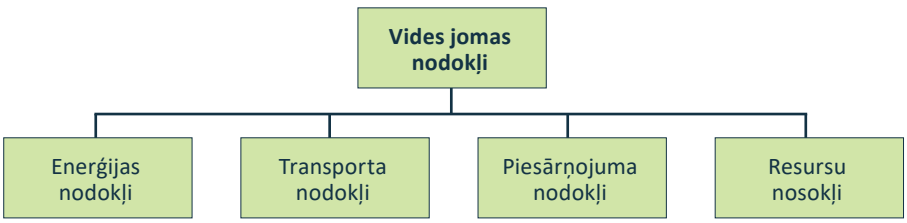
Vācija, kas ir liela automobiļu ražotājvalsts, uzrāda skaidru samazināšanās tendenci, taču samazinājuma temps šķiet mazāk izteikts nekā dažās citās valstīs. To varētu ietekmēt priekšrokas došana lielākiem, jaudīgākiem transportlīdzekļiem. Ap 2017.–2019. gadu ir vērojams emisiju pieaugums. Valstis, kas ir spēcīgi stimulējušas elektrisko transportlīdzekļu ieviešanu (piemēram, Nīderlande, Dānija un nesen Somija un Zviedrija), vēlākajos datu kopas gados uzrāda ļoti ievērojamu CO_2 emisiju kritumu.

Stingrāki ES CO_2 noteikumi ir mudinājuši autoražotājus ražot degvielu taupošākus transportlīdzekļus, tostarp hibrīdus un elektriskos modeļus. Valstu politika, piemēram, nodokļu atvieglojumi un subsīdijas ilgtspējīgam transportam, ir vēl vairāk paātrinājusi šo pāreju. Tehnoloģiskie sasniegumi dzinēju, aerodinamikas un transportlīdzekļu svara samazināšanas jomā arī ir veicinājuši emisiju samazināšanos, un galvenā loma ir hibrīda un elektriskajām inovācijām. Patērētāju vēlmes attīstās, un arvien lielāka izpratne par vidi veicina pieprasījumu pēc automobiļiem ar ekonomisku degvielas patēriņu. Turklāt pieaugošās degvielas cenas veicina efektīvāku transportlīdzekļu izvēli, savukārt ekonomiskie apstākļi ietekmē vispārējās pirkšanas tendences.

Jāatzīmē, ka uz mobilitāti iespaidu atstāja *Covid-19* pandēmija un citas krīzes. Analizējot datus no *Google* izsekošanas informācijas par transportu, kā arī aptaujas par attālināto darbu un ekonomiskajiem faktoriem, var novērot, ka mobilitāti noteica valdības politika, enerģijas cenas, darba modeļi un drošības apsvērumi (Jurušs & Brizga, 2023).

1.4. Vides nodokļu ieņēmumi

Vides nodokļu ieņēmumu dati sniedz informāciju par ieņēmumu apjomu, ko valdības iekasē no nodokļiem, kas īpaši paredzēti vides jautājumu risināšanai. Šos nodokļus parasti piemēro darbībām vai produktiem, kam ir negatīva ietekme uz vidi, piemēram, piesārņojumam, resursu izmantošanai vai siltumnīcefekta gāzu emisijām.



3.5. attēls. **Vides jomas nodokļu klasifikācija.**

Enerģijas nodokļi ir vieni no populārākajiem, un tiem var būt īpaša maksāšanas kārtība. Nodokļus var klasificēt dažādi pēc to veidiem. Ir vairāki nodokļi, kas atbilst vides jomas nodokļu veidiem (sk. 3.5. attēlu).

Enerģijas nodokļus piemēro degvielai, elektroenerģijai, gāzei, oglēm un citiem enerģijas avotiem. Vēsturiski šie nodokļi ir bijuši izplatīti daudzās valstīs, piemēram, kā akcīzes nodokļi degvielai, un parasti nodrošinājuši ievērojamus valsts budžeta ieņēmumus. Faktiskie šie nodokļi ir visbūtiskākie valsts budžeta interesēm. Šī iemesla dēļ ES šos nodokļus harmonizē, nosakot minimālās likmes, apliekamo produktu struktūru un administrēšanas kārtību (Jurušs, 2019, 2021).

Transporta jomā fiskālie maksājumi ietver gan nodokļus (piemēram, par transportlīdzekļu reģistrāciju vai turēšanu), gan nodevas par infrastruktūras izmantošanu (piemēram, ceļa nodevas).

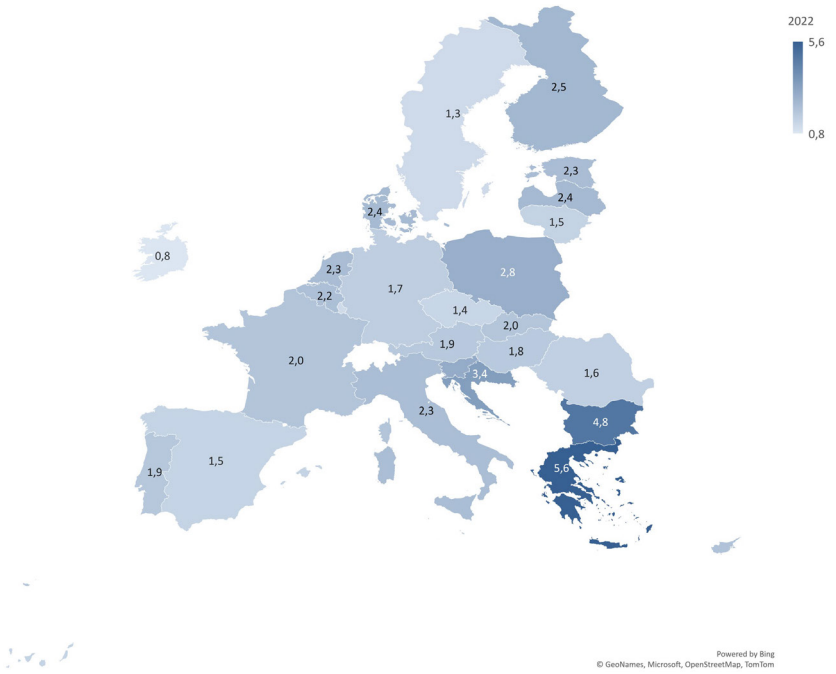
Piesārņojuma nodokļi ir tipiski nodokļi, kas maksājami par vides piesārņojumu. Savukārt resursu nodokļus maksā par dabas resursiem ieguvi vai izmantošanu (Central Statistical Bureau of Latvia, 2021). Abi šie nodokļi var būt integrēti vienā, piemēram, Latvijā ir vienots dabas resursu nodoklis. Transportlīdzekļu gadījumā šo nodokli piemēro par kaitīgo preču (autmobiļu riepu) pārdošanu, kā arī jauniem vieglajiem transportlīdzekļiem – nolietoto automobiļu apsaimniekošanas nodrošināšanai.

Lielākajā daļā ES valstu laikposmā no 2013. līdz 2022. gadam bija vērojams vides nodokļa ieņēmumu pieaugums (sk. 3.6. attēlu). Tas liecina par pieaugošu paļaušanos uz vides nodokļiem kā ieņēmumu avotu un/vai ar nodokli apliekamo darbību pieaugumu. Tomēr tas ir jāinterpretē piesardzīgi. Ideālā gadījumā vides nodokļi atturētu no videi kaitīgas rīcības, un ieņēmumi no šiem nodokļiem laika gaitā samazinātos (Eurostat, 2024b).

Vides nodokļu pieauguma temps dažādās valstīs ievērojami atšķiras. Dažas valstis ir piedzīvojušas salīdzinoši pieticīgu izaugsmi, bet citas ir piedzīvojušas ievērojamu pieaugumu. 2020. gadā, kas ir *Covid-19* pandēmijas gads, daudzās valstīs (lai gan ne visās) vides nodokļa ieņēmumi kopumā samazinājās. Tas, visticamāk, atspoguļo ekonomiskās aktivitātes samazināšanos, jo īpaši tādās nozarēs kā transports un enerģijas patēriņš, kuras apliktas ar lieliem nodokļiem. Daudzas valstis uzrāda vides nodokļa ieņēmumu atjaunošanos 2021. un 2022. gadā, ekonomikai atveseļojoties. Tomēr dažās valstīs nodokļu ieņēmumu līmenis joprojām nav atguvies no pirmspandēmijas tendencēm. Arī enerģētikas krīzes, kas saistīta ar karu Ukrainā, ilgtermiņa ietekme tikai tagad sāk parādīties 2022. gada datos.

Vācijas, Francijas un Itālijas vides nodokļu ieņēmumi pastāvīgi ir vislielākie, ņemot vērā to ekonomikas milzīgo apjomu un patēriņa līmeni. Polija un Bulgārija laikaposmā no 2013. līdz 2022. gadam piedzīvoja vienu no būtiskākajiem vides nodokļa ieņēmumu procentuālajiem palielinājumiem. Tas var atspoguļot centienus pielāgoties ES vides standartiem vai palielināt saimniecisko darbību nozarēs, uz kurām attiecas vides nodokļi. Labus rezultātus uzrāda Dānija, kas liecina par tās sekmīgu politiku vides jomā. Nīderlandē ir vērojama relatīvi stabila, lai gan pieaugoša, ieņēmumu tendence. Kā valsts, kam jau ir salīdzinoši attīstīta vides politika, tā jau var būt optimizēta. Tomēr 2022. gadā ir vērojams neliels ieņēmumu kritums. Īrijā ir svārstīgāki

ieņēmumi nekā citās valstīs. Iemesli var atspoguļot ārējos faktorus, kas ietekmē ekonomisko aktivitāti Īrijā. Luksemburgai, neraugoties uz tās turīgumu, ir salīdzinoši nelieli vides nodokļu ieņēmumi (absolūtajos skaitļos). Itālijas milzīgais samazinājums 2022. gadā ir jāturpina pētīt, jo procentuālais tas ir ļoti liels, lai pēc pandēmijas ietekmētā krituma 2020. gadā ieņēmumu tendence 2021. gadā jau bija pozitīva.



3.6. attēls. **Vides nodokļu ieņēmumi Eiropas Savienības valstīs, % no IKP 2022. gadā** (Eurostat, 2024b).

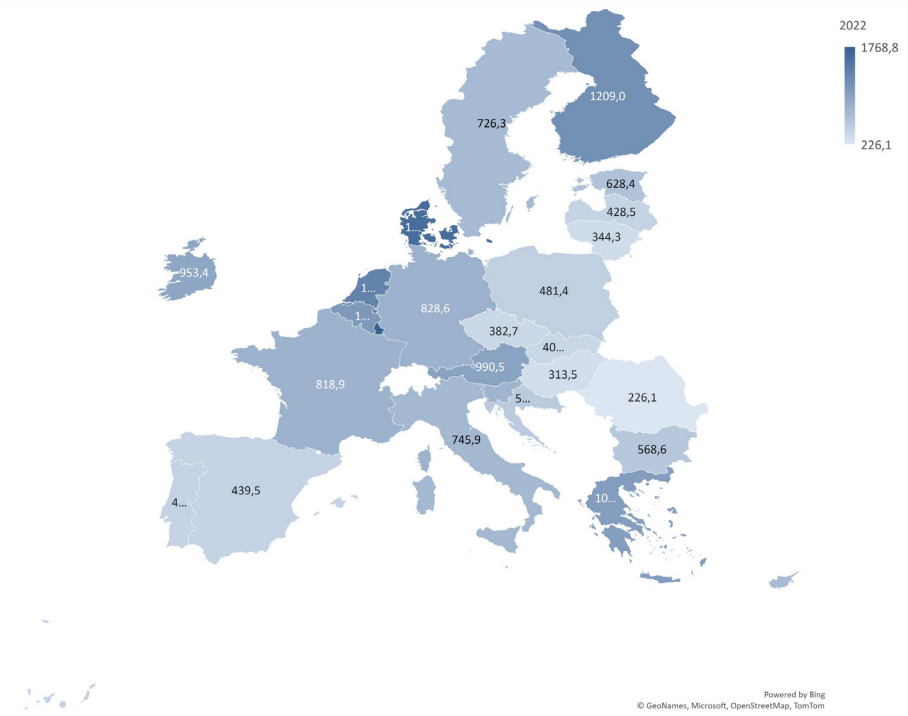
Kopējai ekonomikas izaugsmei un valsts ekonomikas struktūrai (piemēram, ražošanas, transporta un energoietilpīgo nozaru relatīvajai nozīmei) ir liela ietekme uz vides nodokļu ieņēmumiem (sk. 3.6. attēlu).

ES direktīvas un regulas ir veicinājušas vides jautājumu risināšanu, lai gan valstīm ir dota rīcību brīvība izstrādāt un īstenot sev piemērotu politiku.

Nodokļa likmju, nodokļa bāzes un atbrīvojumu izmaiņas tieši ietekmē gūto ieņēmumu summu. Tīrāku tehnoloģiju ieviešana un patēriņa modeļu maiņa (piemēram, elektriskie transportlīdzekļi) var ietekmēt ieņēmumus. Enerģijas cenu svārstības var ietekmēt enerģijas patēriņu un līdz ar to arī enerģijas nodokļa ieņēmumus. Jāatzīmē, ka arī *Covid-19* pandēmija būtiski ietekmēja ekonomisko aktivitāti un nodokļu ieņēmumus.

Vides nodokļi parasti ir vērsti uz piesārņojumu, resursu ieguvi, atkritumu apsaimniekošanu un oglekļietilpīgām darbībām. Pēc būtības tie var stimulēt zemākas

emisijas, veicināt energoefektivitāti un finansēt vides iniciatīvas. Tā kā ES dalībvalstis turpina stiprināt savas saistības klimata jomā, vides nodokļu ieņēmumi var sniegt ieskatu par šīs zaļās politikas darbības jomu un mērķiem.



3.7. attēls. **Vides nodokļu ieņēmumi Eiropas Savienības valstīs, EUR uz vienu iedzīvotāju 2022. gadā** (Eurostat, 2024b).

Lielākajā daļā Eiropas valstu vides nodokļa ieņēmumi desmit gadu laikā kopumā ir palielinājušies (sk. 3.7. attēlu). Šis pieaugums bieži atspoguļo esošo nodokļu (piemēram, enerģijas un transporta nodokļu) palielināšanos vai jaunu nodokļu (piemēram, plastmasas maisiņu nodevu, oglekļa nodokļu) ieviešanu. Tomēr dati arī parāda, ka, lai gan vispārējais virziens ir augšupejošs, ir izņēmumi – dažās valstīs pēdējos gados ieņēmumi ir samazinājušies.

Salīdzinot Ziemeļeiropas un Rietumeiropas valstis ar Austrumeiropas valstīm, parādās skaidra tendence – Ziemeļeiropa un Rietumeiropa parasti iekasē lielākus vides nodokļa ieņēmumus uz vienu iedzīvotāju, atspoguļojot gan augstākas nodokļu likmes, gan plašākas nodokļu bāzes, turpretim Austrumeiropa, sākot ar zemākiem rādītājiem uz vienu iedzīvotāju, daudzos gadījumos uzrāda ievērojamu izaugsmi, kas norāda uz pastāvīgu politikas saskaņošanu ar ES vides mērķiem (sk. 3.7. attēlu).

Luksemburgā 2013. gada ieņēmumi veido ap 1563 EUR uz vienu iedzīvotāju, un, neskatoties uz svārstībām, līdz 2022. gadam tie pieauguši līdz gandrīz 1769 EUR. Valsts mazais iedzīvotāju skaits apvienojumā ar augstajiem patēriņa modeļiem daļēji izskaidro šos datus.

Dānijā desmitgade sākās ar augstiem rādītājiem (1824 EUR 2013. gadā), un 2016. gadā tie sasniedza maksimumu aptuveni 1906 EUR, bet 2022. gadā pakāpeniski samazinājās līdz aptuveni 1605 EUR. Neraugoties uz kritumu, Dānija joprojām ir līdere vides nodokļu jomā, pateicoties tās ilgstošajai tradīcijai aplikt ar nodokļiem enerģiju un oglekļietilpīgas darbības.

Nīderlande pastāvīgi uzrāda augstu nodokļu iekasēšanas līmeni, pieaugot no 1226 EUR 2013. gadā līdz vairāk nekā 1600 EUR 2019. gadā. Lai gan 2022. gadā ieņēmumi samazinājās līdz aptuveni 1356 EUR, Nīderlande joprojām paļaujas uz dažādiem vides nodokļiem, sākot no enerģijas līdz maksām, kas saistītas ar transportlīdzekļiem.

Bulgārija izceļas ar dramatisku pieaugumu no aptuveni 185 EUR 2013. gadā līdz gandrīz 569 EUR 2022. gadā. Tas liecina par nesenajām politikas izmaiņām vai nodokļu bāzes paplašināšanu.

Grieķijā nodokļu apjoms lielāko daļu desmitgades svārstījās ap 700 EUR, pēc tam 2022. gadā piedzīvoja lēcienu līdz vairāk nekā 1000 EUR. Ekonomikas atveseļošanas centieni un lielāka koncentrēšanās uz oglekļa nodokļiem varētu veicināt šo augšupeju.

Polijā ieņēmumi pieauga no aptuveni 258 EUR 2013. gadā līdz 481 EUR 2022. gadā. Lielā mērā paļaujoties uz oglēm, Polija ir pakāpeniski ieviesusi vides nodevas, un dati atspoguļo noturīgu augšupejošu tendenci.

Itālijā nodokļu ieņēmumi ir mainījušies no aptuveni 936 EUR 2013. gadā līdz 746 EUR 2022. gadā, atspoguļojot nelielu lejupejošu tendenci. Ekonomiskie faktori un politikas prioritāšu maiņa varētu būt ietekmējusi nodokļu struktūru.

Zviedrija līdz 2019. gadam saglabāja nodokļu ieņēmumus ap 900–975 EUR, bet 2022. gadā piedzīvoja kritumu līdz aptuveni 726 EUR. Šo samazinājumu varētu izraisīt izmaiņas enerģijas nodokļu politikā vai atlaidēs.

Rumānijā kopumā ir viszemākie rādītāji, sākot no aptuveni 155 EUR 2013. gadā un pieaugot līdz 226 EUR 2022. gadā. Lai gan šis pakāpeniskais pieaugums joprojām ir pieticīgs salīdzinājumā ar citām ES valstīm, tas var liecināt par centieniem stiprināt vides politiku saskaņā ar ES standartiem.

Vides nodokļu tendences Baltijas valstīs

Vides nodokļiem ir būtiska nozīme ilgtspējīgas attīstības veicināšanā un saimnieciskās darbības radītās ekoloģiskās ietekmes mazināšanā. Baltijas valstīs – Igaunijā, Latvijā un Lietuvā – pēdējās desmitgades laikā šo nodokļu ieņēmumu dinamika atspoguļo nozīmīgas pārmaiņas, kas liecina par valstu centieniem risināt ar vidi saistītās problēmas.

Igaunija: stabila izaugsme ar svārstībām

Igaunijā ir pieredzēts kopējais vides nodokļu pieaugums no 484,64 miljoniem EUR 2013. gadā līdz 829,54 miljoniem EUR 2022. gadā. Visaugstākais līmenis bija 2019. gadā, sasniedzot 889,54 miljonus EUR, kam sekoja kritums 2020. gadā. Enerģijas nodokļi, kas veido dominējošo īpatsvaru, pieauga līdz 817,05 miljoniem eiro ar enerģētiku saistītajos ieņēmumos. Piesārņojuma un resursu nodokļi ir piedzīvojuši svārstības, piesārņojuma nodokļiem 2018. gadā sasniedzot 54,53 miljonus EUR, bet resursu nodokļu apjoms ir saglabājies salīdzinoši stabils.

Latvija: konsekvents pieaugums ar neseno kritumu

Latvijas kopējie vides nodokļu ieņēmumi pieauga līdz 2018. gadam, sasniedzot 996,48 miljonus EUR, bet 2022. gadā vērojams neliels samazinājumu līdz 867,29 miljoniem EUR. Enerģijas nodokļu situācija bija līdzīga, sasniedzot 849,28 miljonus EUR 2018. gadā. Piesārņojuma nodokļu ieņēmumi kopumā ir palielinājušies. Transporta nodokļu ieņēmumi ir pieauguši, 2022. gadā sasniedzot 123,91 miljonu EUR.

Lietuva: nepārtraukta izaugsme

Lietuva ir uzrādījusi nepārtrauktu kopējo vides nodokļu ieņēmumu pieaugumu no 587,26 miljoniem EUR 2013. gadā līdz 1024,04 miljoniem EUR 2022. gadā, sasniedzot 1038,91 miljonu EUR 2021. gadā. Enerģijas nodokļu ieņēmumi ir konsekventi pieauguši, 2021. gadā sasniedzot 919,38 miljonus eiro. Piesārņojuma nodokļu ieņēmumi ir pieauguši īpaši pēdējos gados, sasniedzot 49,45 miljonus EUR 2022. gadā. Transporta nodokļu ieņēmumi ir uzrādījuši būtisku pieaugumu, sasniedzot 68,08 miljonus EUR 2022. gadā.

Vides nodokļi % no IKP un uz vienu iedzīvotāju

Uz vides nodokļiem attiecinātā IKP procentuālā daļa sasniedza visaugstāko līmeni Igaunijā – 3,12 % 2019. gadā, Latvijā – 3,75 % 2016. gadā, bet Lietuvā – 1,96 % 2018. gadā. Vides nodokļi uz vienu iedzīvotāju kopumā ir pieauguši visās trīs valstīs.

Vides nodokļu tendences Igaunijā, Latvijā un Lietuvā pēdējo desmit gadu laikā liecina par valstu apņemšanos risināt vides problēmas ar fiskāliem pasākumiem. Lai gan katra valsts ir parādījusi unikālus modeļus, kopējais šo nodokļu ieņēmumu pieaugums atspoguļo pieaugošo uzsvaru uz ilgtspējību un vides aizsardzību.

Vides nodokļa ieņēmumus ietekmē dažādi faktori: politiski lēmumi, ekonomikas tendences, energoresursu cenas. Valdības intervencei ir būtiska nozīme vides jautājumu risināšanā un stabilitātes nodrošināšanā.

Vides nodokļu nozīme ES būtiski palielinājusies, un tā turpina būt aktuāls jautājums. Raugoties nākotnē, klimata mērķu pastiprināšana saskaņā ar Eiropas Zaļo kursu un jauni oglekļa cenas noteikšanas mehānismi, piemēram, oglekļa ievedkorekcijas mehānisms, visticamāk, vēl vairāk ietekmēs šos skaitļus. Vides nodokļa datu turpmāka uzraudzība sniegs vērtīgu ieskatu par to, cik efektīvi fiskālās politikas instrumenti var veicināt ilgtspējīgu pārkārtošanos visā kontinentā.

2. Literatūras apskats

2.1. Vispārēja literatūras analīze

Par nodokļu stratēģijām elektriskajiem transportlīdzekļiem pilsētu teritorijās ir ļoti daudz zinātnisko publikāciju gan ar kopīgiem līdzautoriem, gan līdzīgiem atslēgvārdiem.

Veicot literatūras analīzi *VOSviewer* programmā, konstatējama ļoti cieša sakarība starp tādiem atslēgas vārdiem kā "nodoklis", "elektriskie transportlīdzekļi", "izmaksas", "emisijas", "akumulatori", "transporta politika", "fosilais kurināmais", "hibrīda transportlīdzekļi", "klimata pārmaiņas", "stimuls", "konkurence", "vides ekonomika". Galvenie atslēgvārdi angļu valodā un to nozīmīgums redzams 3.1. tabulā. Tas norāda uz šīs tēmas aktualitāti un nozīmīgumu. Kopumā par nodokļiem un elektriskajiem transportlīdzekļiem *Scopus* datubāzē vien pieejams ap 950 zinātnisko rakstu jau no 2013. gada. Mazāka sakarība ir tieši vārdu salikumā "nodokļu stratēģijas elektriskajiem transportlīdzekļiem pilsētu teritorijās".

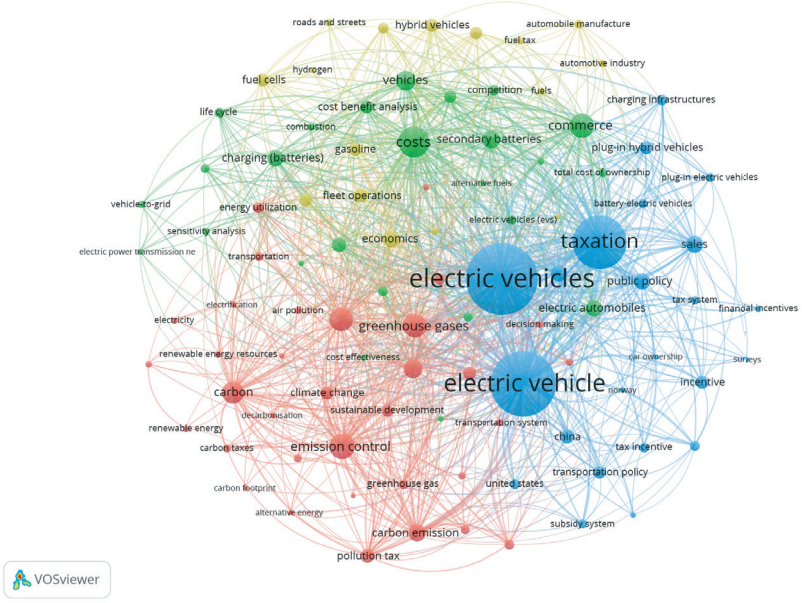
3.1. tabula

Galvenie atslēgvārdi un to nozīmīgums*

Atslēgvārds	Gadījumi	Kopējais saites stiprums	Vidējais publicēšanas gads
Electric Vehicles (EVs)	353	2178	2018
Electric Vehicle	316	2236	2019
Taxation	257	1855	2017
Costs	138	1124	2015
Greenhouse Gases	106	1024	2017
Emission Control	113	985	2019
Carbon Dioxide	105	939	2016
Battery Electric Vehicles	69	702	2018
Public Policy	68	515	2018
Plug-in Hybrid Vehicles	55	438	2018

Avots: analīze veikta *VOSviewer* programmā, izmantojot *Scopus* datubāzē pieejamās publikācijas par šo tēmu, fokusējoties uz nodokļiem elektriskajiem transportlīdzekļiem.

Elektriskie transportlīdzekļi un ar tiem saistītie termini, piemēram, akumulatoru elektriskie transportlīdzekļi un uzlādējami hibrīdautomobiļi, ir ļoti izplatīti, kas norāda, ka literatūrā šai tehnoloģijai tiek pievērsta liela uzmanība. Nodokļi un izmaksas ir nozīmīgas tēmas, kas atspoguļo ekonomiskos apsvērumus, kas saistīti ar elektriskajiem transportlīdzekļiem. Vides termini, piemēram, siltumnīcefekta gāzes, emisiju kontrole un oglekļa dioksīds, izceļ elektrisko transportlīdzekļu ietekmi uz vidi un regulatīvos aspektus (sk. 3.8. attēlu).



3.8. attēls. **Galvenie atslēgvārdi un to nozīmīgums.**

Avots: analīze veikta *VOSviewer* programmā, izmantojot *Scopus* datubāzē pieejamās publikācijas par šo tēmu, fokusējoties uz nodokļiem elektriskajiem transportlīdzekļiem.

Autors izvērsti veicis turpmāk aprakstītu vairāku ļoti aktuālu zinātnisko publikāciju analīzi. Arī autora izmantotās literatūras analīze liecina par ciešu sakarību, kur galvenie atslēgvārdi ir "elektriskie transportlīdzekļi, "elektroenerģijas lietošanas nodokļi", "fiskālie izaicinājumi", "zaudētie ieņēmumi" un "ilgtspējīga transporta sistēma".

2.2. Aktuālās problēmas pēdējās jūdzes sadalē

ES Zaļais kurss nosaka ambiciozus mērķus, kuri jāsasniedz visām dalībvalstīm. Viens no efektīviem ekonomiskajiem instrumentiem, kas ietekmē gan publisko, gan privāto mobilitāti, ir vides nodokļi (Brizga et al., 2022). Tā kā transports ir viens no galvenajiem emisiju avotiem visā ES un īpaši Latvijā, nepieciešami pasākumi, lai mazinātu tieši transporta negatīvo ietekmi vides piesārņojumā.

Pēdējās jūdzes piegāde ir viens no sarežģītākajiem un videi draudzīgākajiem loģistikas ķēdes segmentiem. Piegādes transportlīdzekļi ievērojami palielina emisijas un sastrēgumus pilsētās, un piegādes furgoni rada ievērojamu daļu no ar transportu saistītajām CO_2 emisijām lielākajās pilsētās (Atkinson, 2024). Šī problēma ir īpaši aktuāla pilsētu centros, kur vairāki piegādes transportlīdzekļi no dažādiem uzņēmumiem bieži apkalpo vienas un tās pašas teritorijas vairākas reizes dienā, izraisot neefektīvu resursu izmantošanu un palielinot ārējo ietekmi uz vidi (Atkinson, 2024).

Šīs problēmas vēl vairāk pastiprina pieaugošais patērētāju pieprasījums pēc ātras piegādes pakalpojumiem, kas var novest pie neoptimālas transportlīdzekļu izmantošanas un emisiju palielināšanās.

Elektrisko transportlīdzekļu pārdošana palielinās, un prognozes liecina, ka globālais elektrisko transportlīdzekļu tirgus, ieskaitot visus transportlīdzekļu veidus, turpinās paplašināties, līdz 2027. gadam sasniedzot vairāk nekā 800 miljardu ASV dolāru (Qadir et al., 2024).

2.3. Ieguldījumi un uzturēšana

Elektriskajiem transportlīdzekļiem tiek pievērsta arvien lielāka uzmanība svārstīgo degvielas cenu un gaidāmo degvielas piegāžu samazināšanās dēļ. Tie ir iecienīti automobiļu rūpniecībā, jo spēj samazināt ietekmi uz vidi un degvielas patēriņu, vienlaikus piedāvājot augstāku efektivitāti, salīdzinot ar iekšdedzes dzinēja transportlīdzekļiem. Neraugoties uz globālo enerģētikas un vides politiku, kuras mērķis ir pāriet no transportlīdzekļiem, kas darbināmi ar fosilo degvielu, uz elektrificētu transportu, elektrisko transportlīdzekļu ieviešanas līmenis joprojām ir salīdzinoši zems (Ramachandaramurthy et al., 2023).

Daļēji tas ir saistīts ar sarežģīto uzdevumu mainīt sabiedrības uztveri par transportu. Tas sniedzas tālāk par tehniskiem un ekonomiskiem faktoriem. Pētījumi liecina, ka patērētāju izvēlei, tostarp izmaksu lietderībai, cenai un sociālajai ietekmei, ir izšķirīga nozīme elektrisko transportlīdzekļu ieviešanā. Ir jānovērš galvenie šķēršļi, piemēram, bažas par nobraucamo attālumu, uzlādes infrastruktūras trūkumu un nevēlēšanās maksāt vairāk, iegādājoties transportlīdzekli. Lai mainītu lietotāju attieksmi, nepieciešama tehnoloģiju attīstība, tostarp palielinot akumulatoru drošumu un darbībspēju, infrastruktūras pieejamību (Ramachandaramurthy et al., 2023).

Elektrisko transportlīdzekļu skaita pieaugums mazina tradicionālo transportlīdzekļu izplatību, kas savukārt mazina valdības ieņēmumus no šī transporta un degvielas, rosinot diskusijas par iztrūkuma kompensēšanu, apliekot ar nodokļiem arī elektriskos transportlīdzekļus. Lai gan jauni nodokļi varētu kompensēt zaudējumus, tie var palēnināt elektrisko transportlīdzekļu pieņemšanu. Bez šādiem nodokļiem valstu budžeti varētu saskarties ar grūtībām, potenciāli izraisot būtisku sociālo programmu samazināšanu (Noll et al., 2024).

Politikas veidotājiem jāsabalansē fiskālās vajadzības ar klimata politikas mērķiem, izvērtējot dažādus nodokļu instrumentus, tostarp ar transportlīdzekļu iegādi, īpašumtiesībām un nobraukumu saistītus nodokļus. Empīriskie pētījumi liecina, ka transportlīdzekļu iegādes nodokļi visizteiktāk kavē jaunu tehnoloģiju ieviešanu, savukārt pakāpeniska fiskālo ieņēmumu atgūšana var mazināt pārejas perioda izaicinājumus. Tehniski ekonomiskie modeļi norāda, ka nodokļu politikas izstrādē ir būtiski ņemt vērā reģionālās atšķirības, īpaši attiecībā uz transporta nodokļu īpatsvaru valsts ieņēmumos un pārejas tempu uz ilgtspējīgākiem mobilitātes risinājumiem.

Iekasētie nodokļi no elektriskajiem transportlīdzekļiem jānovirza transporta infrastruktūras attīstībai (Noll et al., 2024).

Elektrisko transportlīdzekļu izplatības veicināšanas jautājumi nav vienīgais, kas valdībām šajā jomā jārisina. Ir nepieciešami arī risinājumi enerģētikas pārkārtošanai un tirgus dinamikas veicināšanai kopumā. Sabiedrības informēšanai arī ir nozīmīga loma izpratnes veicināšanā (Qadir et al., 2024).

Lai pārvarētu šos šķēršļus, būtisks ir efektīvs tiesiskais regulējums gan ar fiskāliem, gan nefiskāliem stimuliem. Jaunākie pētījumi uzsver šādas politikas nozīmi, kategorizējot galvenās problēmas un piedāvājot risinājumus (Qadir et al., 2024).

Lai gan paredzams, ka globālais elektrisko transportlīdzekļu tirgus līdz 2027. gadam sasniegs 802,81 miljardu ASV dolāru, elektriskie transportlīdzekļi 2023. gadā veidoja tikai 16 % no jaunu automobiļu pārdošanas apjoma, iezīmējot nepieciešamību pēc spēcīgākām pieņemšanas stratēģijām. Akumulatoru tehnoloģijas un uzlādes infrastruktūras attīstībai ir izšķirīga nozīme, lai uzlabotu patērētāju uzticēšanos. Politikas veidotājiem ir jāatbalsta atjaunojamās enerģijas integrācija, viedo tīklu tehnoloģijas un starptautiskā sadarbība, lai paātrinātu elektrisko transportlīdzekļu ieviešanu un sasniegtu ilgtspējas mērķus (Qadir et al., 2024).

Tikai kopējā uzlādes staciju skaita palielināšana nedos cerēto efektu. Īpaši svarīga ir ātra publiskā uzlāde, jo Eiropā pašlaik ir daudz mazāk ātro lādētāju nekā lēno lādētāju. Lai to risinātu, 2023. gada beigās apstiprinātajā ES Alternatīvo degvielu infrastruktūras regulā ir noteikts, ka uz galvenajiem ceļiem ik pēc 60 kilometriem ir jāuzstāda ātrās uzlādes stacijas (International Energy Agency, 2022).

Plaša elektrisko transportlīdzekļu ieviešana ir atkarīga no pieejamas un cenas ziņā pieņemamas uzlādes infrastruktūras paplašināšanas. Sākotnēji lietotāji galvenokārt ir paļāvušies uz mājas uzlādi, jo īpaši vienģimenes mājās, savukārt publiskie lādētāji ir koncentrēti pilsētu teritorijās. Tomēr turpmāka uzlādes tīkla izvēršana piepilsētu un lauku reģionos ir būtiska ilgtspējīgai izaugsmei.

Lielbritānijā vairāk nekā 90 % elektrisko transportlīdzekļu īpašnieku ir piekļuve uzlādei personu dzīvesvietā. Turpretim Indijā tikai 55 % patērētāju ir šādas iespējas, turklāt ir uzsvērta nepieciešamība palielināt uzlādes iespējas darba vietās un publiskās vietās (International Energy Agency, 2022).

Galvenie faktori, kas ietekmē lietotāju attieksmi pret elektriskajiem transportlīdzekļiem ir uzlādes ātrums, lietošanas ērtums, uzticamība un sadarbspēja. Pasaules valdības savās politikas ir apņēmušās, ka globālo publisko uzlādes punktu skaits līdz 2030. gadam pārsniegs 15 miljonus un līdz 2035. gadam – gandrīz 25 miljonus, kas ir seškārtīgs pieaugums, salīdzinot ar 2023. gadu (International Energy Agency, 2022).

Ķīna, kur mājas uzlādes iespējas ir ierobežotas, ir līdere publiskās uzlādes infrastruktūras izveidē, veidojot 70 % no pasaules publiskās elektrisko transportlīdzekļu uzlādes 2023. gadā, un paredzams, ka šī dominance turpināsies.

Paplašinoties valdības atbalstītajai infrastruktūrai, Ķīna saglabā augstu ātro lādētāju īpatsvaru (45 %), un tiek prognozēts, ka līdz 2035. gadam publiskie ātrie lādētāji visā pasaulē sasniegs 7,5 miljonus, savukārt lēno lādētāju kopējais apjoms būs 8,2 miljoni (International Energy Agency, 2022).

Paredzams, ka globālā pāreja uz elektriskajiem transportlīdzekļiem nākamajās desmitgadēs ievērojami samazinās emisijas, un ieguvumi no elektrisko transportlīdzekļu ieviešanas atsvērs papildu emisijas no elektroenerģijas ražošanas. Neraugoties uz to, joprojām pastāv ievērojama neatbilstība starp pašreizējām politikas saistībām un neto nulles emisiju scenāriju, kas paredz līdz 2030. gadam panākt par aptuveni 40 % lielāku emisiju samazinājumu, nekā noteikts aktuālajās politikas stratēģijās. Lai gan Ķīna šobrīd ieņem vadošo pozīciju novērsto emisiju apjomā, kas saistīts ar elektrisko transportlīdzekļu ieviešanu, prognozēts, ka līdz 2035. gadam tās relatīvais īpatsvars samazināsies, citiem reģioniem būtiski paplašinot šo tehnoloģiju izplatību.

Vieglie transportlīdzekļi visstraujāk virzās uz neto nulles līmeņa mērķiem, un nulles emisiju scenārijā tiek prognozēti vairāk nekā 80 % novērsto emisiju. Turpretī autobusu un kravas automobiļu emisiju samazinājuma rādītāji atpaliek no sasniedzamā mērķa, tāpēc ir vajadzīga stingrāka politika un apņemšanās līdz 2050. gadam sasniegt emisiju samazināšanas mērķus (IEA, 2024).

Elastīgs darba režīms ir būtisks ieguvums sabiedrībai sastrēgumu mazināšanā. Lai gan šo izmaksu samazinājumu ilgtspēja ilgtermiņā ir neskaidra, pierādījumi apstiprina potenciālu strādāt no mājām kā politikas instrumentu, lai mazinātu sastrēgumus uz ceļiem un sabiedriskā transporta drūzmēšanos. Elastīgs darba režīms varētu radīt ilgstošas izmaiņas ceļošanas paradumos, ietekmējot ieguldījumus autoceļos, sabiedriskā transporta izmantošanu un pilsētplānošanu (Hensher et al., 2021).

Pamatojoties uz ikmēneša datiem par elektrisko transportlīdzekļu pārdošanu Ķīnā no 2012. līdz 2020. gadam, tika analizēti monetārie, privilēģiju, demonstrācijas un maksas stimuli, izmantojot politikas kombinācijas un dispersijas sadalījuma analīzi. Rezultāti liecina, ka īstermiņā monetārie stimuli un administratīvā kontrole, piemēram, pirkuma subsīdijas, atbrīvojumi no nodokļiem un transportlīdzekļu iegādes ierobežojumi, efektīvi palielināja elektrisko transportlīdzekļu pieprasījumu. Ilgtermiņā privilēģiju stimuliem, uzlādes stimuliem un demonstrācijas stimuliem, tostarp braukšanas vai iegādes ierobežojumu neesamībai, uzlabotiem uzlādes tīkliem, publiskajam iepirkumam un augstākām benzīna cenām, bija nozīmīgāka ietekme uz elektrisko transportlīdzekļu ieviešanu. Politikas stimuli pozitīvi ietekmēja elektrisko transportlīdzekļu pārdošanu ilgtermiņā, lai gan to elastības koeficienti īstermiņā un ilgtermiņā atšķiras. Lai gan pašreizējā politika Ķīnā ir bijusi efektīva, tās saglabāšana var nebūt ilgtspējīga plaša mēroga elektrisko transportlīdzekļu ieviešanai. Valdībai būtu mērķtiecīgi jāstiprina arī lietojuma un demonstrācijas veida stimuli, īpaši ņemot vērā pieaugošo patērētāju informētības līmeni par elektriskajiem transportlīdzekļiem. Būtiski ir diferencēt politikas instrumentus atbilstoši tirgus attīstības posmiem: agrīnajā fāzē efektīvāki ir tieši monetārie un administratīvie mehānismi, savukārt, tirgum nobriestot, arvien lielāka nozīme ir lietošanas un demonstrācijas stimuliem, kas veicina plašāku tehnoloģiju pieņemšanu (Y. Liu et al., 2023).

2.4. Fiskālo instrumentu nozīme ilgtspējīgu risinājumu veicināšanā

Valdības visā pasaulē izmanto fiskālo politiku, lai veicinātu ilgtspējīgu piegādes praksi, piedāvājot dažādus nodokļu atvieglojumus, subsīdijas un sodus, lai ietekmētu uzņēmējdarbības lēmumus. Daudzas valstis piešķir ievērojamas nodokļu atlaides un dotācijas uzņēmumiem, kas iegulda elektriskajos piegādes transportlīdzekļos (DLL, 2024).

ASV uzņēmumi var saņemt nodokļu atlaides līdz 40 000 USD par elektrisko kravas automobili, kā arī papildu stimulus uzlādes infrastruktūras uzstādīšanai (DLL, 2024).

Tādas Eiropas valstis kā Francija un Vācija ir īstenojušas visaptverošas stimulēšanas programmas, apvienojot tiešās subsīdijas ar nodokļu atbrīvojumiem videi draudzīgiem piegādes transportlīdzekļiem (DLL, 2024).

Viena inovatīva pieeja ir diferencētas nodokļu sistēmas ieviešana, pamatojoties uz transportlīdzekļu izmantošanas modeļiem un ģeogrāfiskajām zonām. Piemēram, dažas valstis pēta nodokļu politiku, kas nodrošina lielākus stimulus elektrisko transportlīdzekļu izmantošanai pilsētu teritorijās, kur piesārņojuma ietekme ir vissmagākā (DLL, 2024). Bezemisiju transportlīdzekļu radītie ieguvumi videi ir īpaši nozīmīgi blīvi apdzīvotos pilsētu centros, kur gaisa kvalitātes problēmas ir visaktuālākās.

Pieaugot elektrisko transportlīdzekļu izplatībai, degvielas nodokļu ieņēmumu samazinājums ir kļuvis par nozīmīgu problēmu. Viena no iespējām ir aplikt ar nodokli elektrisko transportlīdzekļu uzlādes izmaksas, lai nodrošinātu elektrisko transportlīdzekļu nodokļu ieņēmumus. Izmantojot datus no 1177 Korejas patērētājiem, vērtēšanas metode atklāja, ka ienākumi bija visnozīmīgākais faktors, kas ietekmēja vēlmi maksāt nodokli par elektrisko transportlīdzekļu iegādi. Prognozes līdz 2050. gadam liecina, ka nodokļu ieņēmumi scenārijā ar iekasēšanas nodokļa ieviešanu būtu zemāki nekā 2022. gadā. Lai līdz 2050. gadam nodrošinātu nodokļu ieņēmumu līmeņa atbilstību 2022. gada rādītājiem, būtu nepieciešama nodokļa likmju un struktūras pielāgošana.

Pētījumā uzsvērts, cik svarīgi ir aplikt ar nodokli elektrisko transportlīdzekļu uzlādes izmaksas, un ierosināts, ka papildu ieguvumi, piemēram, piekļuve īpašām joslām un autostāvvietām, varētu mazināt pretestību nodoklim. Lai gan secinājumi ir balstīti Korejas gadījuma izpētē, tie var sniegt informāciju politikas lēmumu pieņemšanai visā pasaulē, uzsverot nepieciešamību pēc mērķtiecīgas ieņēmumu radīšanas un patērētāju pieņemšanas, jo īpaši starp patērētājiem ar augstiem ienākumiem un jaunākiem patērētājiem. Turpmākajos pētījumos būtu jāņem vērā ārējie faktori, piemēram, vides piesārņojums un cenu svārstības, lai precizētu nodokļu ieņēmumu aplēses un paplašinātu analīzi, attiecinot to arī uz citiem videi draudzīgiem transportlīdzekļiem (Chang & Woo, 2024).

Valdību politika lēnām mainās, taču tirgus pieradums pie valsts atbalsta rada arī ražotāju piedāvājuma pielāgošanos. Lai arī Vācijas valdība pārtrauca elektrisko transportlīdzekļu subsīdijas 2024. gadā, lai nosargātu tirgu, automobiļu ražotāji kompensēja patērētājiem to bonusu veidā (Carson, 2023). Līdzīgi rīkojās arī Šveice, atceļot nodokļu subsīdijas (Benrath, 2023).

Lai arī jaunu produktu ieviešana paplašina tirgu, tomēr tas atstāj negatīvu ietekmi uz vidi, piemēram, būtiska problēma joprojām ir nolietoto akumulatoru

iznīcināšana, taču paredzams, ka pašreizējie tehnoloģiskie sasniegumi nodrošinās ilgtspējīgus risinājumus (Asgarian et al., 2023).

2.5. Infrastruktūras attīstība un nodokļu politika

Sekmīgai pārejai uz ilgtspējīgu pēdējās jūdzes piegādi ir vajadzīgi ievērojami ieguldījumi uzlādes infrastruktūrā un atbalsta iekārtās. Nodokļu politikai ir izšķirīga nozīme šo ieguldījumu veicināšanā. Daudzas valdības ir ieviesušas nodokļu atvieglojumus, kas īpaši paredzēti, lai atbalstītu uzlādes tīklu un citas nepieciešamās infrastruktūras attīstību (DLL, 2024).

Piemēram, Nīderlande ir ieviesusi shēmas, kas ļauj uzņēmumiem atskaitīt līdz pat 45 % no vides ieguldījumu izmaksām no savas ar nodokli apliekamās peļņas (DLL, 2024). Šādi pasākumi palīdz novērst vienu no galvenajiem šķēršļiem elektrisko transportlīdzekļu ieviešanai – uzlādes infrastruktūras pieejamību.

Lai prognozētu elektrisko transportlīdzekļu tirgus attīstību, jāizmanto daudzperspektīvu pieeja, analizējot vājās vietas. Galvenie faktori ir patērētāju informētība, pieprasījuma virzītājspēki (cena, nobraucamā attāluma trauksme, uzlādes laiks, IKP) un tirgus tendences Eiropā un ārpus tās. To ietekmē arī autoražotāju centieni elektrisko transportlīdzekļu izstrādē, akumulatori un uzlādes infrastruktūra. Šie konstatējumi uzsver nepieciešamību pievērsties gan ārējiem, gan iekšējiem faktoriem (AIAZZI, 2018).

Norvēģija ir pasaules līdere elektrotransportlīdzekļu izplatībā uz vienu iedzīvotāju, ko veicinājis plašs un mērķtiecīgs stimulu kopums, savukārt Austrijā īstenotajām valdības atbalstītajām pilotreģionu iniciatīvām bijuši ierobežoti rezultāti. Izmantojot nacionālos mobilitātes paradumu datu kopumus un digitālajās aptaujās iegūto informāciju, iespējams analizēt sociālekonomiskos faktorus, tostarp lietošanas ērtumu un laika ietaupījumu. Pētījumi liecina par būtisku elektrotransportlīdzekļu izplatības potenciālu, kas balstās iedzīvotāju mobilitātes struktūrā, turklāt sociālie tīkli spēlē nozīmīgu lomu sabiedrības informētības veicināšanā. Stimulu fiskālā ietekme ir ievērojama, tādēļ to piemērošana pakāpeniski jāpārskata, samazinoties elektrotransportlīdzekļu izmaksām. Sekmīga šo tehnoloģiju ieviešana ir atkarīga no integrētas politikas pieejas, valsts atbalsta un tirgus mehānismiem, īpaši agrīnajos attīstības posmos. Vienlaikus nepieciešama izmaksu ziņā efektīva politika, uzlabota informācijas aprite un turpmāki pētījumi par stimulu ietekmi (Figenbaum et al., 2015).

Empīriskie dati liecina, ka nodokļu atvieglojumi būtiski veicina akumulatoru elektrisko transportlīdzekļu pārdošanas apjomu pieaugumu. Turklāt pāreja uz lielākas ietilpības akumulatoru elektriskajiem transportlīdzekļiem nodrošina ievērojamāku izmaksu samazinājumu salīdzinājumā ar pāreju uz mazākas ietilpības modeļiem. Lai gan nodokļu atvieglojumi palīdz likvidēt tirgus šķēršļus, emisiju samazināšana joprojām ir dārga. Ir ieteicams kā prioritāti noteikt ieguldījumus transportlīdzekļu un akumulatoru tehnoloģijās, nevis tiešos iegādes stimulus. Sekmīga akumulatoru elektrotransportlīdzekļu ieviešana ir atkarīga no atjaunojamās enerģijas pieauguma

un zemākām ražošanas izmaksām, un nākotnē ir vajadzīgi pētījumi par vietējiem stimuliem un sociālekonomiskajiem faktoriem (Yan, 2018).

Jāatzīmē, ka elektriskie transportlīdzekļi nemazina satiksmes negadījumu riskus un tranporta satiksmes sastrēgumus, turklāt arī nepalielina sabiedriskā transporta izmantošanas iespējas. Lai sistēma būtu taisnīgāka un novērstu budžeta ieņēmumu samazināšanās riskus, nodokļa likmes jānosaka atkarībā no nobrauktā attāluma. Kopējā politika ir jāpielāgo tā, lai nodrošinātu ilgtspējīgu transporta plānošanu un autoceļu tīkla optimizāciju (Hensher et al., 2021).

Empīriskie pētījumi liecina, ka uzlādes infrastruktūras pieejamība un blīvums nav tiešs noteicošais faktors pārejai uz elektriskajiem transportlīdzekļiem. Drīzāk indivīdu sākotnējā interese par uzlādējamiem elektriskajiem transportlīdzekļiem ietekmē to, vai un cik lielā mērā tiek uztvertas un pamanītas uzlādes stacijas, kas saskan ar kognitīvās psiholoģijas teorētiskajām atziņām. Līdz ar to vienlaicīga publiskās uzlādes tīkla paplašināšana pati par sevi nav pietiekama, lai būtiski veicinātu šo transportlīdzekļu izplatību; tā jāintegrē ar mērķtiecīgām stratēģijām, kas sekmē patērētāju informētību un iesaisti.

Politikas veidotājiem būtu jāintegrē uzlādes paplašināšana ar plašākiem centieniem palielināt informētību un interesi par uzlādējamiem elektriskajiem transportlīdzekļiem (Hoogland et al., 2024).

ASV izdevumi transporta infrastruktūrai pieaug un ir lielāki par budžeta ieņēmumiem no degvielas nodokļiem, kas ASV ir īpaši zemi. Turklāt, pieaugot elektrisko transportlīdzekļu izmantošanai, pastāv draudi, ka ieņēmumi vēl samazināsies, tādēļ ir jāanalizē dažādu transportlīdzekļu veidu ietekme uz nodokļu iekasēšanu. Elektrisko transportlīdzekļu izmantošanas pieaugums līdz 2025. gadam varētu samazināt ieņēmumus par 200 miljoniem USD. Tādēļ varētu būt jāizskata alternatīvi risinājumi, kā reģistrācijas maksas vai maksas par nobraukumu, lai gan tas varētu saskarties ar politiskiem šķēršļiem. Pieņemama risinājuma trūkuma novēršana ir būtiska turpmākajam infrastruktūras finansējumam (Jenn et al., 2015).

Pieaugot elektrisko transportlīdzekļu izplatībai, degvielas nodokļa ieņēmumu samazināšanās rada būtisku risku autoceļu infrastruktūras finansējumam. Analizējot iespējamos ieņēmumu zudumus Indiānas štatā periodā no 2021. līdz 2035. gadam un izvērtējot alternatīvus kompensācijas mehānismus, secināts, ka optimālais maksājumu apmērs vieglajiem automobiļiem varētu svārstīties no 241 USD līdz 342 USD, savukārt kombinētajiem kravas transportlīdzekļiem tas varētu sasniegt pat 7321 USD. Pie nosacījuma, ka elektrisko transportlīdzekļu īpatsvars līdz 2035. gadam sasniegtu 5 % vieglo transportlīdzekļu segmentā un 30 % vidējas un lielas noslodzes transportlīdzekļu segmentā, degvielas nodokļa ieņēmumi varētu samazināties par 21 %. Kā iespējamie risinājumi tiek apsvērti par nobraukumu balstīti maksājumi un lietošanas maksas mehānismi, kas varētu kalpot par instrumentiem ieņēmumu iztrūkuma mazināšanai arī citās jurisdikcijās. Vienlaikus sabiedrības atbalsta veicināšanai un politikas instrumentu pilnveidei ieteicams īstenot informēšanas pasākumus un pilotprojektus. Turpmākajos pētījumos īpaša uzmanība būtu jāpievērš taisnīguma aspektiem un papildu ieņēmumu avotu izvērtēšanai (Konstantinou et al., 2023).

Ķīnas uzlādējamo elektrisko transportlīdzekļu subsīdiju mērķis ir samazināt emisijas un uzlabot gaisa kvalitāti. Izmantojot transportlīdzekļu izvēles modeli, kura pamatā ir 2017. gada jaunu transportlīdzekļu iegāde, iegūtie dati liecina, ka 2,5 % uzlādējamo elektrisko transportlīdzekļu tirgus daļa uzlaboja autoparka degvielas ekonomiju par 2 % un samazināja benzīna patēriņu par 6,66 miljardiem litru. Tomēr, ja ietaupījums ir 1,90 USD par litru, subsīdija ir dārga, jo daudzi pircēji ar augstiem ienākumiem būtu iegādājušies uzlādējamo elektrisko transportlīdzekļu bez tā. Orientēšanās uz patērētājiem ar zemiem ienākumiem varētu uzlabot rentabilitāti un veicināt pieņemšanu. Subsīdiju samazināšana bez alternatīviem pasākumiem varētu ievērojami samazināt uzlādējamo elektrisko transportlīdzekļu pārdošanas apjomus, uzsverot nepieciešamību pēc stratēģiskiem politikas pielāgojumiem (Sheldon & Dua, 2020).

Norvēģijas dāsnās elektrisko transportlīdzekļu subsīdijas ir veicinājušas ātru šīs tehnoloģijas pieņemšanu atšķirībā no citām turīgām valstīm bez šādiem stimuliem. Tomēr zemākas transportlīdzekļa īpašumtiesību izmaksas var veicināt nobraukuma pieaugumu, vienlaikus mazinot sabiedriskā transporta un velotransporta izmantošanu. Ierobežotais elektrisko transportlīdzekļu klāsts arī mudina mājsaimniecības iegādāties otros automobiļus, veicinot paļaušanos uz privāto automobili. Lai gan šīs politikas mērķis ir samazināt emisijas, tā lielā mērā dod labumu ģimenēm ar augstiem ienākumiem un var apdraudēt vides mērķu sasniegšanu. Šīs dārgās subsīdijas nav ilgtspējīgas, un būtu izmantojamas alternatīvas, piemēram, emisiju tiesību tirdzniecība un stingrāka automobiļu izmantošanas politika. No minētā izriet, ka Norvēģijas elektrisko transportlīdzekļu subsīdiju modelis tomēr ir neefektīvs un to nevajadzētu atkārtot citur (Holtsmark & Skonhoft, 2014).

Lai risinātu elektrisko transportlīdzekļu un iekšdedzes dzinēju transportlīdzekļu ārējās izmaksas, vienlaikus jāņem vērā darbaspēka nodokļu ietekme un valdības budžeta ierobežojumi. Šāda cenu noteikšana atbilst CO_2 samazināšanas mērķiem, izmantojot modeli, kurā ņemtas vērā ārējās ietekmes ģeogrāfiskās un laika atšķirības. Rezultāti liecina, ka optimālas ceļu izmantošanas maksas ir atkarīgas no ārējām izmaksām un fiskāliem faktoriem, un visaugstākie iekšdedzes dzinēju transportlīdzekļu rādītāji ir pārslogotās pilsētās sastrēgumstundās. Lai risinātu minētos jautājumus, maksa būtu jāpielāgo dažādām lietotāju grupām, ņemot vērā arī reģionālos aspektus. Tehnoloģiskais progress, tostarp satelīttehnoloģiju un citu tehnisko risinājumu izmantošana, var atvieglot uz nobraukumu balstītu nodokļu praktisku ieviešanu (Wangsness, 2018).

Ekonomiskā un informatīvā politika ietekmē elektrisko transportlīdzekļu pieņemamību, izmantojot lēmumu pieņemšanas modeli, kas ietekmē sociālās ietekmes un enerģijas patēriņa datus. Pirkšanas subsīdiju apvienošana ar maksas iekasēšanas stimuliem ievērojami veicina ieviešanu. Sabiedrības izglītošanas kampaņas palīdz, bet to ietekme ir ierobežota (Li et al., 2020).

Izmantojot transportlīdzekļu pieprasījuma modeli, tas simulē pārdošanu bez atbalsta elektriskajiem transportlīdzekļiem vai subsīdijām. Federālās nodokļu atlaides palielināja elektrisko transportlīdzekļu pārdošanas apjomus par 29 %, bet 70 % nonāca pie pircējiem, kuri tik un tā būtu iegādājušies elektriskos transportlīdzekļus.

Subsīdiju novirzīšana mājsaimniecībām ar zemiem ienākumiem būtu rentablāka un taisnīgāka. Nepieciešama labākas politikas izstrāde, lai maksimāli palielinātu emisiju ieguvumus (Xing et al., 2021).

3. Metodes un materiāli

3.1. Integrēta kvalitatīvo un kvantitatīvo metožu kombinācijas pieeja

Pārejai uz ilgtspējīgu pēdējās jūdzes sadali ir nepieciešama niansēta izpratne gan par skaitļos izsakāmu ietekmi, gan par ieinteresēto personu un ekspertu pieredzi.

Tā kā Eiropas Savienība cenšas līdz 2050. gadam panākt klimatneitralitāti, izmantojot Eiropas Zaļo kursu, nodokļu politika kļūst par kritiski svarīgu instrumentu, tomēr tās efektivitāte ir atkarīga no metodikas, kas pārsniedz tikai kvantitatīvus novērtējumus. Kvalitatīvu novērtējuma integrēšana kvantitatīvos datos piedāvā holistiskāku perspektīvu, kas atbilst arvien pieaugošajai atziņai, ka politikas pētniecībai būtu jāaptver skarto personu plašā pieredze (Saunders et al., 2018; Ford & Goger, 2021).

Lai izstrādātu efektīvus nodokļu politikas instrumentus ilgtspējīgai pēdējās jūdzes sadalei, ir nepieciešama visaptveroša izpratne gan par ietekmi uz vidi, gan ekonomiku, kā arī sociālajiem un uzvedības faktoriem, kas ietekmē ieinteresēto personu uzvedību. Jaukto metožu pieeja piedāvā spēcīgu instrumentu šīs izpratnes sasniegšanai, apvienojot gan kvantitatīvo, gan kvalitatīvo metožu stiprās puses (Saunders et al., 2018; Ford & Goger, 2021). Rūpīgi izstrādājot un īstenojot pētniecības sistēmu ar jauktām metodēm, politikas veidotāji var izstrādāt nodokļu politiku, kas ir gan ekoloģiski efektīva, gan ekonomiski dzīvotspējīga, vienlaikus pievēršoties visu ieinteresēto personu vajadzībām un bažām. Ņemot vērā ilgtspējīgas pēdējās jūdzes izplatīšanas sarežģīto un daudzšķautņaino raksturu, šāda holistiska pieeja ir būtiska, lai gūtu ilgtermiņa panākumus.

Integrētā pieeja ietver gan literatūras analīzi, kvantitatīvo datu analīzi, riska novērtējumu, citu valstu pieredzes izpēti (Ņesterenko et al., 2024; Juruss et al., 2024a).

3.2. Iespējamo problēmu un izaicinājumu risināšana

Pirms jebkuras nodokļu politikas īstenošanas ir svarīgi novērtēt tās iespējamo ietekmi uz ekonomiku un vidi. Tam ir nepieciešama rūpīga izpratne par pēdējās jūdzes emisijām, kādas tās ir šodien papildus citu ilgtspējīgu risinājumu priekšrocībām un trūkumiem. Pašreizējo pēdējās jūdzes darbību oglekļa ietekmes kvantificēšana, vienlaikus ņemot vērā piegādes maršrutus, kravnesību, transportlīdzekļa veidu un degvielas patēriņu, ir labs sākumpunkts. Tātad ir jāņem vērā arī dažādu piegādes veidu ietekme uz vidi, nosakot piemērotu samaksu par infrastruktūras lietošanu (Portnoy, 2024).

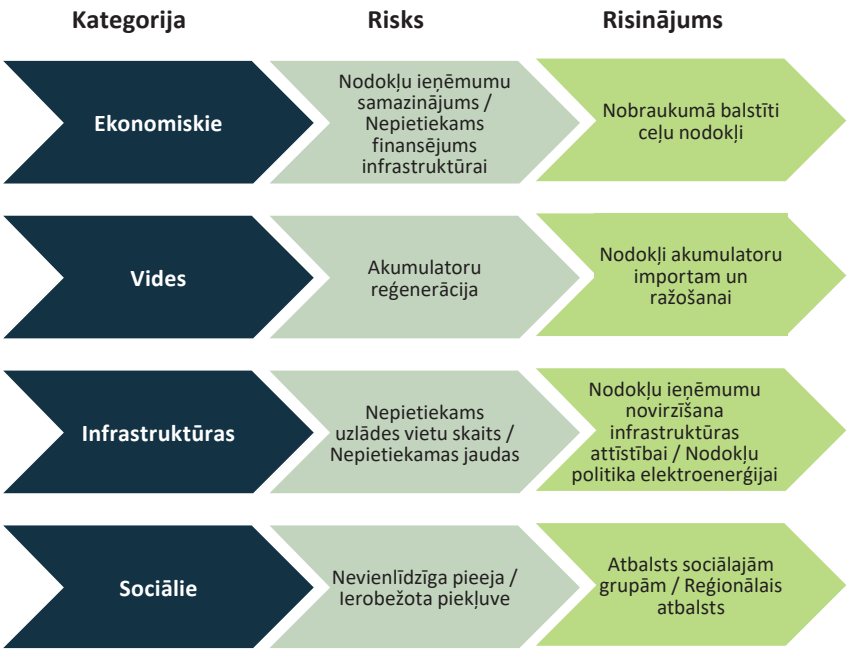
Lai gan valdības palīdzība ir noderīga, tā laika gaitā var būt arī dārga, tāpēc ir nepieciešama sarežģītāka stratēģija. Arī elektrisko transportlīdzekļu tirgus ir diezgan neprognozējams un ir atkarīgs no vairākiem mainīgajiem lielumiem, tostarp tehnoloģiju sasniegumiem (Portnoy, 2024).

Pāreja uz elektriskajiem transportlīdzekļiem rada vairākus riskus un problēmas ekonomiskās, vides, infrastruktūras un sociālajās kategorijās (sk. 3.9. attēlu).

Kā iespējamie risinājumi būtu jāvērtē nobraukumā balstītas ceļu nodevas, kā arī citas iniciatīvas, piemēram, nodokļi akumulatoriem. Nodokļu ieņēmumi izlietojami infrastruktūras būvniecībai un attīstībai, nevis vispārīgi jāiekļauj valsts budžetā (Ņesterenko et al., 2024).

Nevienlīdzīga piekļuve uzlādes infrastruktūrai joprojām rada sociālu problēmu, jo īpaši lauku apvidos. Lai sekmīgi ieviestu elektriskos transportlīdzekļus, ir ļoti svarīgi novērst šos riskus ar atbilstošiem nodokļu risinājumiem un ieguldījumiem.

Visbeidzot, sociālais risks, ko rada nevienlīdzīga piekļuve uzlādes infrastruktūrai, jo īpaši attālos apgabalos, uzsver nepieciešamību pēc taisnīgiem ieguldījumiem uzlādes tīklos. Šie riski parāda, cik svarīga ir labi plānota politika, lai nodrošinātu vienmērīgu un ilgtspējīgu pāreju uz elektromobilitāti.



3.9. attēls. **Riski, kas saistīti ar pāreju uz elektriskajiem transportlīdzekļiem, un iespējamie risinājumi** (Ņesterenko et al., 2024).

Jāatzīmē, ka nodokļu par elektriskajiem transportlīdzekļiem ieņēmumi būtu jānodala no budžeta vispārīgajiem nodokļu ieņēmumiem. Šo nodokļu mērķim jābūt transporta infrastruktūras finansējuma nodrošināšanai, nevis vispārējam budžeta ieņēmumu papildinājumam. Tas attiecīgi jāizskaidro arī nodokļu maksātājiem un sabiedrībai kopumā.

Šāda pieeja salīdzināma ar maksas ceļiem, kur tā lietotāji maksā par attiecīgo pakalpojumu. Līdzīgi ir jāsasaista no elektrisko transportlīdzekļu nodokļiem iegūtie līdzekļi ar finansējumu jaunu tehnoloģiju un infrastruktūras attīstībai (Ņesterenko et al., 2024).

3.3. Rezultātu koriģēšana un pielāgošana efektīvas nodokļu politikas instrumentu izstrādē

Novērtējot pāreju uz alternatīviem transporta veidiem, ir svarīgi arī fiskālie jautājumi. Lai atbalstītu šādu pāreju, nepieciešami arī atbilstoši līdzekļi infrastruktūras investīcijām un citiem sabiedriskajiem pakalpojumiem. Ņemot vērā minēto, arī elektriskie transportlīdzekļi ir jāapliek ar nodokli, jo arī tie lieto attiecīgo infrastruktūru. Tomēr nodokļu slogs var tik diferencēts pēc citiem principiem, nekā tas bijis līdz šim, proti, jāpiedāvā nodokļu atlaides pēdējās jūdzes piegādēm jeb šo transportlīdzekļu lietošanai pilsētās, jo tieši šajās vietās ir vislielākais piesārņojums. Turpretim ārpus pilsētām nodokļa atlaidi nebūtu pamata piemērot. Jāizvērtē iespējas nodokli elektriskajiem transportlīdzekļiem noteikt pēc to lietošanas vietas (pēc piesārņojuma līmeņa) un nobraukuma (Ņesterenko et al., 2024).

Līdz ar to nodokļa noteikšanai varētu izmantot īpašu formulu, kuras pamatā ir koeficients, ko aprēķina kā vidējo nobraukumu pilsētās pret kopējo nobraukumu. Lai gan tas sarežģi nodokļa administrēšanu, mūsdienu tehnoloģiju attīstība un globālās izsekošanas ierīces to tehniski var nodrošināt (Ņesterenko et al., 2024).

3.4. Efektīvu nodokļu politikas instrumentu izstrāde

Kad ietekme uz vidi un ekonomiku ir rūpīgi izvērtēta, nākamais solis ir izstrādāt piemērotus nodokļu politikas instrumentus. Šie instrumenti būtu rūpīgi jāpielāgo, lai stimulētu ilgtspējīgu praksi, vienlaikus līdz minimumam samazinot jebkādas iespējamās negatīvās sekas.

Diferenciālā aplikšana ar nodokļiem ir viena no stratēģijām, kas paredz samazināt nodokļus elektromobiļiem, kurus galvenokārt izmanto pilsētās, kur piesārņojums ir visizplatītākais.

Lai maksimāli palielinātu elektrisko transportlīdzekļu gaisa kvalitātes ieguvumus blīvi apdzīvotās teritorijās, ir svarīgi stimulēt elektrisko transportlīdzekļu izmantošanu pēdējās jūdzes piegādēm. Lai gan mērķtiecīgiem nodokļu stimuliem var būt nozīme, ar tiem vien var nepietikt, lai panāktu pilnīgu pāreju uz ilgtspējīgu mobilitāti, un būtu jāizpēta citas stratēģijas. Viena no šādām alternatīvām ir nobraukumā

balstīts nodoklis elektrisko transportlīdzekļu īpašniekiem, iekasējot tos, pamatojoties uz nobraukto attālumu (Portnoy, 2024).

Taisnīgai nodokļa uzlikšanai elektriskajiem transportlīdzekļiem jāpiemēro diferencēta likme atkarībā no ģeogrāfiskiem apsvērumiem.

Jāatzīmē, ka lietotāju paradumi var būt mainīgi, to apliecina arī *Covid-19* krīzes ietekme, kad dati parādīja, ka šajā laikā ceļotāji vairāk devās personiskos braucienos, nevis darba, kā tas bija iepriekš. Tātad arī šāds aspekts ir jāņem vērā, nosakot nodokli, proti, nav pamata atbrīvojumam, ja transportlīdzeklis tiek izmantot personiskām vajadzībām vai izklaides nolūkos (Brizga & Jurušs, 2023).

4. Pētījuma rezultāti

4.1. Vispārējs novērtējums

Vispārējā ietekmes novērtējumā jāņem vērā, ka mērķis kļūt klimatneitrāliem līdz 2050. gadam ir viena no galvenajām ES un globālajām prioritātēm. Pašlaik tiek īstenoti vairāki Eiropas Zaļā kursa pasākumi, tostarp īpaši atbalsta pasākumi un stimuli elektrisko transportlīdzekļu veicināšanai. Tomēr elektrisko transportlīdzekļu pieaugošā popularitāte rada valstīm izaicinājumus gan elektroenerģijas jaudu palielināšanā, gan infrastruktūras attīstībā.

Daudzām valstīm degviela ir nozīmīgs resurss ekonomikas nodrošināšanā, arī nodokļu ieņēmumi. Palielinoties elektrisko transportlīdzekļu tirgum, ietekme uz valdības budžetiem būs ļoti būtiska. Īpaši tas būs aktuāli Austrumeiropas valstīm, kā to pierāda arī iepriekš piedzīvotās krīzes (*Covid-19*, energoresursu tirgus problēmas).

Jauni nodokļi ir neizbēgami, bet katra opcija prasa rūpīgu izvērtējumu, jo ir jāizstrādā taisnīga un sociāli atbildīga nodokļu politika. Valdībām ir rūpīgi jādomā, kā sasniegt ES Zaļā kursa mērķus, dažādojot pasākumus un nosakot konkrētu rīcības plānus, tostarp pārrejai uz alternatīviem transporta veidiem (Jurušs & Brizga, 2017; Brizga et al., 2022).

4.2. Vides jautājumu atsaistīšana no ekonomikas izaugsmes

Enerģija ir būtiska visām ekonomiskajām aktivitātēm, tādēļ tā ir viens no galvenajiem faktoriem diskusijās par klimata politiku un nosprausto vides mērķu sasniegšanu. Šī atkarība rada šķēršļus politikas īstenošanai, ja vien nav iespējas tos atdalīt jeb atsaistīt.

Ekonomikas izaugsmes atsaistīšana no oglekļa emisiju mazināšanas pasākumiem ir veids, kā mazināt risinājuma negatīvo ietekmi uz ekonomiku un palielināt politisko pieņemamību. Šāda dimensija ir nozīmīga gan attīstītajām valstīm, kā ASV, gan strauji augošām, kā Ķīnai un Indijai. Ir nepieciešama stabila politika, kas virzītu šos jautājumus (Deutch, 2017).

Atsaiste vieglāk izdarāma attīstītajās valstīs, un politikas veidotājiem ir jāizstrādā mērķtiecīgas stratēģijas, kas pielāgotas valsts ienākumu līmenim (Shuai ChenYang et al., 2019).

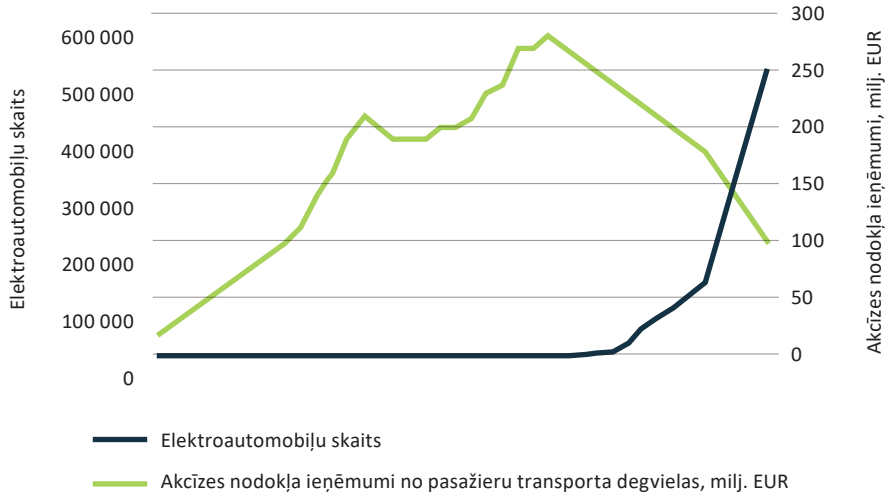
Attīstītajās valstīs ir vērojama spēcīga un stabila atsaiste, jo īpaši Apvienotajā Karalistē un Vācijā, savukārt jaunattīstības valstīs ir vāja un svārstīga atsaiste, un Ķīnai ir labāki rezultāti nekā Brazīlijai un Indijai. Politikas ieteikumi ietver energoefektivitātes uzlabošanu, līdzsvarotu urbanizāciju un rūpniecisko struktūru optimizēšanu, lai atbalstītu ilgtspējīgu ekonomisko attīstību jaunattīstības valstīs (Wu et al., 2018).

4.3. Regresijas analīzes rezultāti

Iepriekš sniegtie dati (Eurostat, 2024) apkopoti daudzfaktoru regresijas analīzes rezultātos, koncentrējoties uz emisijām, automobiļu veidiem un transporta nodokļiem vairākās valstīs.

Konstatējumi liecina, ka atsevišķiem faktoriem vairākās ES dalībvalstīs ir cieša korelācija, kā arī ļoti niecīga regresijas standarta kļūda. Piemēram, pastāv augsta korelācija starp transportlīdzekļu ar degvielas dzinēju reģistrāciju un emisijām Zviedrijā (0,9367), Somijā (0,8938) un Vācijā (0,8906) (Ņesterenko et al., 2024).

Savukārt akcīzes nodokļu ieņēmumu analīze liecina, ka, samazinoties transportlīdzekļu ar degvielas dzinējiem skaitam, attiecīgi samazināsies akcīzes nodokļa ieņēmumi (Brizga et al., 2022).



3.10. attēls. **Akcīzes nodokļa degvielai ieņēmumu prognozes no pasažieru transporta degvielas** (Brizga et al., 2022).

Piemēram, par Latviju veiktās prognozes liecina, ka akcīzes nodokļa ieņēmumi no degvielas nodokļiem no pasažieru transportlīdzekļiem varētu būtiski samazināties pēc 2035. gada, saglabājot minimālu līmeni ap 100 milj. EUR 2050. gadā (sk. 3.10. attēlu). Tas ir kritiski maz, salīdzinot ar šobrīd esošo pienesumu budžetā no akcīzes nodokļa degvielai ieņēmumiem (Brizga et al., 2022).

5. Zinātniskā diskusija

5.1. Ekonomiskā dzīvotspēja un izmaksu apsvērumi

Ieguvumi videi ir svarīgi, taču ir rūpīgi jāizvērtē arī ilgtspējīgu īstenošanas iespēju ekonomiskie aspekti. Pētījumi liecina, ka, salīdzinot ar tradicionālajiem transportlīdzekļiem, elektriskie transportlīdzekļi var ievērojami samazināt ekspluatācijas izmaksas. Saskaņā ar pētījumiem elektrība par jūdzi ir aptuveni par 50 % lētāka nekā benzīns. Turklāt elektromobiļiem parasti ir nepieciešama mazāka apkope, kas samazina izmaksas transportlīdzekļa kalpošanas laikā. Tomēr augstākas sākotnējās ieguldījumu izmaksas joprojām ir būtisks šķērslis, uzsverot rūpīgi pārdomātu nodokļu atvieglojumu un palīdzības programmu nozīmi (Portnoy, 2024).

Analizējot vairāk nekā 3 000 000 mērījumu, konstatēts, ka zemu emisiju zonas izraisīja statistiski nozīmīgu, bet nelielu šo piesārņotāju samazinājumu, NO_2 koncentrācijai samazinoties līdz pat 24 %. Neskatoties uz samazinājumu, zemu emisiju zonu ietekme bija ierobežota, pirmajā posmā sasniedzot tikai 4 % NO_2 koncentrācijas samazinājumu (Morfeld et al., 2014).

Uzlādes ātrumam un ērtumam ir būtiska nozīme lietotāju izvēles veicināšanā. Ir jāanalizē nobraukuma apmēri dažādās teritorijās, lai precīzāk izvērtētu attiecīgo nodokļu apmēru. Konkurētspēja, tehnoloģijas efektivitāte un infrastruktūras pieejamībai ir noteicošie faktori (Brizga et al., 2024).

Ir dažādi veidi, kā valdība var veikt tirgus intervenci problēmu risināšanai, tostarp gan ar fiskāliem vai ekonomiski motivējošiem, gan ar administratīviem instrumentiem, piemēram, ierobežojumiem vai pat aizliegumiem. Ir iespējas tos diferencēt, piemēram, veidojot zemu emisiju zonas.

Valdības atbalstam jābūt diferencētam, ņemot vērā sociālekonomiskos faktorus. Jāuzlabo sabiedriskā transporta pieejamība un jāveicina kopīgās mobilitātes pakalpojumi.

5.2. Administratīvie apsvērumi un ieviešana

Nodokļu politikas efektivitāte ilgtspējīgas piegādes veicināšanā ir atkarīga no tās administratīvās īstenošanas. Uzņēmumiem jāizpilda sarežģīti pieteikšanās procesi un atbilstības kritēriji (DLL, 2024). Iestādēm jāvienkāršo administratīvās procedūras, vienlaikus saglabājot nepieciešamo uzraudzību.

Nodokļu pasākumi nav vienīgais unikālais risinājums ilgtspējīgas mobilitātes sasniegšanai. Elektrisko transportlīdzekļu ieviešanai nepieciešama pieejama uzlādes infrastruktūra. ES politika vērsta uz šo pasākumu īstenošanu, jo jaunā Atjaunojamo energoresursu direktīva paredz palielināt atjaunojamās enerģijas mērķi transporta nozarē (Council of the EU, 2023; European Parliament, 2023), tomēr valstīm pašām jārisina šie jautājumi, palielinot uzlādes staciju skaitu.

5.3. Politikas integrācija un nākotnes virzieni

Pāreja uz ilgtspējīgu piegādi prasa visaptverošu pieeju, integrējot nodokļu politiku ar plašākiem vides un pilsētplānošanas mērķiem. Jāņem vērā jaunās tehnoloģijas un mainīgie biznesa modeļi loģistikas nozarē, piemēram, autonomo transportlīdzekļu potenciālā loma (Portnoy, 2024).

Pastāv risks, ka stimulu efektivitāte samazināsies, tirgum attīstoties. Nepieciešama daudzpusīga pieeja, kas pāriet no nodokļu atvieglojumiem uz citām stratēģijām. Šis pētījums piedāvā jaunu risinājumu – nodokļu diferenciāciju, balstoties nobraukumā pilsētu teritorijās. Šī pieeja risina bažas par iespējamām negatīvajām sekām, piemēram, palielinātu braukšanu zemāku ekspluatācijas izmaksu dēļ.

Pāreja uz elektriskajiem transportlīdzekļiem prasa rūpīgu nodokļu politikas un budžeta plānošanu. Starptautiskā pieredze liecina, ka elektrisko transportlīdzekļu nodokļus var efektīvi integrēt jau esošajās sistēmās.

Lai mazinātu konkurences izkropļojumus un pārrobežu tirdzniecības riskus vienotajā ES tirgū, ir jādomā arī par attiecīgo nodokļu harmonizēšanu, kas pašlaik attiecas tikai uz degvielu un elektrību. Tomēr tas nerisina budžeta mazināšanās riskus nacionālo valstu līmenī.

Nepieciešamas daudzpusīgas pieejas un stratēģijas ilgtspējīgai un videi draudzīgas transporta sistēmas un infrastruktūras attīstībai.

Secinājumi

Izstrādājot efektīvu nodokļu politiku ilgtspējīgai pēdējās jūdzes sadalei, ir jālīdzsvaro vides mērķi ar ekonomikas iespējām.

Lai gan pašreizējie fiskālie instrumenti ir izrādījušies daudzsološi, veicinot videi draudzīgas piegādes prakses ieviešanu, joprojām pastāv ievērojamas iespējas politikas inovācijai un pilnveidošanai. Panākumi būs atkarīgi no spējas izveidot integrētus politikas ietvarus, kas nodrošina skaidrus ekonomiskos stimulus, vienlaikus risinot praktiskas īstenošanas problēmas.

Tā kā pilsētas turpina augt un e-komercija paplašinās, labi izstrādātas nodokļu politikas loma ilgtspējīgas pilsētu loģistikas veicināšanā kļūs arvien svarīgāka.

Nodokļi ir viens no atslēgas risinājumiem, tomēr tas var būt nepietiekams. Nepieciešama holistiska pieeja, ņemot vērā dažādus, gan vides, gan ekonomikas

faktorus. Ir jāpielāgo izvēlētās politikas atkarībā no lietotāju un reģionālā aspekta, kā arī paša transporta un infrastruktūras veida.

Dažādo valstu pieredze liecina, ka nodokļu politikas izmaiņas elektriskajiem transportlīdzekļiem varētu veiksmīgi integrēt pastāvošajās nodokļu sistēmās.

Nobraukumā balstīti nodokļi par elektrisko transportlīdzekli ir jauna nodokļu veida piemēri, lai kompensētu degvielas nodokļa ienākumu zaudējumus. Šo ieņēmumu galvenajam mērķim vajadzētu būt infrastruktūras būvniecībai un uzturēšanai.

Nepieciešami mērķtiecīgi nodokļu atvieglojumi, lai veicinātu elektrisko transportlīdzekļu izmantošanu pilsētās ar visaugstāko piesārņojuma līmeni. Ar šo stratēģiju var maksimāli palielināt elektrisko transportlīdzekļu ieviešanas priekšrocības vides jomā.

Pāreja uz ilgtspējīgu pēdējās jūdzes sadali, ieviešot elektriskos transportlīdzekļus, rada gan būtiskas iespējas, gan izaicinājumus.

Literatūra un avoti

AIAZZI, C. (2018). E-cars: a multi-perspective analysis to future scenarios for the Italian market.

Asgarian, F., Hejazi, S. R., & Khosroshahi, H. (2023). Investigating the impact of government policies to develop sustainable transportation and promote electric cars, considering fossil fuel subsidies elimination: A case of Norway. *Applied Energy*, 347, 121434.

Atkinson Helen. (2024, February 28). Let's Face It: Last-Mile Delivery Fails the Sustainability Test | *SupplyChainBrain*. Iegūts no https://www.supplychainbrain.com/articles/39168-lets-face-it-last-mile-delivery-fails-the-sustainability-test.

Benrath, B. (2023). Switzerland Will Tax Electric Vehicles Like All Other Cars – Bloomberg. Iegūts no https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-11-08/switzerland-will-tax-electric-vehicles-like-all-other-cars.

Brizga, J., & Jurušs, M. (2023). Covid-19 and Energy Crises Induced Mobility Changes: a Case Study of Latvia. *Transforming Consumption-Production Systems Toward Just and Sustainable Futures: Book of Abstracts*, 468–468. https://doi.org/10.18174/632251.

Brizga, J., Jurušs, M., & Šmite-Roķe, B. (2022). Impact of the environmental taxes on reduction of emission from transport in Latvia. *Post-Communist Economies*, 34 (5), 666–683.

Brizga, J., Jurušs, M., & Šmite-Roķe, B. (2024). Impact of the environmental taxes on reduction of emission from transport in Latvia. In Global Environmental Politics and International Organizations (pp. 102–119). Routledge.

Carson, E. (2023). Electric Vehicle Subsidies: Germany Just Ended EV Subsidies. This is Tesla's Response. | Investor's Business Daily. Iegūts no https://www.investors.com/news/electric-vehicle-subsidies-germany-ends-ev-bonus-abruptly-in-latest-blow-to-tesla/.

Central Statistical Bureau of Latvia. (2021). *ENVIRONMENT OF LATVIA IN FIGURES: CLIMATE CHANGE, NATURAL RESOURCES AND ENVIRONMENTAL QUALITY*. Iegūts no https://admin.stat.gov.lv/system/files/publication/2021-12/Nr_20_Vides_raditaji_Latvija_2020_%2821_00%29_LV_EN.pdf.

Chang, S.-E., & Woo, J. (2024). Are electric vehicle users willing to pay tax for charging electric vehicles? A case study of South Korea. *Energy Economics*, 129, 107243.

Council of the EU. (2023, July 25). Alternative fuels infrastructure: Council adopts new law for more recharging and refuelling stations across Europe. Iegūts no https://www.consilium.europa.eu/lv/press/press-releases/2023/07/25/alternative-fuels-infrastructure-council-adopts-new-law-for-more-recharging-and-refuelling-stations-across-europe/.

Deutch, J. (2017). Decoupling economic growth and carbon emissions. *Joule*, 1 (1), 3–5.

DLL. (2024). A short guide to regulations & subsidies for Last-Mile Delivery fleets: A path to electric vehicles. Iegūts no https://www.dllgroup.com/en/blogs/blogsoverview/A-short-guide-to-regulations-and-subsidies-for-Last-Mile-Delivery-fleets-A-path-to-electric-vehicles.

European Environment Agency. (2024). New registrations of electric vehicles in Europe. Iegūts no https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/new-registrations-of-electric-vehicles#:~:text=There%20has%20been%20a%20steady,registered%20passenger%20cars%20were%20electric.

European Parliament. (2023, July 20). Revision of the Renewable Energy Directive. Iegūts no https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/package-fit-for-55/file-revision-of-the-renewable-energy-directive.

Eurostat. (2024a). Average CO_2 emissions per km from new passenger cars (sdg_13_31). Iegūts no https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/sdg_13_31_esmsip2.htm.

Eurostat. (2024b). Environmental taxes by economic activity. Iegūts no https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/ENV_AC_TAXIND2/default/table?lang=en.

Figenbaum, E., Fearnley, N., Pfaffenbichler, P., Hjorthol, R., Kolbenstvedt, M., Jellinek, R., Emmerling, B., Bonnema, G. M., Ramjerdi, F., & Vågane, L. (2015). Increasing the competitiveness of e-vehicles in Europe. *European Transport Research Review*, 7, 1–14.

Ford, T. N., & Goger, A. (2021, October 14). The value of qualitative data for advancing equity in policy. Iegūts no https://www.brookings.edu/articles/value-of-qualitative-data-for-advancing-equity-in-policy/.

Freire-González, J. (2018). Environmental taxation and the double dividend hypothesis in CGE modelling literature: A critical review. *Journal of Policy Modeling*, 40 (1), 194–223. https://doi.org/10.1016/J.JPOLMOD.2017.11.002.

Fullerton, D., & Metcalf, G. E. (1997). Environmental taxes and the double-dividend hypothesis: did you really expect something for nothing? National bureau of economic research Cambridge, Mass., USA.

Hensher, D. A., Wei, E., & Liu, W. (2021). Battery electric vehicles in cities: Measurement of some impacts on traffic and government revenue recovery. *Journal of Transport Geography*, 94, 103121.

Holtsmark, B., & Skonhoft, A. (2014). The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries? *Environmental Science & Policy*, 42, 160–168.

Hoogland, K., Kurani, K. S., Hardman, S., & Chakraborty, D. (2024). If you build it, will they notice? public charging density, charging infrastructure awareness, and consideration to purchase an electric vehicle. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 23, 101007.

IEA. (2024). Global EV Outlook 2024 – Analysis – IEA. Iegūts no https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2024.

International Energy Agency. (2022). Trends in charging infrastructure – Global EV Outlook 2022 – Analysis – IEA. Iegūts no https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/trends-in-charging-infrastructure.

Jenn, A., Azevedo, I. L., & Fischbeck, P. (2015). How will we fund our roads? A case of decreasing revenue from electric vehicles. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 74, 136–147.

Jurušs, M. (2019). *Nodokļi*. RTU. Iegūts no https://ebooks.rtu.lv/product/nodokli/.

Jurušs, M. (2021). *NODOKĻU PLĀNOŠANA LATVIJĀ UN STARPTAUTISKĀ VIDĒ*. RTU.

Jurušs, M., & Brizga, J. (2017). Assessment of the Environmental Tax System in Latvia. *NISPAcee Journal of Public Administration and Policy*. https://doi.org/10.1515/nispa-2017-0015.

Jurušs, M., & Brizga, J. (2023). Assessment of the Impact of Economic and Administrative Instruments on Transformation to a Sustainable Mobility. *Scientific Problems of Engineering Economics of Construction and Real Estate Management, Regional and Territorial Development ICEREE'2022: Book of Abstracts*, 11–12.

Juruss, M., Smite-Roke, B., & Nesterenko, I. (2024). *ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT: REDUCING EXTERNALITIES OF LAST MILE DELIVERY THROUGH TAXATION*. https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF233.

Konstantinou, T., Labi, S., & Gkritza, K. (2023). Assessing highway revenue impacts of electric vehicles using a case study. *Research in Transportation Economics*, 100, 101248.

Li, J., Jiao, J., & Tang, Y. (2020). Analysis of the impact of policies intervention on electric vehicles adoption considering information transmission-based on consumer network model. *Energy Policy*, 144, 111560.

Liu, Y., Zhao, X., Lu, D., & Li, X. (2023). Impact of policy incentives on the adoption of electric vehicle in China. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 176, 103801.

Morfeld, P., Groneberg, D. A., & Spallek, M. F. (2014). Effectiveness of low emission zones: large scale analysis of changes in environmental NO_2, NO and NO_x concentrations in 17 German cities. *PloS One*, 9 (8), e102999.

Ņesterenko, I., Judajeva-Iljina, A., & Jurušs, M. (2024). Fiscal Strategies for Sustainable Transition: Addressing Revenue Challenges and Infrastructure Investment. *Economics and Business*, 38, 121–130.
https://doi.org/10.7250/EB-2024-0008.

Noll, B., Schmidt, T. S., & Egli, F. (2024). Managing trade-offs between electric vehicle taxation and adoption. *Cell Reports Sustainability*, 1 (7).

Portnoy Matt. (2024, August 9). How zero emission last-mile delivery cuts courier costs. Iegūts no
https://metrobi.com/blog/zero-emission-last-mile-delivery-cuts-courier-costs/.

Qadir, S. A., Ahmad, F., Al-Wahedi, A. M. A. B., Iqbal, A., & Ali, A. (2024). Navigating the complex realities of electric vehicle adoption: A comprehensive study of government strategies, policies, and incentives. *Energy Strategy Reviews*, 53, 101379.

Ramachandaramurthy, V. K., Ajmal, A. M., Kasinathan, P., Tan, K. M., Yong, J. Y., & Vinoth, R. (2023). Social acceptance and preference of EV users – a review. *IEEE Access*, 11, 11956–11972.

Saunders, B., Sim, J., Kingstone, T., Baker, S., Waterfield, J., Bartlam, B., Burroughs, H., & Jinks, C. (2018). Saturation in qualitative research: exploring its conceptualization and operationalization. *Quality and Quantity*, 52 (4), 1893–1907.
https://doi.org/10.1007/S11135-017-0574-8.

Sheldon, T. L., & Dua, R. (2020). Effectiveness of China's plug-in electric vehicle subsidy. *Energy Economics*, 88, 104773.

Shuai ChenYang, S. C., Chen Xi, C. X., Wu Ya, W. Y., Zhang Yu, Z. Y., & Tan YongTao, T. Y. (2019). A three-step strategy for decoupling economic growth from carbon emission: empirical evidence from 133 countries.

Wangsness, P. B. (2018). How to road price in a world with electric vehicles and government budget constraints. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 65, 635–657.

Wu, Y., Zhu, Q., & Zhu, B. (2018). Decoupling analysis of world economic growth and CO_2 emissions: A study comparing developed and developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 190, 94–103.

Xing, J., Leard, B., & Li, S. (2021). What does an electric vehicle replace? *Journal of Environmental Economics and Management*, 107, 102432.

Yan, S. (2018). The economic and environmental impacts of tax incentives for battery electric vehicles in Europe. *Energy Policy*, 123, 53–63.

4.

Lietoto kravas automobiļu tirgus Eiropā: datos balstīta analīze, metodoloģija un ekonometrisks lietojums

Vadošais pētnieks *Dr. oec.* Valērijs Skribans, Rīgas Tehniskā universitāte
Pētniece *Ph. D.* Iveta Amoliņa, Rīgas Tehniskā universitāte
Pētnieks *Ph. D.* Aleksandrs Kotļars, Rīgas Tehniskā universitāte
Vadošā pētniece *Dr. oec.* Sanda Lapuķe, Rīgas Tehniskā universitāte

Ievads

Kravas automobiļu izmantošana ir svarīga gan vietējos, gan starptautiskos piegādes maršrutos, veicot ievērojamus attālumus, ievērojot dažādu kravu pārvadāšanas specifiku, kā arī izmantojot vispāratzītus automobiļu ražotāju zīmolus, kuri sevi pierādījuši jau no automobiļu ražošanas uzsākšanas vēsturiskajiem laikiem un nepārtraukti pielāgo savus transportlīdzekļus mūsdienu tendencēm un attīstības iespējām.

Transporta nozarē, tāpat kā citās nozarēs, notiek pārmaiņas, kas ietekmē vidi, klimatneitralitātes mērķu sasniegšanu un ekonomiskos rādītājus. Tas nozīmē, ka piegādes ķēžu pārvaldībā jāņem vērā jauni izaicinājumi, kas ietekmē piegādes kvalitāti, elastību un virzību uz ilgtspējību.

Eiropas Savienība noteikusi ambiciozus klimata mērķus. Atbilstoši jaunajiem CO_2 standartiem līdz 2030. gadam jauno vieglo automobiļu vidējās emisijas būs jāsamazina par 55 %, bet jauno mikroautobusu emisijas – par 50 %. Līdz 2035. gadam visiem jaunajiem vieglajiem automobiļiem jābūt bezemisiju transportlīdzekļiem, savukārt no 2027. gada autotransportam piemēros emisijas kvotu tirdzniecību, kas nozīmē, ka piesārņojumam tiks noteikta cena, stimulējot tīrāku degvielas izmantošanu un investīcijas zaļajās tehnoloģijās (European Commision, 2024).

Ņemot vērā minētos izaicinājumus, ir jānalizē Eiropas lietoto kravas automobiļu tirgus attīstības tendences. Tirgus novērojumi ļauj vērtēt transportlīdzekļu vecuma struktūru, tehnisko stāvokli, degvielas veidu un dzinēja tipu, atbilstību emisiju standartiem un citiem normatīvajiem aktiem, kā arī ekonomiskos rādītājus (ekspluatācijas izmaksas, finansēšanas iespējas).

Pētījuma mērķis ir veikt Eiropas lietoto kravas automobiļu tirgus ekonomisko analīzi, izmantojot mūsdienīgas datu vākšanas un analīzes metodes. Pētījumā lietotas vispārpieņemtās kvantitatīvās un kvalitatīvās metodes, tostarp mākslīgā

intelekta izpētes metodes: datu ieguves un mašīnmācīšanās, kā arī literatūras izpētes metodes.

Apkopoti dati no lielākajām automobiļu tirdzniecības tiešsaistes vietnēm 16 Eiropas valstīs (Austrija, Bulgārija, Čehija, Vācija, Igaunija, Spānija, Somija, Francija, Ungārija, Itālija, Lietuva, Latvija, Norvēģija, Polija, Rumānija un Zviedrija), tostarp izmantojot arī *Python* platformas rīkus. Pētījuma periods no 01.01.2023. līdz 31.12.2023. (Skribans & Kotlars, 2024).

1. Literatūras apskats

Mainīgās piegādes ķēdē iesaistīto patērētāju gaidas, tehnoloģiskie sasniegumi un nepieciešamība pēc ilgtspējas ir izaicinājumi, kas ietekmē loģistikas sarežģītību pašreizējā vidē (Zighan et al., 2023). Ilgtspējas aspekts ietver ekonomiskās, vides un sociālās dimensijas (Kunkel et al., 2022).

Loģistikas pakalpojumi ir viena no nozīmīgākajām piegādes ķēdes vadības sastāvdaļām, jo tie aptver preču transportēšanu, piegādes tīklu plānošanu un organizēšanu organizēšanā (Lohmer & Lasch, 2020). Uzņēmumus piesaistīt ārpakalpojumu sniedzējus mudina vairāki faktori, tostarp piegādes ķēdes organizēšanas izmaksu samazināšana, kas bieži vien ir noteicošais (Vasiliauskas & Jakubauskas, 2007).

Loģistika tiek definēta kā rūpīgi plānotu un izpildītu piegādes ķēdes operatīvo komponentu kopums (European Commision, 2024). Loģistikas pakalpojumi kravas automobiļu jomā ir būtiska daļa, jo tie ietver transportēšanu, maršrutu plānošanu, kravu apstrādi, drošību, atbilstību standartiem, degvielas izvēli, ilgtspēju, videi draudzīgas prakses ieviešanu un emisiju samazināšanu.

Loģistikas vadības sistēmu galvenais mērķis ir nodrošināt klientu un uzņēmumu vajadzību apmierināšanu, koordinējot preču kustību no izcelsmes vietām līdz patēriņa vietām vajadzības (Ahmed & Zhang, 2021). Kravas automobiļi tiek izmantoti gan lielu attālumu pārvadājumos, gan pilsētu piegādēs ar mazākiem transportlīdzekļiem, kā arī specializētajā transportā (bīstamās kravas, temperatūras jutīgi produkti u. c.).

Pakalpojumu sniedzēja izvēle piegādes ķēdē ir sarežģīts process (Percin & Min, 2013). Pastāv tendence slēgt ilgtermiņa līgumus, kas veicina sadarbību starp loģistikas pakalpojumu sniedzējiem un klientiem, palielinot elastību un spēju pielāgoties tirgus izmaiņām (Bansal et al., 2021). Efektīva maršrutu plānošana ļauj samazināt izmaksas un laiku, uzlabot piegādes ātrumu un samazināt degvielas patēriņu.

Organizējot pārvadājumus, būtiska ir tehnoloģiju izmantošana – GPS navigācija, telemātikas sistēmas, prognozēšanas rīki, kas palīdz optimizēt maršrutus un samazināt riskus. Loģistika ir visaptveroša produktu kustības pārvaldība, apvienojot transporta un biznesa aspektus ar galveno mērķi – apmierināt klientu, partneru un korporāciju vajadzības (Ahmed & Zhang, 2021).

Pieaugot konkurencei, kravu pārvadātājiem jāpielāgojas jauniem standartiem un Eiropas Savienības prasībām (Bansal et al., 2021), paplašinot loģistikas pakalpojumu portfeli un nodrošinot kvalitāti. Loģistikas pakalpojumi kravas automobiļu jomā kļūst

par nozīmīgu daļu no mūsdienu piegādes ķēdēm, nodrošinot efektīvu un uzticamu preču kustību, vienlaikus ņemot vērā ekonomiskos, sociālos un vides aspektus.

Zaļās loģistikas un vides jautājumi kļūst arvien aktuālāki zinātniskajās, politiskajās un praktiskajās aprindās. Zaļo loģistiku pamato enerģētikas sektora pārmaiņas, vides izmaiņas un globālās ekonomikas tendences. Pārkārtošanās uz zaļāku mobilitāti paredz nodrošināt tīru, pieejamu un ekonomiski izdevīgu transportu visiem Eiropas iedzīvotājiem.

Ņemot vērā minēto, literatūras apskats apliecina, ka ilgtspējas ieviešana loģistikā ir būtisks faktors konkurētspējā. Uzņēmumiem, kas nepielāgosies šīm tendencēm, pastāv risks zaudēt tirgus daļu.

2. Datu ieguves metodoloģija

2.1. Datu iegūšana

Pirmais uzdevums, lai veiktu lietotu automobiļu tirgus analīzi, ir datu iegūšana. Šajā nodaļā aplūkots pētījumā īstenoto procedūru kopums, kas nodrošina datu ticamību, pietiekamību un izsekojamību. Datu iegūšanai izmantota informācija no lielākajām automobiļu tirdzniecības tiešsaistes vietnēm Eiropā. Dati iegūti vienu reizi mēnesī visa 2023. gada garumā. Datu kopa veidota, izmantojot divas atšķirīgas, savstarpēji papildinošas pieejas – manuālo un automatizēto datu iegūšanu. Izvēle starp metodēm bija atkarīga no pieejamā datu apjoma un avotu tehniskajām iespējām.

- **Manuālā iegūšana.** Ja automatizācija nebija racionāla (neliels apjoms, sarežģīta tīmekļvietnes struktūra), datu operators saglabāja tīmekļvietnes lapu lokāli (“*Save as*”) un pēc tam datus strukturēja ar *Python* palīdzību (izmantojot *Selenium* bibliotēku). Iegūto datu saglabāšanai lietots standarta *csv* modulis. Aptuveni 35 % no kopējā datu apjoma iegūti šādā veidā.
- **Automatizētā iegūšana.** Lielāku apjomu gadījumā izmantota *Python Selenium* un *webdriver* pakotne, kas ļāva automātiski pārlūkot vairākus *URL* un iegūt nepieciešamo informāciju. Pēc automatizētas apstrādes piemērots tas pats strukturēšanas un saglabāšanas kods kā manuālajai pieejai.

Sākotnējā datu apstrāde. Pirms publicēšanas dati tika daļēji attīrīti no acīmredzamām kļūdām (piemēram, tukšām rindām vai šūnām). Pārējā apjomā dati netika filtrēti, grupēti vai citādi modificēti un ir publicēti sākotnējā formā (Skribans & Kotlars, 2024).

Ģeogrāfiskais tvērums. Lai gan datu iegūšana saistīta ar Eiropu kopumā, pētījums aptver 16 valstis: Austriju, Bulgāriju, Čehiju, Vāciju, Igauniju, Spāniju, Somiju, Franciju, Ungāriju, Itāliju, Lietuvu, Latviju, Norvēģiju, Poliju, Rumāniju un Zviedriju. Šāds tvērums veidojās pakāpeniskas pētījuma attīstības rezultātā: sākotnēji aplūkota Latvija, pēc tam Baltija, tālāk salīdzinājums ar Ziemeļeiropu un visbeidzot – ar kopējo Eiropas tirgu. Kopējā tirgus novērtēšanai Eiropā valstu atlasi noteica valstu nozīme iekšzemes kopprodukta izteiksmē un datu pieejamība. Lai gan nav iekļautas visas

Eiropas Savienības valstis, izlase ir pietiekama, lai atspoguļotu kopējās tirgus tendences Eiropā, jo ir aptverti visi Eiropas reģioni: austrumi, rietumi, ziemeļi, dienvidi un Centrāleiropa.

Datu pieejamības īpatnības. Paplašinot ģeogrāfisko areālu pētījuma gaitā, trūkst 2023. gada janvāra datu par Spāniju un Franciju. 2023. gada janvāra novērojumos par Vāciju iespējama datu dublēšanās; šai apakškopai analīzē ieteicama dublikātu noņemšana. Par Itāliju (janvāris līdz februāris) un Franciju (janvāris līdz maijs) datu iegūšana nebija vienmērīga, tādēļ šie mēneši nav reprezentatīvi. Tomēr no viena līdz divu mēnešu atšķirības neizraisa strukturālas novirzes par kopējo priekšstatu un neietekmē kopējo datu reprezentativitāti. Tomēr, ja tiek analizēta viena mēneša dinamika, minētās īpatnības ir jāņem vērā.

2.2. Datu kopas raksturojums

Datubāze tika izveidota, pamatojoties uz tiešsaistes kravas automobiļu tirgus novērojumiem 16 Eiropas valstīs 2023. gadā (sk. 4.1. tabulu). Dati iegūti no lielākajām tiešsaistes automobiļu tirdzniecības vietnēm Eiropā, kopā no 39 automobiļu tirgotājiem. Dati pieejami Skribana un līdzautoru pētījumā (Skribans et al., 2023).

4.1. tabula

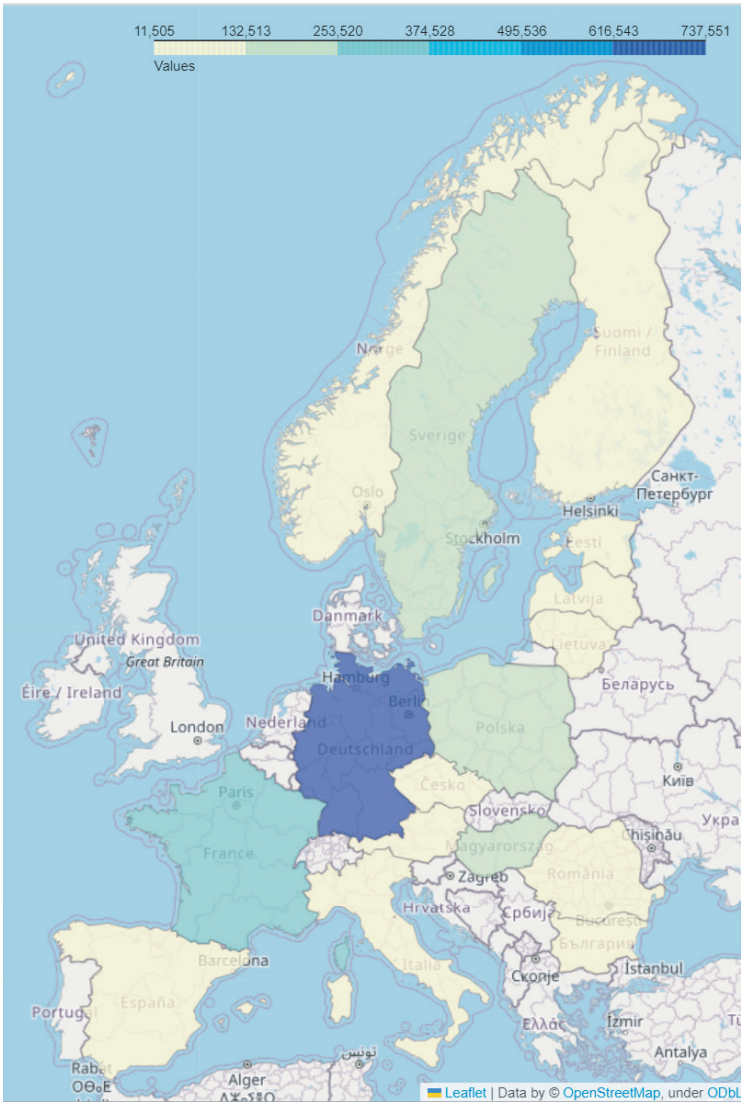
Pētījumā izmantotās Eiropas Savienības valstu tīmekļvietnes

Avots	Valsts kods saskaņā ar ISO 3166 kodu klasifikāciju															
	AT	BG	CZ	DE	EE	ES	FI	FR	HU	IT	LT	LV	NO	PL	RO	SE
Willhaben, 2023	x															
Gebrauchtwagen, 2023	x															
AutoScout24.at, 2023	x															
Auto, 2023		x														
Bazar, 2023		x														
Yauto, 2023			x													
Sauto, 2023			x													
TipCars, 2023			x													
Mobile, 2023				x												
TruckScout24, 2023				x												
AutoScout24.de, 2023				x												
Auto24.ee, 2023					x											
KuldneBors, 2023					x											
Soov, 2023					x											

4.1. tabulas turpinājums

Avots	Valsts kods saskaņā ar ISO 3166 kodu klasifikāciju															
	AT	BG	CZ	DE	EE	ES	FI	FR	HU	IT	LT	LV	NO	PL	RO	SE
Motor, 2023						x										
Milanuncios, 2023						x										
Tori, 2023							x									
Autotalli, 2023							x									
Nettiauto, 2023							x									
Leboncoin, 2023								x								
ParuVendu, 2023								x								
La Centrale, 2023								x								
Használtautó, 2023									x							
Jófogá, 2023									x							
Subito, 2023										x						
Bakeca, 2023										x						
Autoplius, 2023											x					
Autogidas, 2023											x					
Skelbiu, 2023											x					
SS, 2023												x				
Auto24.lv, 2023												x				
Finn, 2023													x			
Otomoto, 2023														x		
OLX, 2023														x		
Autovit, 2023															x	
BestAuto, 2023															x	
Blocket, 2023																x
Bytbil, 2023																x
Bilweb, 2023																x

Datu ģeogrāfiskais sadalījums ir atspoguļots 4.1. attēlā.



4.1. attēls. **Iegūto datu ģeogrāfiskais sadalījums (2023. gads).**

Kā redzams 4.1. attēlā, datu iegūšana attiecas uz Eiropas Savienības lielāko daļu. Automobiļu tirgus lielākā daļa ir saistīta ar Vāciju, kuras tirgus ir par 25–30 % lielāks nekā Francijas tirgus.

Ņemot vērā, ka dati tika iegūti 2023. gadā katru mēnesi, tie var norādīt arī uz potenciālām tirgus sezonālajām svārstībām. Apkopoto novērojumu skaits pa mēnešiem un valstīm ir parādīts 4.2. tabulā.

4.2. tabula

Novērojumi (apkopotie dati) pa mēnešiem un valstīm 2023. gadā

Valsts kods	Janvāris	Februāris	Marts	Aprīlis	Maijs	Jūnijs	Jūlijs	Augusts	Septembris	Oktobris	Novembris	Decembris	2023
AT	5112	5509	5914	5494	6278	6320	3353	6626	7652	7757	7826	8009	75 850
BG	5092	5142	5155	5143	3998	4747	5497	5779	5876	6022	6123	6053	64 627
CZ	4353	4478	4786	4 861	5027	4443	3697	3558	3754	3659	3586	3629	49 831
DE	100 483	59 108	60 620	60 090	59 427	59 560	58 487	57 027	56 703	56 364	55 254	54 428	737 551
EE	1418	1459	1550	1619	1672	1463	1502	1496	1491	1546	1567	1600	18 383
ES	n/d	3323	3262	3277	3326	2738	2602	2407	1527	1664	1728	1987	27 841
FI	6277	6495	6391	6469	6308	6326	6305	6524	6242	6355	6640	6956	77 288
FR	n/d	4393	n/d	4448	4248	41 126	41 484	39 300	40 287	40 842	41 116	42 211	299 455
HU	9215	9815	10 118	10 587	10 838	11 383	11 675	11 587	11 660	12 017	12 032	11 973	132 900
IT	6798	5990	11 723	11 476	11 097	11 881	11 212	11 477	8898	10 691	10 977	11 229	123 449
LT	2518	1027	1575	1577	1578	1662	1672	1677	1706	1709	1755	1810	20 266
LV	1239	1305	1310	1339	1402	1418	1320	1406	1426	1564	1502	1467	16 698
NO	7496	7605	7507	7386	7505	7255	7249	7175	7380	7375	7718	8444	90 095
PL	17 808	20 395	20 395	20 719	15 665	20 835	21 565	21 737	21 948	22 568	23 159	22 537	249 331
RO	1584	1821	1820	1780	1835	1837	1903	1852	1904	1959	2005	1990	22 290
SE	9150	9556	9818	9856	9921	10 873	10 835	10 859	13 173	13 168	13 327	13 962	134 498
Kopā	178 543	147 421	151 944	156 121	150 125	193 867	190 358	190 487	191 627	195 260	196 315	198 285	2 135 160

Kā redzams 4.2. tabulā, kravas automobiļu tirgū nav sezonalitātes. Novērojumi pa mēnešiem svārstās 2–3 % robežās. Jāatzīmē, ka pētījuma sākuma posmā dati netika apkopoti visās valstīs, kas bija saistīts gan ar tehniskām problēmām, gan ar novēlotu lēmumu paplašināt pētījuma ģeogrāfisko areālu. Kopējais novērojumu skaits (vairāk nekā 2,1 miljons) apstiprina, ka datu kopa pilnībā atspoguļo Eiropas tirgu.

Ņemot vērā, ka dati tika apkopoti no vairākiem avotiem un dažādām valstīm, katras valsts datiem var būt savas īpatnības. Neskatoties uz to, datus lielākoties var apvienot un salīdzināt. Datu kopā apkopotie lauki pa valstīm ir sadalīti 4.3. tabulā.

4.3. tabula

Apkopotā informācija (lauki) pa valstīm

Valsts kods	Kravas automobiļa nosaukums	Cena	Izlaides gads	Nobrauk-kums	Dzinēja tilpums (jauda)	Degviela (dzinēja tips)	Ātrum-kārba	Papildus
AT	x	x	x	x	x	x	x	-
BG	x	x	x	x	x	x	x	x
CZ	x	x	x	x	x	-	-	x
DE	x	x	x	x	x	-	-	-
EE	x	x	x	x	x	x	x	-
ES	x	x	x	x	x	x	-	-
FI	x	x	x	x	-	x	x	x
FR	x	x	x	x	-	x	-	-
HU	x	x	x	x	x	x	-	-
IT	x	x	x	x	-	-	-	x
LT	x	x	x	x	x	x	-	x
LV	x	x	x	-	-	-	-	x
NO	x	x	x	x	-	-	-	x
PL	x	x	x	x	x	x	-	x
RO	x	x	x	x	x	-	-	-
SE	x	x	x	x	-	x	-	-

Kā redzams 4.3. tabulā, galvenie iegūtie dati ir kravas transportlīdzekļa nosaukums (ieskaitot ražotāju vai zīmola nosaukumu un automobiļa modeļa nosaukumu), cena, izlaides gads un nobraukums. Sekundārie dati ir dzinēja tilpums un degviela, kas ir saistīti ar dzinēja jaudu un tipu. Sekundārie dati ir piesaistīti modeļu nosaukumiem, jo vairāki automobiļu modeļi tiek ražoti ar ierobežotām dzinēja tipa un tilpuma izvēles iespējām. Ātrumkārbas izvēle ir daļa no automobiļa komplektācijas papildu opcijām. Papildu dati ietver vairākus parametrus, piemēram, automobiļa krāsu, automobiļa atrašanās vietas reģionu valstī un citu neklasificētu informāciju.

Neskatoties uz datu avotu atšķirībām, dažādu valstu datus no var apvienot vienā datu masīvā un salīdzināt, jo visos valstu datos ir galvenā informācija par automobiļu modeļiem, cenām, izlaides gadu, nobraukumiem u. c.

Dati sākotnēji publicēti bez apstrādes (Skribans et al., 2023). Tas ir pietiekami, lai iegūtu vienkāršus pārskatus, piemēram, automobiļu vidējo vecumu (sadalījumu pēc izlaides gada), automobiļa vidējās cenas atkarību no izlaides gada un nobraukuma, sadalījumu pēc dzinēja tipa un jaudas, kā arī novērojumu sadalījumu pa valstīm. Informācijas formālā sadalīšana laukos veikta datu ieguves procesā, ņemot vērā tiešsaistes avotos pieejamos laukus. Tomēr autori atzīmē, ka šie lauki ne vienmēr atbilst optimālajam iedalījumam. Atsevišķos gadījumos datu laukos ietverta papildu informācija, piemēram, datu laukā "Nosaukums" bieži iekļauta plašāka informācija, savukārt datu laukā "Dzinējs" vienlaikus var būt norādīts gan dzinēja tips, gan tilpums, kas nav optimāls risinājums. Piemēram, novērojuma nosaukums neapstrādātajos datos "*Mercedes-Benz Sprinter 316 CDI L2H2/Autom./AHK/NAVI/KLIMA*" transporta speciālistam sniedz informāciju, kas uzskatāmībai parādīta 4.4. tabulā.

4.4. tabula

Saīsinājumu dekodēšana atbilstoši tehniskajai specifikācijai

Virsraksti, galvenais indikators	Sīkāka informācija
Ražotājs	*Mercedes-Benz*
Automobiļa modelis	*Sprinter 316*
Dzinējs	*Diesel (+CDI, Common Rail Diesel Injection technology)*
Transportlīdzekļa garums un augstums	*L2H2 is MWB, medium-roof*
Ātrumkārbas tips	*Automat*
1. opcija	*Active Rear Axle Kinematics (AHK) indicator*
2. opcija	*Navigation system*
3. opcija	*Climate control*
Emisijas klase	*Euro 5*

Ir acīmredzams, ka datu apstrāde būtiski paplašinātu datu izmantošanas iespējas. Diemžēl apjoms, kas sasniedz 2,1 miljonu novērojumu, neļauj šo darbu veikt manuāli. Ilgtermiņā datu praktiskai izmantošanai ir jāizstrādā mašīnmācīšanās modelis, kas klasificētu pieejamos datus. Pēc apstrādes būtu iespējams izvērtēt transporta nozares ietekmi uz piesārņojuma līmeni Eiropā, kā arī prognozēt izmaiņas kravu pārvadājumu tirgū pārejas periodā uz videi draudzīgiem risinājumiem. Šim nolūkam jāklasificē katrs atsevišķais novērojums atbilstoši emisijas klasei, kas ļautu noteikt katra kravas transportlīdzekļa radīto piesārņojumu.

3. Empīriskie rezultāti: lietoto kravas automobiļu tirgus Eiropā

Apkopojot datus par kravas automobiļu ražotājiem Eiropā, novērojumi liecina, ka kravas automobiļu izmantošanā, izvērtējot pēc kritērija "Novērojumu skaits pēc ražotāja", starp pakalpojumu sniedzējiem dominē *Mercedes-Benz* automobiļi, kas ir vairāk nekā 20 % no iegūtajiem datiem (347 643), 15 % gadījumu tiek lietots *Volkswagen* zīmola transports (260 354), 14 % gadījumu – *Ford* (233 461) un 12 % *Renault* (206 092). Šie rezultāti liecina, ka uzņēmumi priekšroku dod jau labi zināmiem automobiļu ražotājiem, kuri auto ražošanas tirgū ir no pirmsākumiem. Īpaši tas būtu norādāms uz *Mercedes-Benz*, *Ford* un *Volkswagen* automobiļu ražotājiem, kuri ir vieni no vecākajiem automobiļu ražotājiem pasaulē un izpelnījušies uzticību klientu vidū.

Mercedes-Benz ir preču zīme, kas pieder Vācijas automobiļu sabiedrībai *Daimler AG*. Pirmie zīmola kravas automobiļi tika ieviesti 1926. gadā. Kā būtiskākā priekšrocība tiek minētas zemas uzturēšanas izmaksas. Tie ir īpaši saistīti ar augstu degvielas patēriņa efektivitāti, ko nodrošina augstas kvalitātes *Euro 6* dzinēji. Turklāt ir pieejama *Predictive Powertrain Control*, kas ļauj ietaupīt līdz pat 5 % dīzeļdegvielas (Mercedes-Benz, 2023). Lai brauktu pa ceļu, tas izmanto GPS navigācijas datus un vajadzības gadījumā kontrolē maiņu sistēmas darbību. Rezultātā *Ecoroll* degvielas taupīšanas funkcija tiek izmantota pagarināti. Automobiļiem piemīt augsts drošības līmenis, ko galvenokārt nodrošina elektroniskā bremžu sistēma (EBS), kā arī augsts komforta līmenis.

Uzņēmumi augstu vērtē arī *Volkswagen* ražotos kravas automobiļus. Arī šis automobiļu ražotājs ir no Vācijas. Ar šo zīmolu ražo arī šasijas kravas automobiļus, kas ir optimāls risinājums īstermiņa un vidēja attāluma kravas pārvadāšanai. Ir pieejami arī transportlīdzekļi ar 6 x 4 ass konfigurāciju, kas ir paredzēti lietošanai bezceļa apstākļos. Tie ir īpaši piemēroti izmantošanai būvniecībā un kokapstrādē (Volkswagen, 2023). Kā būtiskākā priekšrocība minēta spēja darboties nelabvēlīgos laika apstākļos. Ir pieejami komerciālie transportlīdzekļi, kas var darboties -20 °C un +45 °C temperatūrā. *Worker* modeļi ir aprīkoti ar sešu ātrumu *Eaton* pārnesumkārbu, kas padara ērtu izmantošanu. Piegādes transportlīdzekļi ir piemēroti izmantošanai pilsētu un lauku apstākļos.

Trešais biežāk lietotais zīmols ir *Ford*, tā ir amerikāņu automobiļu kompānija, kas dibināta 1903. gadā. Tās vēsture aizsākās 1896. gadā, kad uzņēmuma dibinātājs izstrādāja pirmo transportlīdzekli. Pirmais kravas automobiļa zīmols parādījās 1917. gadā. Tas bija *TT* modelis, kura pamatā ir leģendārais automobilis *Model T*. Kā būtiskākā priekšrocība minētas zemas uzturēšanas izmaksas. Autoiekrāvēji 1842T, 1848T un 3542T ir aprīkoti ar *Ecotorq* dzinējiem (Ford, 2023). Tiem piemīt mērens degvielas patēriņš. *Ford* kravas automobiļiem ir augstas kvalitātes sastāvdaļas, tāpēc tiem nav nepieciešama bieža tehniskā apkope. Automobiļiem raksturīga drošība un lietošanas vienkāršība. Transportlīdzekļi ir aprīkoti ar *ABS* sistēmu un gaitas

kontroles sistēmu piedziņas riteņiem. Pastāv arī īpaša sistēma, kas ļauj pilnībā piekrautam kravas automobilim neripot stāvā nogāzē. Transportlīdzekļi un sistēmas var nokalpot vairāk nekā 1 000 000 kilometru. Šasija ir izgatavota no niobija sakausējuma, tādēļ tā ir ļoti izturīga. Jāuzsver arī augstais komforts.

Renault zīmola automobiļu ražotājvalsts ir Francija. Uzņēmums dibināts 1899. gadā. Kā būtiskākās priekšrocības ir *Master* dzinēju klāsts, kas ir pilnībā atjaunināts mūsdienu prasībām. Lai nodrošinātu dinamiskāku paātrinājumu un braukšanas uzsākšanu, ir pieejami agregāti ar lielu jaudu un griezes momentu (līdz 400 Nm un 180 ZS) (Julianelli et al., 2020). Kopš 2018. gada septembra visi jaunie automobiļi ir sertificēti saskaņā ar *WLTP* procedūru (Renault, 2023). Jaudas un griezes momenta pieejamību papildina samazināts degvielas patēriņš (aptuveni par 1 L/100 km).

Izvērtējot detalizētāk veiktos novērojumus, secināms, ka arī šie dati apliecina, ka līderi ir *Ford*, *Mercedes-Benz* un *Volkswagen* zīmoli (sk. 4.5. tabulu). Dati liecina, ka tādās attīstītajās valstīs kā Austrija, Somija, Vācija biežāk izmanto tādus zīmolus kā *Ford*, *Mercedes-Benz* un *Volkswagen*, savukārt bijušajās sociālisma valstīs tiek atzīti tādi zīmoli kā *Iveco*, *Volvo*, *MAN*, *Renault*, *Peugeot* un *Fiat*. Savukārt Itālijā pirmo vietu ieņem *Fiat*, jo tas ir Itālijas automobiļu un motoru ražošanas uzņēmums. Uzņēmumu 1899. gadā izveidoja Džovanni Anjelli. *Fiat* ir lielākais autobūves uzņēmums Itālijā, kas ir bāzēts Turīnā.

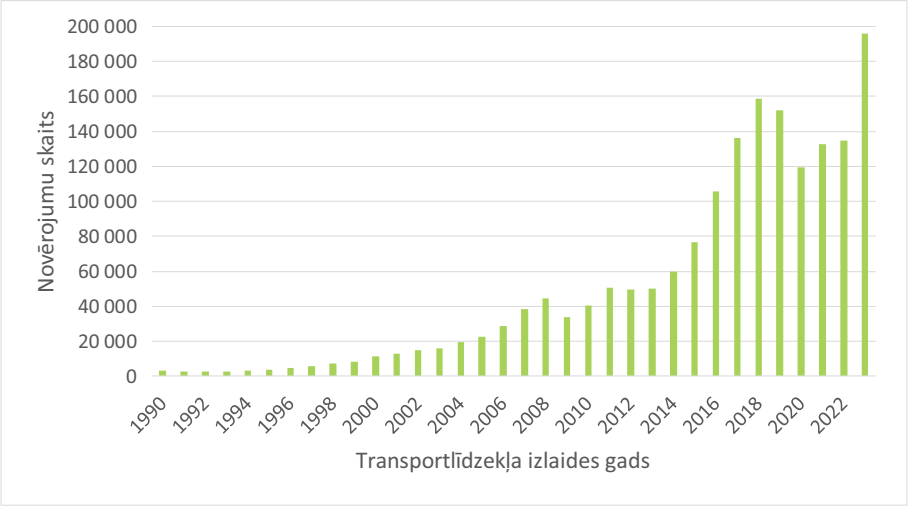
4.5. tabula

Zīmolu izmantošanas biežums Eiropas valstīs

Valsts	1. zīmols	2. zīmols	3. zīmols
Austrija	*Volkswagen*	*Ford*	*Mercedes-Benz*
Bulgārija	*Mercedes-Benz*	*Iveco*	*Volkswagen*
Čehija	*Ford*	*Volkswagen*	*Iveco*
Igaunija	*Volvo*	*Volkswagen*	*Mercedes-Benz*
Itālija	*Fiat*	*Iveco*	*Ford*
Lietuva	*MAN*	*Mercedes-Benz*	*Volvo*
Norvēģija	*Volkswagen*	*Ford*	*Toyota*
Polija	*Renault*	*Fiat*	*Iveco*
Rumānija	*Ford*	*Mercedes-Benz*	*Renault*
Somija	*Ford*	*Volkswagen*	*Mercedes-Benz*
Spānija	*Renault*	*Peugeot*	*Ford*
Vācija	*Mercedes-Benz*	*Volkswagen*	*Ford*
Zviedrija	*Volkswagen*	*Ford*	*Renault*

Pētījuma gaitā veikti novērojumi arī saistībā ar automobiļu ražošanas gadu. Tendences liecina, ka, jo automobilis ir jaunāks, jo tas ir atbilstošāks mūsdienu prasībām. Aizvien attīstoties dažāda veida tehnoloģijām, tiek ražoti mūsdienīgāki transportlīdzekļi, tostarp elektriskie transportlīdzekļi, ļaujot būt soli tuvāk elektronizētai nākotnei. Atkarībā no transportlīdzekļa aprīkojuma, tostarp izlaides gada, vērojamas atšķirības dažādos rādītājos, kā, piemēram, cik km var nobraukt ar pilnībā uzpildītu degvielas bāku vai vienu uzlādi, akumulatoru, motoru, diagnostikas iespēju atšķirības. Liela daļa emisiju rodas no kravas automobiļiem, tādēļ nemitīgi ir jādomā par CO_2 izmešu samazināšanu pasaulē un jābūt skatam automatizētā nākotnē.

Pētījumā izmantoti dati "pēc kravas automobiļa izlaides gada" par laika periodu no 1991. gada līdz 2023. gadam (ieskaitot). Izvērtējot pieejamos datus, secināms, ka vismazāk tiek izmantoti transportlīdzekļi, kuri ražoti līdz 2000. gadam (sk. 4.2. attēlu). Savukārt visvairāk tiek izmantoti kravas automobiļi, kuri ražoti laika posmā no 2001. līdz 2013. gadam un 2021. un 2022. gadā. Dati liecina, ka kravas automobiļu izlaides gada līderis ir 2023. gads, jo tajā fiksēts 28 511 automobiļu. Tas ļauj secināt, ka parādās tendence iegādāties aizvien jaunākus kravas automobiļu modeļus, tādējādi īpašniekiem modernizējot savu autotransporta parku, domājot gan par drošību, gan par ērtībām, gan arī par vides piesārņojumu.



4.2. attēls. **Transportlīdzekļu izlaides gads** (Amolina et al., 2025)**.**

Ieguvums no jaunāku transportlīdzekļu izmantošanas vērojams arī attiecībā uz autoceļu lietošanas nodevas tarifiem, kas tiek noteikti katrā no valstīm. Autoceļu lietošanas nodevas aprēķināšanas kārtībā tiek ņemti vērā tādi faktori kā:

- transportlīdzekļa *EURO* kaitīgo izmešu klase;
- transportlīdzekļa radītais trokšņu līmenis (trokšņa piesārņojums);

- transportlīdzekļa vai tā sastāva pilnā masa;
- transportlīdzekļiem vai to sastāviem ar pilnu masu virs 18 t – asu skaits.

Pētījuma gaitā kravas automobiļi iedalīti pēc to degvielas tipa. Novērojumi liecina, ka, lai gan tirgū pieejami gan benzīna automobiļi, gan elektroautomobiļi, gan arī ar biodegvielu darbināmi automobiļi, vislielākais skaits tomēr ir automobiļi, kas izmanto tradicionālo dīzeļdegvielu. Dīzeļdegviela tiek izmantota 61 % gadījumu no visiem novērotajiem kravas automobiļiem. Benzīns konstatēts tikai 2,3 % gadījumu un visu pārējo degvielu (elektrība, hibrīds, *LPG* (sašķidrināta naftas gāze); *CNG* (saspiesta dabasgāze) lietums ir zem 1 %.

Ceturto daļu CO_2 pēdas uz Eiropas ceļiem atstāj smagais kravas komerctransports, tāpēc rodas jautājums, kad tas kļūs videi draudzīgāks, respektīvi, ar ko un kad tiks aizstāta dīzeļdegviela. Lai atbildētu uz šo jautājumu, uzmanība jāpievērš trim galvenajiem aspektiem – no kā ražot ilgtspējīgu degvielu, kā tai izveidot labu infrastruktūru un kā pārliecināt lielo autoparku uzņēmumus.

Dati liecina, ka kravas automobiļu ražotāji un arī uzņēmumi, kuri iegādājas šos transportlīdzekļus, nav gatavi pievienoties zinātnē balstītu mērķu iniciatīvai, kura nosaka pasākumus klimata pārmaiņu samazināšanai. Uzņēmumi tuvākajā laikā neplāno kļūt klimatneitrāli.

Elektrisko un citu alternatīvo degvielu kravas automobiļu modeļu skaits ir ierobežots, un tie bieži vien ir dārgāki nekā tradicionālie transportlīdzekļi. Pašlaik vēl aizvien pastāv arī problēmas ar infrastruktūru, kā piemēru minot uzlādes stacijas elektriskajiem kravas transportlīdzekļiem, kas vēl ir tikai attīstības stadijā. Tāpat arī elektrisko automobiļu akumulatori ir daudz jutīgāki pret temperatūras režīmu, īpaši aukstumu, nekā iekšdedzes dzinēju sistēmas. Līdz ar to tehnoloģiskā attīstība un risinājumi šajā aspektā vēl ir nepietiekami.

Viena no iespējām attiecībā uz ilgtspējīgu transportu ir elektrifikācija. Lai to varētu īstenot, ir jāpalielina atjaunojamās enerģijas apjoms, citādi akumulatori tiks piepildīti ar videi nedraudzīgu elektroenerģiju. Ir vēl kāds būtisks aspekts – no vienas puses, transporta ekoloģijas jautājums ir jārisina ļoti ātri – jau tagad, bet, no otras puses, ja pēkšņi visiem kravas automobiļiem uzrastos elektriskie dzinēji, ar pašreizējo jaudu elektrotīkli nespētu tos apkalpot (Barker et al., 2021). Pētījuma rezultāti norāda, ka automobiļi, kuru uzlādei tiek izmantota elektrība, ir tikai 0,48 % no visiem pētījuma objektiem. Tomēr šī degviela ieņem 3. vietu pēc dīzeļdegvielas un benzīna.

Dati liecina, ka tiek izmantota arī tāda degviela kā saspiestā vai sašķidrinātā biogāze, kas ražota no atkritumiem un kas samazina CO_2 emisiju par 70–80 %, savukārt hidrogenētas augu eļļas (*HVO*) degviela, ko iegūst no izmestiem produktiem, – vidēji par 83 %. Transports, ko darbina akumulatoros uzkrātā elektrība, CO_2 izmešu apjomu šobrīd samazina vidēji tikai par 55 %, biodīzeļdegviela un etanola (ED95) degviela – vidēji par 60 % un 80 % (Delfi, 2024). Svarīgākais gan būtu, lai visi šie enerģijas avoti būtu tehnoloģiski gatavi lietošanai un ražotāji spētu piedāvāt attiecīgus kravas automobiļu modeļus (Barker et al., 2021).

Nākamais novērotais rādītājs bija automobiļu dzinēja tilpums (litros). Izpētot datus (kopā analizēti 392 525 transportlīdzekļi), secināms, ka populārākais dzinēja

tips ir 2 litru dzinējs, kas no visiem novērotajiem automobiļiem veido 25 %. Otrajā vietā ir 2,3 litru dzinējs (17 %) un trešajā vietā – 2,2 litru dzinējs, kas ir 12 % no visiem novērotajiem automobiļiem. 9 % robežu sasniedz dzinēji ar 1,5 litru tilpumu, 8 % – 3 litru un 1,6 litru tilpumu, bet pārējie dzinēju tilpa veidi jau ir zem 5 %. Savukārt dzinēji ar tilpumu no 3,1 litra līdz 23 litriem kopumā no visu novēroto automobiļu skaita veido tikai 1 %, izņemot 3,2 litru tilpumu, kas veido 5 %.

Tāpat svarīgs raksturlielums jebkuram automobilim ir dzinēja jauda. Tomēr jānorāda, ka lietotu spēkratu tirgū tas ir viens no neaktuālākajiem rādītājiem. Autoražotāja noteiktā dzinēja jauda ir aktuāla tikai un vienīgi jaunam automobilim, jo tas ar laiku neizbēgami zaudēs lielāku vai mazāku "zirgspēku" skaitu.

Lai spēkrata motors darbotos labi, tam ir vajadzīga pareiza degvielas padeve, atbilstoša ieplūdes un izplūdes gāzu plūsma, laba kompresija un dzirkstele īstajā laikā. Ja kādā no šiem procesiem ir radusies kļūme vai detaļas ir nolietojušās, tad pakāpeniski automobiļa dzinējs zaudē jaudu.

Izpētot automobiļu dzinēju jaudas, rezultāti liecina (sk. 4.6. tabulu), ka 29 % ir automobiļi, kuru jauda ir zem 100 kW, bet 29 % – ar jaudu 201–300 kW. 42 % no datiem nav pieejama informācija par automobiļu jaudu. Tikai 1 % no visiem datiem ir automobiļi ar jaudu 101–200 kW un 301–400 kW. Vismazākais novērojumu skaits ir automobiļiem ar jaudu 401–500 kW. Kopumā secināms, ka visvairāk loģistikā izmanto kravas automobiļus ar jaudu 96 kW – 61 659 novērojumi.

4.6. tabula

Automobiļu dzinēju jauda

Jauda, kW	0–100	101–200	201–300	301–400	401–500	Nav datu	0
Novērojumu skaits	642 908	14 014	609 241	17 950	6417	929 490	364

Automobiļu dzinēju jauda parasti atbilst transportlīdzekļa paredzētajai izmantošanai, kravnesībai un degvielas efektivitātes prasībām. Lielāki kravas automobiļu dzinēji ir raksturīgi lieljaudas darbiem un tālsatiksmes pārvadājumiem, un šajā gadījumā jāņem vērā, ka pārvadājamā prece būs ar lielu svaru un tiks patērēts vairāk degvielas. Ja ir neliela dzinēja jauda, tad savukārt veiktspēja būs viduvēja.

Kopumā jāsecina, ka tirgū pieejamajiem kravas transportlīdzekļiem ir liela vecuma amplitūda, dažāda dzinēju jauda un dažādi degvielu veidi. Nodrošinot loģistikas pakalpojumus, mūsdienīgu klientu apkalpošanu un preču piegādi, būtiski plānot piegādes precizitāti, nodrošinot, ka piegādes tiek veiktas laikus, atbilstoši plānotajam un piedāvājot pēdējās jūdzes piegādi, kas ietver tiešo piegādi līdz klienta durvīm.

4. Datu lietojuma piemērs ekonometriskai modelēšanai

Šajā nodaļā ir aplūkots Latvijas un Vācijas lietotu automobiļu tirgus ekonometriskā modeļa piemērs, izmantojot datu ieguves (*data mining*) metožu lietošanas pieredzi saskaņā ar Skribana un Hegertija pētījumu (Skribans & Hegerty, 2019). Pētījuma datu izmantošanas piemērā, kurā aplūkoti dažāda tipa lietoti automobiļi, ļauj veikt plašu analīzi par transportlīdzekļu tirgu, tai skaitā par lietoto kravas automobiļu tirgu, kas šī pētījuma ietvaros netiks veikta. Tomēr Skribana un Hegertija pētījums kalpo par pamatu datu ieguves metodoloģijai, ko var izmantot lietotu automobiļu, tai skaitā lietoto kravas automobiļu sludinājumu un tirgus tendenču monitoringam un analīzei (Skribans & Hegerty, 2019). Konkrētais pētījuma piemērs kalpo kā labās prakses piemērs, kas var tikt pārņemts atbilstoši datos balstītajai analīzei un pielāgojams konkrētās valsts apstākļiem.

Automobiļu kvalitātes atšķirības Vācijā un Latvijā aktualizē jautājumu: cik lielu cenu Latvijas iedzīvotāji ir gatavi maksāt, lai iegādātos automobili no Vācijas? Lai atbildētu uz šo jautājumu, izstrādāts šāds ekonometriskais modelis:

$$P_i = a_1 I_i + a_2 2M_i + a_3 MTD_i + a_4 MTB_i + a_5 MTG_i + a_6 MTH_i + a_7 G_i + a_8 MI_i + \sum_{k=1}^{13} a_n C_{ki} + \\ + a_{22} ME_i + \sum_{k=1}^{9} a_n T_{ki} + \sum_{k=1}^{21} a_n T_{ki} + a_{53} TI_i + a_{54} SET_i \,, \quad (1.)$$

kur visiem automobiļiem i:

P_i – cena;
I_i – izlaides gads;
M_i – motora tilpums (kubikcentimetros);
MTD_i – fiktīvā mainīgā vērtība automobiļiem ar dīzeļdzinēju;
MTB_i – fiktīvā mainīgā vērtība automobiļiem ar benzīna dzinēju;
MTG_i – fiktīvā mainīgā vērtība automobiļiem ar gāzes sistēmu;
MTH_i – fiktīvā mainīgā vērtība automobiļiem ar hibrīddzinēju;
G_i – fiktīvā mainīgā vērtība automobiļiem ar automātisko ātrumkārbu;
MI_i – nobraukums;
Ck_i – fiktīvā mainīgā vērtība automobiļiem ar krāsu *k* (kopā 13 krāsas);
ME_i – fiktīvā mainīgā vērtība automobiļiem ar "*metallic*" krāsas iespēju;
Tk_i – fiktīvā mainīgā vērtība automobiļiem ar virsbūves tipu *k* (kopā deviņi tipi: kabriolets/rodsters; mini; minivens; apvidus automobilis/pikaps; citi; sedans; sporta automobilis/kupeja; universālis; nezināms);
Pk_i – fiktīvā mainīgā vērtība automobiļiem no ražotāja *k* (kopā 21 ražotājs, piemēram, *Audi*, *BMW* u. c.);
TI_i – laiks (mēnešos) līdz nākamajai tehniskajai apskatei automobilim i;
SET_i – komplektācija (0 – bez papildu aprīkojuma; 1 – tikai viens elements, piemēram, drošības spilvens; līdz pat 98 klasēm).

Ekonometriskā modeļa kvalitāti raksturo šādi dati:

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-10674.9	-1632.1	-442.6	1069.6	27811.7

Coefficients: (5 not defined because of singularities)

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)	
I	5,22E+02	5,38E+00	97,088	< 2e-16	***
M	1,17E+03	4,20E+01	27,904	< 2e-16	***
MTD	-1,04E+06	1.081e+04	-96.447	< 2e-16	***
MTB	-1,04E+06	1.080e+04	-96.520	< 2e-16	***
MTG	-1,04E+06	1.080e+04	-96.547	< 2e-16	***
MTH	-1,04E+06	1.081e+04	-96.216	< 2e-16	***
G	4,75E+02	4,62E+01	10,297	< 2e-16	***
MI	-1,23E-02	2.766e-04	-44.413	< 2e-16	***
C1	-4,32E+02	2,91E+02	-1.486	0.137223	
C2	-6,87E+02	2,91E+02	-2.362	0.018169	*
C3	-1,02E+03	2,91E+02	-3.496	0.000474	***
C4	-5,31E+02	2,92E+02	-1.817	0.069203	.
C5	5,90E+02	2.951e+02	1.998	0.045679	*
C6	1,35E+01	3.005e+02	0.045	0.964304	
C7	-3,65E+01	3,03E+02	-0.120	0.904309	
C8	8,86E+02	3.021e+02	2.933	0.003355	**
C9	-3,45E+01	3,20E+02	-0.108	0.914220	
C10	-8,84E+02	3,25E+02	-2.720	0.006526	**
C11	-1,22E+03	3,40E+02	-3.587	0.000335	***
C12	1,64E+01	3.429e+02	0.048	0.961767	
C13	-9,16E+01	3,65E+02	-0.251	0.801669	
ME	-1,90E+02	4,09E+01	-4.641	3.49e-06	***
T1	-1,90E+03	2,50E+02	-7.594	3.24e-14	***
T2	-1,13E+03	2,49E+02	-4.530	5.94e-06	***
T3	7,17E+02	2.526e+02	2.840	0.004516	**
T4	-1,72E+03	2,51E+02	-6.839	8.20e-12	***
T5	-9,05E+02	2,54E+02	-3.561	0.000370	***
T6	-7,98E+02	2,64E+02	-3.027	0.002476	**
T7	9,72E+00	2.717e+02	0.036	0.971467	
T8	7,44E+02	2.885e+02	2.580	0.009878	**
T9	-8,78E+02	2,98E+02	-2.948	0.003198	**
P1	1,83E+03	6,96E+01	26,3	< 2e-16	***
P2	2,17E+03	7,88E+01	27,537	< 2e-16	***
P3	2,52E+03	7,68E+01	32,733	< 2e-16	***
P4	1,18E+03	8,17E+01	14,388	< 2e-16	***
P5	2,36E+03	9,38E+01	25,191	< 2e-16	***
P6	1,44E+03	9,05E+01	15,909	< 2e-16	***
P7	7,30E+01	1.007e+02	0.725	0.468476	
P8	-8,00E+02	1,14E+02	-7.003	2.58e-12	***
P9	-9,08E+01	1,22E+02	-0.743	0.457555	
P10	-7,91E+02	1,31E+02	-6.038	1.59e-09	***
P12	6,12E+02	1.368e+02	4.475	7.67e-06	***
P13	-9,92E+02	1,59E+02	-6.259	3.95e-10	***
P14	-6,71E+02	1,52E+02	-4.404	1.07e-05	***
P15	2,65E+02	1.461e+02	1.813	0.069806	.
P16	-1,34E+03	1,57E+02	-8,509	< 2e-16	***
P17	-6,50E+02	1,61E+02	-4.053	5.07e-05	***
P18	-9,64E+02	1,55E+02	-6.228	4.82e-10	***
P19	1,46E+03	1.749e+02	8.361	< 2e-16	***
P20	6,46E+02	2.013e+02	3.209	0.001334	**
P21	-9,02E+02	1,92E+02	-4.696	2.67e-06	***
P22	1,38E+03	2.362e+02	5.838	5.35e-09	***
TI	1,01E+01	4.143e+00	2.425	0.015324	*
Set	6,49E+01	1,95E+00	33,279	< 2e-16	***

Signif. codes: 0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

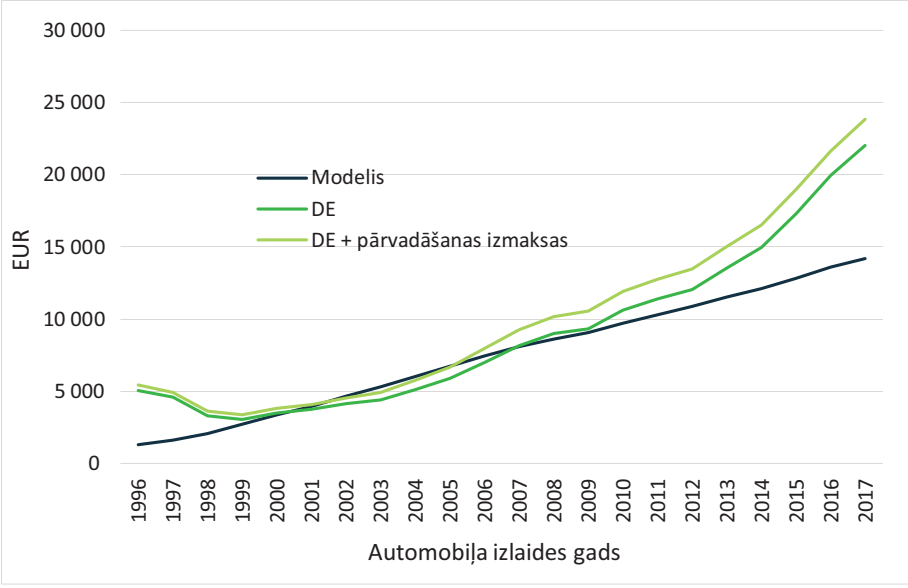
Residual standard error: 2609 on 21745 degrees of freedom
Multiple R-squared: 0.8946, Adjusted R-squared: 0.8941
F-statistic: 1758 on 105 and 21745 DF, p-value: < 2.2e-16

Ekonometriskais modelis atspoguļo, kā:

- katru gadu uz ceļa automobilis zaudē vidēji 522 EUR vērtības;
- katrs kubikcentimetrs motora darba tilpuma palielina automobiļa cenu par 1172 EUR;
- atšķirības automobiļu cenās atkarībā no dzinēja tipa, degvielas veida vai krāsas ir minimālas;
- automobiļiem ar automātisko ātrumkārbu cena ir par 475 EUR augstāka nekā ar mehānisko;
- katrs papildus nobrauktais kilometrs samazina automobiļa cenu par 0,0123 EUR;
- vislielāko ietekmi uz patērētāja izvēli atstāj automobiļa tips un ražotājs, taču šo faktoru ietekme ir atšķirīga;
- laiks līdz nākamajai tehniskajai apskatei ietekmē cenu par 10 EUR mēnesī (kas Latvijā ir salīdzināms ar faktisko izmaksu sadalījumu pa mēnešiem);
- noteiktos gadījumos komplektācija kopumā var palielināt automobiļa cenu līdz pat 6500 EUR (īpaši pilnas komplektācijas vai luksusa klases automobiļiem).

Izstrādātā modeļa novērtējums R2=0,894 norāda uz labu modeļa ticamību. Papildus tika testēti vairāki alternatīvi modeļi, kuros iekļautas tikai galvenās raksturojošās pazīmes, piemēram, izlaides gads un nobraukums. Tomēr vienkāršāki modeļi nenodrošināja augstāku kvalitāti. Tas parāda, ka analizētais tirgus ir atkarīgs ne tikai no kvantitatīviem faktoriem, bet arī no patērētāju priekšrocībām.

Pētījumā izstrādātais ekonometriskais modelis tiek piemērots Vācijas gadījumam, kas redzams 4.3. attēlā.



4.3. attēls. **Latvijas lietotu automobiļu cenu modeļa lietojums Vācijas tirgū.**

Saskaņā ar 4.3. attēla rezultātiem redzams, ka automobiļu cenas Vācijā ir līdzīgas Latvijas modelim 10–20 gadus veciem automobiļiem vai automobiļiem cenu diapazonā no 2500 EUR līdz 9000 EUR. Latvijā lietoti automobiļi, kas izlaisti pirms 1999. gada, bet joprojām ir labā tehniskā stāvoklī, ir ļoti reti sastopami. Šīs grupas automobiļi nav pieprasīti, savukārt Vācijā to cenas ir ievērojami augstākas. Mazlietotiem automobiļiem vai automobiļiem, kuru cena pārsniedz 10 000 EUR, autoru izstrādātais modelis nedarbojas, jo tā ir robeža, kur lietoti automobiļi sāk konkurēt ar jauniem automobiļiem Latvijā.

Pamatojoties uz pētījuma datiem, var secināt, ka veco dīzeļdzinēju automobiļu (ar augstu CO_2 emisiju) aizliegums Vācijā nemaina lietotu automobiļu tirgu Eiropas Savienībā (Skribans & Hegerty, 2019). Tā kā citās Eiropas Savienības valstīs nav līdzīgu ierobežojumu, nevēlamu automobili ir iespējams eksportēt no Vācijas uz citu Eiropas Savienības valsti, nezaudējot automobiļa vērtību, piemēram, bijušajās Austrumu bloka valstīs.

Secinājumi

Kravas transportlīdzekļu ražotāji nepārtraukti domā, kā attīstīt savu ražotni atbilstoši mūsdienu prasībām, domājot arī par klimata pārmaiņām, par vides piesārņojuma samazinājumu.

Pētījuma dati liecina, ka, organizējot kravu pārvadājumus, pakalpojumu sniedzēji izmanto vispāratzītus automobiļu ražotāju zīmolus, kuri sevi pierādījuši jau no automobiļu ražošanas uzsākšanas laika, kā arī nepārtraukti pielāgojot savus automobiļus mūsdienu tendencēm un attīstības iespējām.

Nodrošinot loģistikas pakalpojumus, būtiski ir pārzināt kravas transportlīdzekļu specifikāciju. Ir jābūt informācijai par marku, modeļiem, kuri automobiļu ražotāji un modeļi tiek izmantoti tirgū visvairāk. Būtisks ir automobiļa ražošanas gads, jo vecuma sadalījums palīdz noteikt, cik jauni vai veci ir pakalpojumos izmantojamie transportlīdzekļi. Atbilstoša kravas transportlīdzekļa un tā dzinēja izvēle ir līdzsvars starp veiktspēju un ekspluatācijas izmaksām. Savukārt nobraukums ir indikators par kravas transportlīdzekļa izmantošanas intensitāti. Izvērtējot šos aspektus, var iegūt visaptverošu priekšstatu par lietoto kravas automobiļu tirgu Eiropā, to piemērotību dažādai izmantošanai un iespējām uzlabot efektivitāti un ilgtspēju.

Kravas automobiļi patērē lielu daudzumu degvielas, kas pārsvarā ir fosilā degviela, piemēram, dīzeļdegviela. Tās izmantošana ir saistīta ar ievērojamiem siltumnīcefekta gāzu izmešiem, kas negatīvi ietekmē klimatu un gaisa kvalitāti. Kopumā var teikt, ka pašreizējie kravas automobiļi, kas tiek izmantoti piegāžu jomā Eiropas Savienībā, nav videi draudzīgi, bet ir redzami būtiski soļi un iniciatīvas, lai mainītu šo situāciju nākotnē.

Autoru skatījumā tradicionālo kravas transportlīdzekļu aizstāšana ar elektroautomobiļiem nav iespējama, ņemot vērā augsto enerģijas patēriņu kravu pārvadājumos un jaudas trūkumu mūsdienu elektroakumulatoriem. Kravu pārvadājumu pārveide uz neitrālu nulles emisijas transportlīdzekļu sistēmu var būt saistīta ar ūdeņraža tehnoloģiju izmantošanu.

Rakstā iekļautās daļas pirmēji angļu valodā publicētas žurnāla *Data in Brief* rakstā *European cargo vehicle market dataset for 2023* (https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110648), konferences krājuma *The 10th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics* (IMCIC 2019): *Proceedings. Vol. 1* rakstā *Data Mining Application for Used-Car Market Analysis* (https://www.iiis.org/CDs2019/CD2019Spring/papers/ZA089OD.pdf) un konferences krājuma *Reliability and Statistics in Transportation and Communication: Human Sustainability and Resilience in the Digital Age: Selected Papers from the 24th International Multidisciplinary Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication* (*RelStat*-2024) rakstā *Economic Analysis of Cargo Transport Life-Cycle in European Union* (https://doi.org/10.1007/978-3-031-87532-8_56).

Literatūra un avoti

Ahmed, R. R., & Zhang, X. (2021). Multi-layer value stream assessment of the reverse logistics network for inert construction waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 170, 105574.

Amoliņa, I., Lapuķe, S., Skribans, V. (2025). Economic Analysis of Cargo Transport Life-Cycle in European Union. In: Kabashkin, I., Yatskiv, I., Prentkovskis, O. (eds) Reliability and Statistics in Transportation and Communication: Human Sustainability and Resilience in the Digital Age. RelStat 2024. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1337. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87532-8_56.

Auto.bg. (2023). *Auto.bg*. Iegūts no https://www.auto.bg/.

Auto24.ee. (2023). *Auto24.ee.* Iegūts no https://www.auto24.ee/.

Auto24.lv. (2023). *Auto24.lv.* Iegūts no https://www.auto24.lv/.

Autogidas.lt. (2023). *Autogidas.lt.* Iegūts no https://autogidas.lt.

Autoplius.lt. (2023). *Autoplius.lt.* Iegūts no https://en.autoplius.lt.

AutoScout24.at. (2023). *AutoScout24.at.* Iegūts no https://www.autoscout24.at.

AutoScout24.de. (2023). *AutoScout24.de.* Iegūts no https://www.autoscout24.de/.

Autotalli.com. (2023). *Autotalli.com.* Iegūts no https://www.autotalli.com.

Autovit.ro. (2023). *Autovit.ro.* Iegūts no https://www.autovit.ro/.

Bakeca.it. (2023). *Bakeca.it.* Iegūts no https://www.bakeca.it.

Bansal, A., Kumar, P., & Issar, S. (2021). 3PL selection: A multi-criteria decision making approach. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 981–985.

Barker, J. M., Gibson, A. R., Hofer, A. R., Hofer, C., Moussaaoui, I., & Scott, M. (2021). A competitive dynamics perspective on the diversification of third-party logistics providers, service portfolios. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 146, 102219.

Bazar.bg. (2023). *Bazar.bg* - Обяви Авто. Iegūts no https://bazar.bg/obiavi/avto.

BestAuto.ro. (2023). *BestAuto.ro.* Iegūts no https://www.bestauto.ro.

Bilweb.se. (2023). *Bilweb.se*. Iegūts no https://bilweb.se.

Blocket.se. (2023). *Blocket.se.* Iegūts no https://www.blocket.se/.

Bytbil.com. (2023). Bytbil.com. Iegūts no https://www.bytbil.com/.

Delfi (2024). *Delfi.lv.* Iegūts no https://www.delfi.lv/auto/42826658/zinas/54962496/kravas-transports-gatavs-parmainam-ar-ko-tiks-aizstata-dizeldegviela.

European Commission. (2024). *Delivering the European Green Deal*. Iegūts no https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_lv.

Finn.no. (2023). *Finn.no*. Iegūts no https://www.finn.no/.

Ford. (2023). *Ford.* Iegūts no https://ford.lv/.

Gebrauchtwagen.at. (2023). *Gebrauchtwagen.at.* Iegūts no https://www.gebrauchtwagen.at/.

Használtautó.hu. (2023). *Használtautó.hu.* Iegūts no https://www.hasznaltauto.hu/.

Jófogás.hu (2023). *Jófogás.hu - Autó*. Iegūts no https://auto.jofogas.hu.

Julianelli, V., Goyannes Gusmão Caiado, R., Scavarda, L. F., & Pinto de Mesquita Ferreira Cruz, S. (2020). Interplay between reverse logistics and circular economy: Critical success factors-based taxonomy and framework. *Resources, Conservation and Recycling*, 158, 104784.

KuldneBors.ee. (2023). *KuldneBors.ee.* Iegūts no https://www.kuldnebors.ee/.

Kunkel, S., Matthess, M., Xue, B., & Beier, G. (2024). Industry 4.0 in sustainable supply chain collaboration: insights from an interview study with international buying firms and Chinese suppliers in the electronics industry. *Resources, Conservation & Recycling*, 202, 107406.

La Centrale.fr. (2023). *La Centrale.fr.* Iegūts no https://www.lacentrale.fr.

Leboncoin.fr. (2023). *Leboncoin.fr.* Iegūts no https://www.leboncoin.fr.

Lohmer, J., & Lasch, R. (2020). Blockchain in operations management and manufacturing: Potential and barriers. *Computers & Industrial Engineering*, 149, 106789.

Mercedes – Benz. (2023). *Mercedes – Benz.* Iegūts no https://www.veho.lv/.

Milanuncios.com. (2023). *Milanuncios.com*. Iegūts no https://www.milanuncios.com/.

Mobile.de. (2023). *Mobile.de*. Iegūts no https://www.mobile.de/.

Motor.es. (2023). *Motor.es*. Iegūts no https://www.motor.es/.

Nettiauto.com. (2023). *Nettiauto.com*. Iegūts no https://www.nettiauto.com/.

OLX.pl. (2023). *OLX.pl.* Iegūts no https://www.olx.pl.

Otomoto.pl. (2023). *Otomoto.pl.* Iegūts no https://www.otomoto.pl/.

ParuVendu.fr. (2023). *ParuVendu.fr.* Iegūts no https://www.paruvendu.fr.

Perçin, S., & Min, H. (2013). A hybrid quality function deployment and fuzzy decision-making methodology for the optimal selection of third-party logistics service providers. I*nternational Journal of Logistics.*

Renault. (2023). *Renault.* Iegūts no https://www.renault.lv/lv/cars/master/engines.html.

Sauto.cz. (2023). *Sauto.cz - Nákladní vozy.* Iegūts no https://www.sauto.cz/nakladni.

Skelbiu.lt. (2023). *Skelbiu.lt.* Iegūts no https://www.skelbiu.lt.

Skribans, V., Demyanchuk, M., Maslii, N., Neimanis, L., Gaveiks, R., Kotlars, A., & Lapuke, S. (2023). *European Used Commercial Car Online Market Monitoring in 2023* (V1). Mendeley Data. https://doi.org/10.17632/kz6hh7832p.1.

Skribans, V., & Hegerty, S. (2019). Data Mining Application for Used-Car Market Analysis. *The 10th International Multi-Conference on Complexity, Informatics and Cybernetics (IMCIC 2019)*: Proceedings. Vol. 1 (pp. 35–40). International Institute of Informatics and Systemics (IIIS).

Skribans, V., & Kotlars, A. (2024). European cargo vehicle market dataset for 2023. *Data in Brief*, 55, 110648.
https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110648.

Soov.ee. (2023). *Soov.ee*. Iegūts no
https://soov.ee/.

SS.lv. (2023). *SS.lv.* Iegūts no
https://www.ss.lv/.

Subito.it. (2023). *Subito.it.* Iegūts no
https://www.subito.it/.

TipCars.com. (2023). *TipCars.com*. Iegūts no
https://www.tipcars.com/.

Tori.fi. (2023). *Tori.fi* - Autot. Iegūts no
https://autot.tori.fi/.

TruckScout24.de. (2023). *TruckScout24.de.* Iegūts no
https://www.truckscout24.de/.

Vasiliauskas, A. V., & Jakubauskas, G. (2007). Principles and benefits of third party logistics approach when managing logistics supply chain. *Transport*, 22 (2), 68–72.

Volkswagen. (2023). *Volkswagen*. Iegūts no
https://www.volkswagen.lv/lv.html.

Willhaben.at. (2023). *Willhaben.at*. Iegūts no
https://www.willhaben.at/iad.

Yauto.cz. (2023). *Yauto.cz*. Iegūts no
https://yauto.cz.

Yusuf, Y. Y., Sarhadi, M., & Gunasekaran, A. (1999). Agile manufacturing: The drivers, concepts and attributes. *International Journal of Production Economics*, 62 (1–2), 33–43.

Zarbakhshnia, N., & Karimi, A. (2024). Enhancing third-party logistics providers partnerships: An approach through the D.L.A.R.C.S supply chain paradigm. *Resources, Conservation & Recycling*, 202, 107406.

Zighan, S., Dwaikat, N. Y., Alkalha, Z., & Abualqumboz, M. (2023). Knowledge management for supply chain resilience in pharmaceutical industry: Evidence from the Middle East region. *The International Journal of Logistics Management*, 35 (4), 1142–1167.
https://doi.org/10.1108/IJLM-05-2022-0215.

5.

Loģistikas pakalpojumu sniedzēju pāreja uz videi draudzīgiem transporta pakalpojumiem: dinamiskais modelis un lēmumu pieņemšanas atbalsts

Pētnieks *Ph. D.* Aleksandrs Kotļars, Rīgas Tehniskā universitāte
Vadošais pētnieks *Dr. oec.* Valērijs Skribans, Rīgas Tehniskā universitāte

Ievads

Pēdējos gados loģistikas nozare ir saskārusies ar pieaugošu spiedienu ieviest videi draudzīgas un ilgtspējīgas prakses, ko nosaka normatīvo aktu prasības, tehnoloģiskie sasniegumi un pieaugošais patērētāju pieprasījums pēc zaļajiem risinājumiem. Kā būtiski dalībnieki globālajās piegādes ķēdēs loģistikas pakalpojumu sniedzēji spēlē nozīmīgu lomu, samazinot transporta radīto oglekļa emisiju un veicinot piegādes ķēžu kopējo ilgtspēju. Pāreja uz zaļo loģistiku tomēr ir sarežģīts process, kas ietver būtiskus ekonomiskus, tehnoloģiskus un organizatoriskus izaicinājumus. Šo sarežģītību vēl vairāk pastiprina nepieciešamība loģistikas pakalpojumu izmantotājiem noteikt efektīvus kritērijus loģistikas pakalpojumu sniedzēju izvēlei, kas atbilst ne tikai darbības efektivitātes prasībām, bet arī vides aizsardzības mērķiem.

Mūsdienās uzņēmumi konkurē ne vien ar saviem produktiem, bet arī ar piegādes ķēžu efektivitāti, noturību un ilgtspēju. Līdz ar to daudzi uzņēmumi nodod loģistikas funkcijas ārējiem pakalpojumu sniedzējiem, lai koncentrētu resursus uz pamatdarbību un izmantotu specializētas zināšanas. Šādā kontekstā sadarbības veidošana ar loģistikas pakalpojumu sniedzējiem kļūst par stratēģiski nozīmīgu uzdevumu. Šī procesa pamatā ir rūpīga lēmumu pieņemšanas elementu definēšana, īpaši kritēriju noteikšana loģistikas pakalpojumu sniedzēju izvēlei. Šiem kritērijiem jāatspoguļo uzņēmuma stratēģija, normatīvās prasības un tirgus tendences, tostarp pieaugošā uzmanība zaļajai loģistikai. Vides snieguma un ilgtspējīgas prakses prasības ir kļuvušas par neatņemamu loģistikas pakalpojumu izvērtēšanas un iepirkuma procesa sastāvdaļu.

Lai gan mūsdienu pētījumos ir analizēti faktori, kas motivē loģistikas pakalpojumu sniedzējus un to klientus ieviest zaļās prakses, uzņēmumiem joprojām trūkst praktisku rīku šo faktoru integrēšanai stratēģiskajā lēmumu pieņemšanā. Šis pētījums risina minēto problēmu, izstrādājot dinamisku modeli, kas simulē loģistikas pakalpojumu sniedzēju pārejas procesu no tradicionālajiem uz zaļajiem pakalpojumiem. Modelis ņem vērā tirgus pieprasījumu pēc zaļajiem risinājumiem, zaļo

tehnoloģiju izmaksas un pieejamību, normatīvo aktu ietekmi un uzņēmumu stratēģijas. Apvienojot makrolīmeņa tendences ar mikrolīmeņa darbības aspektiem, tas atbalsta loģistikas pakalpojumu sniedzējus pamatotu lēmumu pieņemšanā par pārejas ceļiem. Turklāt tas sniedz vadlīnijas uzņēmumiem izvēles kritēriju definēšanā, lai loģistikas iepirkumu un sadarbības procesā prioritāri tiktu ņemta vērā ilgtspēja.

Pētījuma galvenais mērķis ir piedāvāt elastīgu lēmumu pieņemšanas sistēmu, kas ļauj loģistikas pakalpojumu sniedzējiem izvērtēt un stratēģiski vadīt pāreju uz zaļās loģistikas pakalpojumiem. Šī sistēma, analizējot ekonomisko, normatīvo un tirgus faktoru mijiedarbību, palīdz prognozēt ilgtspējīgus uzņēmējdarbības rezultātus. Pētījuma galvenā hipotēze ir šāda: zaļā transporta pakalpojumu izmaksas nākamās desmitgades laikā samazināsies, salīdzinot ar tradicionālo pakalpojumu izmaksām, pateicoties tehnoloģiskajām inovācijām un tirgus pielāgošanās procesiem. Simulējot dažādus scenārijus, modelis sniedz ieskatu iespējamos rezultātos pārejai uz zaļiem loģistikas transporta risinājumiem.

Šajā pētījumā ir ietverta gan visaptveroša tirgus analīze par loģistikas pakalpojumu sniedzēju izvēles kritērijiem, gan dinamiskais modelis loģistikas pakalpojumu sniedzēju pārejai uz zaļajiem pakalpojumiem. Tirgus analīze uzsver uzņēmumu prioritāšu attīstību loģistikas partneru izvēlē, īpaši izceļot pieaugošo vajadzību pēc videi draudzīgiem risinājumiem. Balstoties šajos secinājumos, piedāvātais modelis nodrošina sistēmu, kas atbalsta loģistikas pakalpojumu sniedzējus pārejas uz zaļo loģistiku vadībā, saskaņojot to ar normatīvajām prasībām, tirgus tendencēm un stratēģiskajiem ilgtspējas mērķiem.

1. Literatūras apskats

1.1. Loģistikas pakalpojumu sniedzēju izvēle, novērtēšana un partnerība

Šī literatūras apskata daļa skar jomu, kas attiecas uz loģistikas pakalpojumu sniedzēju izvēles kritērijiem, novērtēšanas metodēm un sadarbības stratēģijām, tādējādi nodrošinot pamatu turpmākajai tirgus prakses analīzei un modeļa izstrādei.

Loģistikas pakalpojumu sniedzēju izvēle un novērtēšana ir būtiska 3PL darbības joma, kas cieši saistīta ar lēmumu pieņemšanu uzņēmumos. (Wang et al., 2015; Perçin et al., 2013) uzsver, ka 3PL izvēle ir komplekss process, kas pārsniedz vienkāršu tirgus izpēti vai piedāvājumu salīdzināšanu, jo to ietekmē ilgtermiņa līgumu nozīme un nozares specifika. (Bansal et al., 2014) papildina, ka pareiza pakalpojumu sniedzēja izvēle veicina uzņēmuma spēju pielāgoties tirgus pārmaiņām.

Izvēles procesā būtiska nozīme ir kritēriju noteikšanai. (Jharkharia et al., 2007; Hwang et al., 2015; Zhang et al., 2012; Rattanawiboonsom, 2014) piedāvā dažādas izvēles kritēriju klasifikācijas, taču kopīgi akcentē, ka kritērijiem jāatspoguļo plašs aspektu loks – no operacionālajām spējām līdz uzņēmuma kultūrai un kontekstuālajiem faktoriem. Literatūrā uzsvērts, ka pārlieka koncentrēšanās uz kritērijiem un metodoloģiju var aizēnot būtiskākās uzņēmuma vajadzības un mērķus (Jharkharia et

al., 2007), tādēļ nepieciešama rūpīga sākotnējo datu vākšana un ārējo faktoru integrēšana lēmumu pieņemšanā.

Sadarbība ar 3PL pakalpojumu sniedzējiem ir cieši saistīta ar izvēles un novērtēšanas jautājumiem un sniedzas tālāk par sākotnējo līguma slēgšanu. (Andersson et al., 2002; Knemeyer et al., 2003; Wilding et al., 2004) analizē sadarbības modeļus iepirkuma un ārpakalpojumu izmantošanas procesos. (Pomponi et al., 2013; Albers et al., 2014) sadarbību raksturo divās dimensijās: vertikālajā, kas saistīta ar hierarhiskām attiecībām un apakšuzņēmumu piesaisti, un horizontālajā, kas veicina sinerģiju, resursu un ieguvumu dalīšanu starp 3PL sniedzējiem un klientiem. (Keers et al., 2015; Brekalo et al., 2016) uzsver kompromisu meklēšanas un savstarpējās atkarības līdzsvarošanu. Sadarbības mērķim jābūt ne tikai pakalpojumu saņemšanai, bet arī ilgtermiņa sinerģijas veidošanai, kas uzlabo finanšu rezultātus (Barker et al., 2021).

Noslēdzot tēmu par sadarbību un sinerģiju, jāatzīmē, ka mūsdienu pētījumi šajā jomā pārsvarā ir teorētiski, nevis praktiski. Pastāv izteikta nepieciešamība pēc pētījumiem, kuru mērķis ir sadarbības modeļu, tostarp matemātisko un ekonomisko modeļu, izstrāde starp klientiem un loģistikas pakalpojumu sniedzējiem. Šādi modeļi demonstrētu reālos ekonomiskos un finanšu ieguvumus, ko uzņēmumi un loģistikas pakalpojumu sniedzēji varētu gūt, izveidojot efektīvu sadarbību.

1.2. Motivācija pārejai uz zaļo loģistiku

Šī literatūras apskata daļa ir virzīta uz to, lai rastu atbildes uz diviem jautājumiem, kas cieši saistīti ar šo pētījumu un tālāk prezentējamo modeli: kas motivē loģistikas pakalpojumu sniedzējus pāriet no tradicionālajiem uz zaļajiem transporta pakalpojumiem un kas motivē klientus palielināt pieprasījumu pēc zaļajiem transporta pakalpojumiem un samazināt pieprasījumu pēc tradicionālajiem.

Loģistikas pakalpojumu sniedzējus galvenokārt motivē normatīvo aktu prasības, klientu pieprasījums un vēlme samazināt izmaksas. (Wehner et al., 2021; Lieb et al., 2010) uzsver, ka būtisks virzītājspēks ir valdības regulējums un nepieciešamība ievērot stingrākas vides prasības, vienlaikus uzlabojot energoefektivitāti un samazinot izmaksas. (Centobelli et al., 2020) papildina, ka nozīmīga loma ir arī organizatoriskajiem faktoriem – uzņēmuma lielumam, finanšu stāvoklim un iekšējam atbalstam. (Evangelista et al., 2014; Martinsen et al., 2014) norāda, ka loģistikas uzņēmumi zaļo loģistiku uztver kā iespēju stiprināt konkurētspēju un uzņēmuma tēlu, īpaši reaģējot uz pieaugošo klientu pieprasījumu. (Isaksson et al., 2013) izceļ iekšējo atbalstu un zaļo tehnoloģiju kompetences uzkrāšanu kā nozīmīgu pārejas faktoru, savukārt (McKinnon et al., 2004) akcentē energoefektivitātes uzlabošanu un emisiju samazināšanu kā galvenos mērķus.

Klientu pieprasījumu pēc zaļajiem pakalpojumiem veicina normatīvās prasības, vides ilgtspējas mērķi un vēlme uzlabot zīmola reputāciju. (Hasanov, 2023; Bilek et al., 2024; Warren, 2012) uzsver normatīvo aktu ievērošanas nozīmi un sabiedrības pieaugošo uzmanību vides atbildībai. (Shah et al., 2021; Evangelista, 2014) norāda,

ka zaļās loģistikas pieprasījumu veicina gan vēlme atbildēt uz patērētāju un investoru gaidām, gan iespēja ieviest inovācijas un samazināt izmaksas. (Martinsen et al., 2012) piebilst, ka pieprasījums bieži ir daļa no plašākas uzņēmuma stratēģijas, kuras mērķis ir samazināt vides ietekmi un uzlabot energoefektivitāti. (Ellram et al., 2016; Fabbe-Coste et al., 2016) uzsver arī ārējo spiedienu un tirgus gaidu lomu, vienlaikus izceļot zaļās loģistikas iespējas stiprināt zīmola vērtību un diferencēties tirgū.

Literatūras analīze atklāj, ka gan loģistikas pakalpojumu sniedzējus, gan klientus motivē pāriet uz zaļajiem transporta pakalpojumiem ārējais spiediens, piemēram, normatīvās prasības un ieinteresēto pušu gaidas, saskaņojot šīs prakses ar plašākiem korporatīvās sociālās atbildības mērķiem. Vides ilgtspēja izvirzās kā kopīga vērtība abām pusēm, un izmaksu ietaupījumi no uzlabotas energoefektivitātes un samazinātām emisijām kalpo kā papildu motivatori. Tomēr ir vērojamas būtiskas atšķirības: loģistikas pakalpojumu sniedzējus galvenokārt motivē nepieciešamība apmierināt klientu pieprasījumu un saglabāt konkurētspēju tirgū, kas arvien vairāk vērtē ilgtspēju, kamēr klienti vairāk koncentrējas uz korporatīvā tēla un zīmola reputācijas uzlabošanu, vienlaikus cenšoties samazināt oglekļa pēdu un ievērot vides regulējumus. Šī mijiedarbība starp normatīvo spiedienu, tirgus pieprasījumu un kopējo ilgtspējas mērķi uzsver loģistikas pakalpojumu sniedzēju un klientu konverģējošās, tomēr atšķirīgās motivācijas zaļās loģistikas prakses ieviešanā.

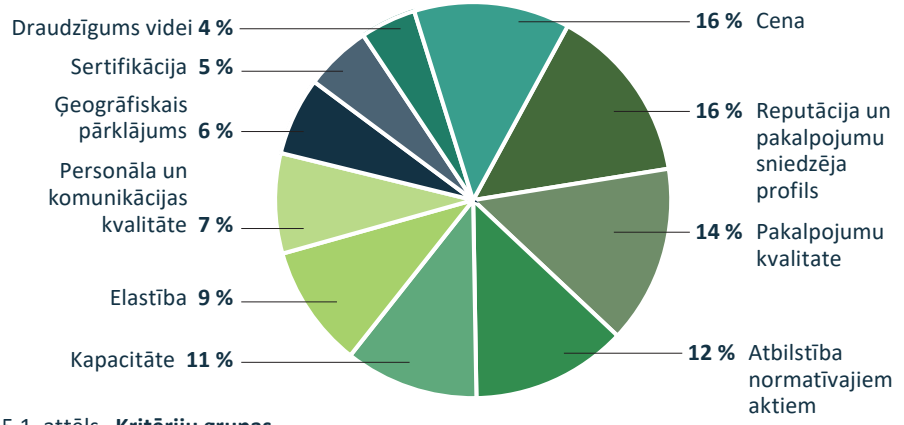
2. Tirgus pētījums par loģistikas pakalpojumu sniedzēju novērtēšanas kritērijiem un gaidām attiecībā uz zaļo loģistiku

Pētījuma ietvaros tika iegūts visaptverošs datu kopums, kas apkopots no gandrīz 300 kravu autotransporta iepirkumu projektiem (tenderiem), kurus 2019.–2023. gadā veica 184 uzņēmumi visā Eiropā. Lielākā daļa šo uzņēmumu darbojas ražošanas sektorā. Dati iegūti sadarbībā ar vadošu Eiropas trešās puses loģistikas pakalpojumu sniedzēju un analizējot iepirkuma dokumentāciju, tostarp vispārējos pamatnolīgumus, pakalpojumu līmeņa vienošanās, standarta darbības procedūras un vides politikas. Datu vākšanas mērķis bija iegūt informāciju, kas atspoguļo loģistikas pakalpojumu sniedzēju izvēles kritērijus un klientu gaidas attiecībā uz zaļo loģistiku.

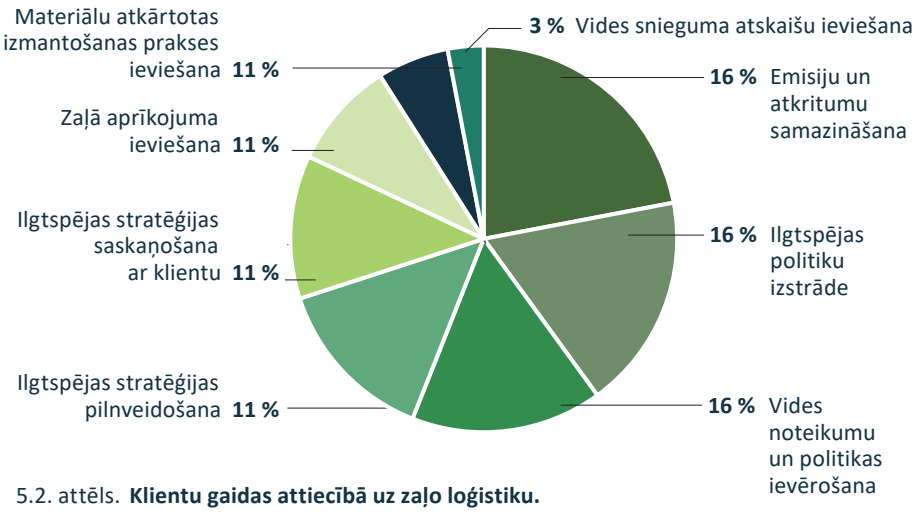
Datu vākšana notika pēc strukturētas metodoloģijas, kas sastāvēja no četriem galvenajiem posmiem. Vispirms tika izvēlēti uzņēmumi un projekti, lai nodrošinātu, ka dati ir reprezentatīvi dažādos sektoros, īpašu uzmanību pievēršot ražošanas nozarei. Pēc tam tika iegūta šo uzņēmumu iepirkuma dokumentācija, kas rūpīgi analizēta. Trešajā posmā analīze tika balstīta divos galvenajos jautājumos: kādi kritēriji tiek izmantoti loģistikas pakalpojumu sniedzēju novērtēšanā un kādas ir uzņēmumu gaidas attiecībā uz zaļo loģistiku. Noslēgumā tika atlasīta būtiskākā informācija, identificēti atslēgvārdi un tie apvienoti lielākās tematiskās grupās.

Iepirkumu datu analīze atklāja desmit galvenās kritēriju grupas, ko uzņēmumi visbiežāk izmanto loģistikas pakalpojumu sniedzēju izvērtēšanā (sk. 5.1. attēlu).

Visbiežāk minētais kritērijs bija cena, kas veidoja 16 % no visiem pieminējumiem un uzsvēra izmaksu efektivitātes nozīmi loģistikas iepirkumos. Tādu pašu daļu (16 %) ieņēma arī reputācija un pakalpojumu sniedzēja profils, atklājot, cik būtiska uzņēmumiem ir sadarbība ar atpazīstamiem un uzticamiem partneriem. Pakalpojumu kvalitāte ar 14 % daļu apliecināja uzticamas un augstas veiktspējas nozīmi. Svarīgi bija arī tādi kritēriji kā atbilstība normatīvajiem aktiem (12 %) un kapacitāte (11 %), kas norāda, ka uzņēmumi sagaida, lai pakalpojumu sniedzēji strādātu saskaņā ar tiesisko regulējumu un spētu izpildīt dažādu apjomu pieprasījumus. Citas bieži minētas prasības bija elastība (9 %), personāla un komunikācijas kvalitāte (7 %) un ģeogrāfiskais pārklājums (6 %), kas uzsver pielāgošanās spēju, sadarbības kvalitāti un tīkla aptvērumu. Retāk tika minēta sertifikācija (5 %) un draudzīgums videi (4 %), tomēr šo kritēriju iekļaušana norāda uz augošo uzmanību formālajiem standartiem un vides atbildībai, izvēloties loģistikas partnerus.



5.1. attēls. **Kritēriju grupas.**



5.2. attēls. **Klientu gaidas attiecībā uz zaļo loģistiku.**

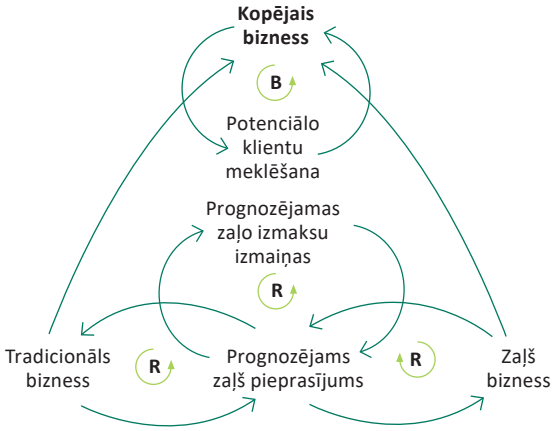
Starp izvērtēšanas kritērijiem īpaša uzmanība tika pievērsta gaidām attiecībā uz zaļo loģistiku, kas atspoguļo pieaugošo spiedienu uz piegādes ķēdēm veicināt vides ilgtspēju (sk. 5.2. attēlu). Analīzē tika identificētas astoņas galvenās gaidu grupas, kas parāda, kā dažādi vides aspekti tiek integrēti iepirkumu praksē. Visbiežāk minētā bija emisiju un atkritumu samazināšana (22 % no pieminējumiem), kas uzsver prioritāti mazināt loģistikas darbību negatīvo ietekmi uz vidi. Formālu ilgtspējas politiku izstrāde veidoja 18 %, norādot, ka uzņēmumi arvien biežāk pieprasa, lai loģistikas partneri skaidri definētu un īstenotu savas saistības vides jomā. Vides noteikumu un politiku ievērošana tika pieminēta 16 % gadījumu, kas parāda, cik būtiska ir atbilstība regulējošajiem un ētiskajiem standartiem.

Tāpat tika uzsvērta nepieciešamība pilnveidot ilgtspējas stratēģijas (14 %) un saskaņot tās ar klientu stratēģijām (12 %), lai nodrošinātu ciešāku un ilgtermiņā vērstu sadarbību. Zaļā aprīkojuma ieviešana (9 %) un materiālu atkārtotas izmantošanas prakses ieviešana (6 %) atspoguļo praktiskus soļus aprites ekonomikas atbalstam. Lai arī retāk pieminēta (3 %), vides snieguma atskaišu ieviešana parāda pieaugošo pieprasījumu pēc lielākas caurskatāmības un atbildības loģistikas nozares zaļajās iniciatīvās.

Kopumā šī pētījuma rezultāti ilustrē, ka, lai gan tradicionālie novērtēšanas kritēriji, piemēram, cena, pakalpojumu kvalitāte un reputācija, joprojām dominē, vides apsvērumi kļūst arvien nozīmīgāki loģistikas pakalpojumu sniedzēju izvēles un novērtēšanas procesos. Konkrētu zaļās loģistikas gaidu integrācija iepirkumu procesos atspoguļo plašāku piegādes ķēžu vadības virzienu maiņu, kur ilgtspēja arvien vairāk tiek uzskatīta par kritisku ilgtspējīgas vērtības radīšanas un risku mazināšanas sastāvdaļu.

3. Loģistikas pakalpojumu sniedzēju pāreja uz zaļajiem pakalpojumiem: sistēmdinamikas pieeja un modeļa izstrāde

Sistēmdinamikas pieeja palīdz efektīvi modelēt loģistikas pakalpojumu sniedzēju pāreju uz zaļo transportlīdzekļu izmantošanu, integrējot sarežģītus faktorus un ietverot atgriezeniskās saites. Tā ļauj simulēt scenārijus, kas kalpo kā pamats stratēģisko lēmumu pieņemšanai, izvērtējot ilgtspēju ilgtermiņā un ekonomisko dzīvotspēju. Tas palīdz loģistikas pakalpojumu sniedzējiem pieņemt videi draudzīgas prakses, kā parādīts 5.3. attēlā (cēloņu un seku diagrammā).



5.3. attēls. **Cēloņu un seku diagramma.**

Šī cēloņu un seku diagramma attēlo galvenos rādītājus, kuri loģistikas pakalpojumu sniedzējiem ir jāprognozē un jāanalizē, lai atbalstītu lēmumu pieņemšanas procesu, kas ir saistīts ar zaļo pakalpojumu ieviešanu. Tā parāda attiecības starp: potenciālo klientu meklēšanu (sarkanā krāsā), prognozējamo zaļo pieprasījumu (violetā krāsā) un prognozējamo zaļo izmaksu izmaiņām (zaļā krāsā). Ar tradicionālo biznesu tiek saprasti uzņēmuma bruto ieņēmumi, kas gūti, izmantojot iekšdedzes dzinēju transportlīdzekļus (benzīna un dīzeļdegvielas), ieskaitot gan paša īpašumā esošos, gan apakšuzņēmēju transportlīdzekļus. Savukārt zaļais bizness ir bruto ieņēmumi, kas gūti, izmantojot alternatīvās enerģijas avotu transportlīdzekļus, tostarp elektriskos transportlīdzekļus, ar ūdeņraža degvielas šūnām darbināmus transportlīdzekļus, saspiestās gāzes (*CNG*) un sašķidrinātās gāzes (*LPG*) transportlīdzekļus.

Simulācija balstās uz četriem galvenajiem pīlāriem: bizness (tradicionālais, zaļais un kopējais); jaunu klientu piesaiste; zaļo izmaksu nākotnes izmaiņu prognozes; zaļā pieprasījuma prognozes. Modelī ir viena balansējošā cilpa (jaunu klientu piesaiste palielina kopējo biznesu, bet kopējā biznesa pieaugums samazina jaunu klientu piesaisti) un trīs pastiprinošās cilpas (zaļā pieprasījuma prognoze negatīvi pastiprināta ar zaļo izmaksu nākotnes izmaiņu prognozēm; zaļā pieprasījuma prognoze negatīvi pastiprināta ar tradicionālā biznesa izmaiņām; zaļā pieprasījuma prognoze pozitīvi pastiprināta ar zaļā biznesa izmaiņām). Praktiskai modelēšanai autori izmantoja *Vensim* programmatūru.

Modelis ir piemērojams loģistikas pakalpojumu sniedzējiem, kas darbojas noteiktā reģionā vai valstī. Modeļa darbības process sākas ar jaunu klientu piesaisti, ko nosaka uzņēmuma komerciālā stratēģija, vēsturiskie pārdošanas dati un mārketinga aktivitātes. Piesaistes aktivitāšu pielāgošana atkarīga no budžeta mērķu sasniegšanas, nodrošinot resursu efektīvu izmantošanu bez pārmērīgas izdevumu palielināšanas. Piesaistītie potenciālie klienti (pārsvarā transporta pakalpojumu iepirkumi konkursu rezultātā) paliek uzņēmuma portfelī, savukārt pēc noteikta laika

var tikt pazaudēti vai konvertēti uz jaunu (papildus) biznesu, kas var būt gan tradicionāls, zaļais bizness. Tradicionālā un zaļā biznesa izaugsmes attiecība tiek noteikta, pamatojoties uz zaļā pieprasījuma prognozi, kas apvieno pašreizējo zaļo pieprasījumu, gada izmaiņas un nākotnes zaļo izmaksu prognozes. Tradicionālā un zaļā biznesa portfeļi pieaug gan piesaistes, gan organiska tirgus pieauguma ceļā, ar ikgadēju līgumu atjaunošanu atkarībā no līgumu termiņiem un atjaunošanas rādītājiem. Zaļā biznesa atjaunošana notiek, tikai saglabājot (atjaunojot) biznesa attiecības ar klientiem. Tradicionālā biznesa atjaunošana ir sarežģītāka, jo daļa no līgumiem atjaunošanas gaitā var pāriet no tradicionālā uz zaļo portfeli atkarībā no zaļā pieprasījuma un izmaksu dinamikas. Šīs izmaksas, kas prognozētas 10 gadu periodam, atspoguļo zaļās loģistikas pieaugošo tirgus pievilcību un to ietekmē gan zaļo transportlīdzekļu tirgus izaugsme, apkopes izmaksu izmaiņas, enerģijas izmaksu izmaiņas, transportlīdzekļu iegādes izmaksas, gan mēroga ekonomikas efekts. Modelī ir virkne būtisku rādītāju, piemēram, veiksmes koeficients (varbūtība iegūt jaunu biznesu) un atjaunošanas koeficients (varbūtība saglabāt esošo biznesu). Modeļa praktiskā lietošana, pamatojoties uz reāliem uzņēmuma datiem no Baltijas tirgus, ļauj analizēt dažādus scenārijus, lai palīdzētu lēmumu pieņemšanā pārejā uz zaļās loģistikas risinājumiem.

3.1. Datu vākšana un kalibrēšana

Uzticamu datu avotu izmantošana ir būtiska modeļa ticamībai. Šī pētījuma ietvaros datu un informācijas vākšana veikta no vairākiem avotiem, kurus var iedalīt trīs galvenajos pīlāros, kā tas parādīts 5.4. attēlā: tirgus pārskati; publicētās datubāzes; uzņēmuma dati. Zem katra pīlāra ir norādīts mainīgo rādītāju saraksts, kuru vērtības tika noteiktas, balstoties savāktajos datos.

Tirgus pārskati	Publicētās datubāzes	Uzņēmuma dati
• Zaļā pieprasījuma izmaiņas • Tirgus ikgadējais pieaugums • Uzturēšanās izmaksu izmaiņas • Pašreizējās uzturēšanas izmaksas • Pašreizējā zaļo un regulāro izmaksu starpība • Enerģijas izmaksu izmaiņas • Pašreizējās zaļās enerģijas izmaksu priekšrocības • Iepirkumu izmaksu izmaiņas • Pašreizējā iepirkumu izmaksu starpība	• Pašreizējais zaļais pieprasījums • Pašreizējais zaļo transportlīdzekļu tirgus apjoms • Zalā transportlīdzekļu tirgus ikgadējais pieaugums	• Sākotnējais mēneša budžets • Ikgadējais budžeta pieauguma mērķis • Ikmēneša klientu piesaiste • Klientu piesaistes palielinājums • Veiksmes rādītājs • Sadarbības līguma ilgums

5.4. attēls. **Datu avoti.**

Modeļa izstrādes laikā autori balstījās vairākos tirgus pētījumos, piemēram, (GlobeNewswire, 2022; Medium, 2023; Mordor Intelligence, 2024; FN Research, 2024; InsightAce Analytic, 2024; Allied Market Research, 2024). Publicētās datubāzes (Kotlars et al., 2023; Skribans et al., 2024) izmantotas, lai novērtētu tādus būtiskus rādītājus kā pašreizējais zaļais pieprasījums, zaļo transportlīdzekļu tirgus apjoms un tā attīstība. Visbeidzot, uzņēmuma dati (globāls loģistikas pakalpojumu sniedzējs, kas darbojas Baltijas tirgū) izmantoti simulācijas veikšanai un modeļa aprobācijai.

Analizējot vēsturiskos iepirkuma datus un patērētāju uzvedības tendences, izmantota datu ieguves pieeja, lai noteiktu pašreizējā zaļā pieprasījuma vērtību. Pēc autoru domām, šī pieeja ļauj atklāt pieprasījuma pēc videi draudzīgas loģistikas tendences. Sadarbojoties ar vadošu Eiropas 3PL pakalpojumu sniedzēju, iegūti dati no kravu autotransporta iepirkumu dokumentiem, ko izdevuši dažādi uzņēmumi (galvenokārt ražošanas nozarē) Eiropā laika periodā no 2019. līdz 2023. gadam. Pētījumā analizēti daudzi iepirkuma projekti, ko uzsāka 184 dažādi uzņēmumi, kā redzams 5.1. tabulā. Plašāk tas aplūkots 3. nodaļā.

5.1. tabula

Pašreizējais zaļais pieprasījums

Gads	Mēnešu skaits	Analizēto iepirkumu konkursu skaits (gadā)	Iepirkumu konkursu skaits ar zaļās loģistikas pieprasījumiem (gadā)	Iepirkumu konkursu skaits ar zaļās loģistikas pieprasījumiem (vidēji mēnesī)	Iepirkumu konkursu īpatsvars ar zaļās loģistikas pieprasījumiem (vidēji mēnesī)
2019	12	166	33	2,75	19,88 %
2020	12	167	36	3,00	21,56 %
2021	12	183	41	3,42	22,40 %
2022	12	153	31	2,58	20,26 %
2023	5	145	25	5,00	17,24 %

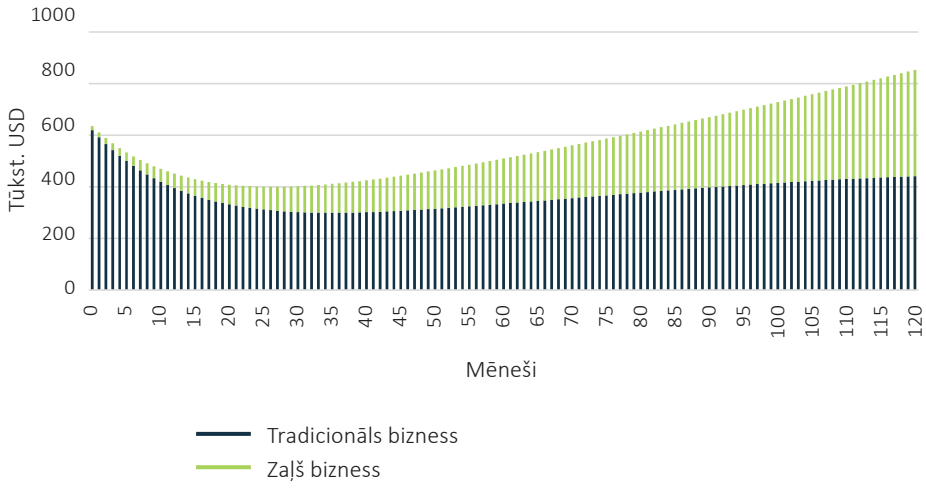
Analizējot projektu dokumentāciju, atlasīti konkrēti izteikumi, kas raksturo loģistikas pakalpojumu sniedzēju izvēles kritērijus, un uzņēmumu gaidas attiecībā uz zaļo loģistiku. Gaidas attiecībā uz zaļo loģistiku ir rādītājs, kas atspoguļo klientu interesi par zaļajiem loģistikas pakalpojumiem, un tas izmantots, lai noteiktu pašreizējo zaļo pieprasījumu.

Svarīgs rādītājs ir arī zaļo transportlīdzekļu tirgus un tā ikgadējā izaugsme. Novērtējumi balstīti autoru aprēķinos (Skribans et al., 2024) – datubāzē, kurā ietverta informācija par benzīna, dīzeļdegvielas, elektrības, gāzes un ūdeņraža transportlīdzekļiem Baltijas tirgū 2023. gadā. Pamatojoties uz oglekļa neitrālo automobiļu ieviešanas simulācijas modeļa rezultātiem (Skribans et al., 2024), novērtēta attiecība starp tradicionālo transportlīdzekļu tirgu (dīzeļdegvielas un benzīna) un zaļo transportlīdzekļu tirgu (elektriskie, gāzes un ūdeņraža), kā arī zaļo transportlīdzekļu tirgus ikgadējā izaugsme no 0,21 % 2024. gadā līdz 12,44 % 2034. gadā.

Lai gan šie datu avoti ir uzticami un atbilstoši pētījuma mērķiem, jāatzīst arī zināmi ierobežojumi. Ģeogrāfiskais fokuss uz Baltijas tirgu var ierobežot rezultātu vispārināšanu uz citām teritorijām ar atšķirīgiem normatīvajiem regulējumiem vai tirgus apstākļiem. Iepirkumu izlases apjoms (184 iepirkumi), lai arī nozīmīgs Eiropas kontekstā, var nepilnīgi atspoguļot globālās loģistikas tendences. Turklāt zaļo transportlīdzekļu izmaksu dati balstās prognozēs, kuras var neparedzēt tirgus satricinājumus. Lai risinātu šos ierobežojumus, veikta jutīguma analīze, lai novērtētu modeļa noturību dažādu pieņēmumu apstākļos. Turklāt vairāku datu avotu integrācija palīdzēja samazināt atsevišķiem datu kopumiem raksturīgos aizspriedumus. Nākotnes pētījumos būtu iespējams paplašināt ģeogrāfisko tvērumu un iekļaut papildu datu avotus, lai plašāk validētu secinājumus.

3.2. Simulācijas rezultāti

Pēc modeļa kalibrēšanas un nepieciešamo parametru piemērošanas, kas iegūti no tirgus pārskatiem un aprēķināti, izmantojot publicētos datus, veikta scenāriju simulācija, integrējot datus, kas iegūti no globāla loģistikas pakalpojumu sniedzēja, kurš darbojas Baltijas tirgū. Autoru analizētie izejas rādītāji simulācijas rezultātā bija tradicionālā biznesa apjoms un zaļā biznesa apjoms (un šo rādītāju attiecība); zaļo izmaksu nākotnes izmaiņu prognoze; zaļā pieprasījuma prognoze; jaunu klientu piesaiste. Turklāt tika veikta zaļo izmaksu nākotnes izmaiņu prognozes un zaļā pieprasījuma prognozes jutīguma analīze, lai izvērtētu kopējo ietekmi no modelī iekļautajiem faktoriem. 5.5. attēlā parādīts tradicionālā un zaļā biznesa apjomu prognozētais attīstības references scenārijs 120 mēnešu (10 gadu) periodā no 2024. līdz 2034. gadam.



5.5. attēls. **Biznesa apjomu simulācijas rezultāts.**

Saskaņā ar 5.5. attēlā redzamajiem datiem sākotnējā punktā tradicionālā biznesa apjoms ir 620 tūkstoši USD, bet zaļā biznesa apjoms – 15 tūkstoši USD. Līdz 27. mēnesim ir vērojams kopējā biznesa apjoma kritums, kas galvenokārt saistīts ar būtisku tradicionālā biznesa samazinājumu un nelielu zaļā biznesa pieaugumu. Kā redzams 5.2. tabulā, būtisku negatīvu ietekmi rada augstās zaļo izmaksu prognozes (zaļo izmaksu nākotnes izmaiņu prognoze), kas sākas no 0,240 (tas nozīmē, ka zaļie transporta pakalpojumi tiek novērtēti kā vidēji par 24 % dārgāki nekā tradicionālie) un saglabājas augstā līmenī līdz 3. gada beigām. Pēc 3. gada, vairāku faktoru ietekmē (ko apraksta modeļa zaļā daļa), tiek prognozēts zaļo izmaksu samazinājums, kas veicina zaļā biznesa daļas pieaugumu. Sākot ar 28. mēnesi, kopējais bizness sāk pieaugt, īpaši zaļā biznesa daļas pieauguma dēļ. Līdz 60. mēnesim zaļā biznesa daļa tiek prognozēta ap 34 %, bet līdz 120. mēnesim – 48,3 %.

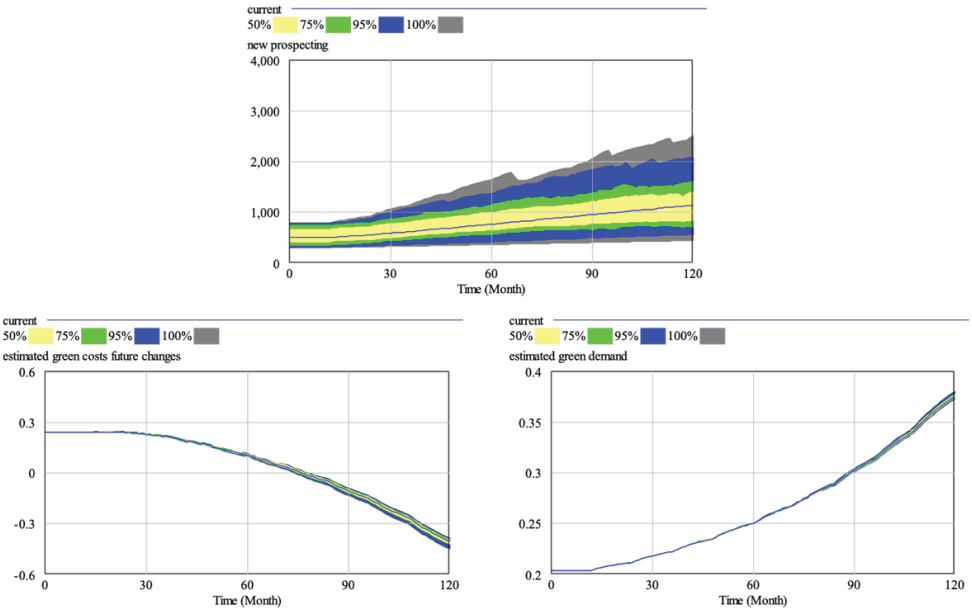
5.2. tabula

Parametru simulācijas rezultāti, pamatojoties uz references scenāriju

Gads	Mēnesis	Prognozētās zaļās izmaksas nākotnes izmaiņas	Prognozētais zaļais pieprasījums	Jaunie potenciālie klienti (tūkstoši USD)
0	0	0,240	0,274	500,00
1	12	0,241	0,275	506,25
2	24	0,236	0,284	548,60
3	36	0,206	0,299	614,31
4	48	0,159	0,316	686,04
5	60	0,107	0,336	759,89
6	72	0,054	0,359	834,48
7	84	-0,001	0,384	704,07
8	96	-0,071	0,412	655,69
9	108	-0,151	0,445	847,77
10	120	-0,220	0,480	622,41

Balstoties 5.2. tabulas prognozētajos datos un references scenārija vērtībās, prognozēts, ka zaļo izmaksu nākotnes izmaiņas saglabāsies virs 20 % līdz 3. gada beigām. Sākot ar 4. gadu, paredzēts būtisks izmaksu samazinājums, un pēc 7. gada loģistikas pakalpojumu sniedzēju izmaksas zaļo transporta pakalpojumu nodrošināšanai būs zemākas nekā tradicionālo pakalpojumu izmaksas (negatīva vērtība norāda uz labvēlīgākiem nosacījumiem zaļajiem pakalpojumiem). Vienlaikus zaļā pieprasījuma prognoze rāda, ka klientu interese par zaļajiem pakalpojumiem stabilā tempā pieaugs 10 gadu laikā, bet tradicionālo pakalpojumu pieprasījums joprojām saglabāsies. Pēc autoru domām, šis rādītājs nav interpretējams kā obligāta tradicionālo pakalpojumu aizstāšana. Tas jāskata kontekstā ar citiem faktoriem, kas modelī

nav iekļauti, piemēram, klientu informētību. Jauno klientu piesaistes prognozētās vērtības norāda uz nepieciešamību stiprināt pārdošanas un mārketinga aktivitātes, lai sasniegtu budžeta pieauguma mērķus. Simulācijas rezultāti atklāj nozīmīgas tendences un praktiski lietojamus secinājumus loģistikas pakalpojumu sniedzējiem pārejā uz zaļo loģistiku. Lai arī zaļo pakalpojumu izmaksas īstermiņā pieaug, prognozētā samazināšanās līdz 2030. gadam norāda, ka agrīnas investīcijas zaļajās tehnoloģijās var nodrošināt ilgtermiņa izmaksu priekšrocības. Pakalpojumu sniedzējiem būtu jāizmanto šie secinājumi, lai izstrādātu pakāpeniskas ieviešanas stratēģijas, kas saskaņotas ar izmaksu dinamiku un tirgus pieprasījumu. Tradicionālā biznesa pieprasījuma noturība uzsver līdzsvarotas pieejas nepieciešamību, kad pakalpojumu sniedzēji saglabā konkurētspējīgu tradicionālo piedāvājumu, vienlaikus pakāpeniski palielinot zaļo pakalpojumu apjomu. Piemēram, zaļā pieprasījuma prognoze var kalpot kā stratēģiska vadlīnija pārdošanas un mārketinga komandām prioritāšu noteikšanai klientu iepirkumos ar lielākām zaļās loģistikas prasībām. Turklāt secinājumi par iepirkumu konkursu veiksmes rādītājiem un biznesa atjaunošanas procesiem liecina, ka būtiska būs pakalpojumu kvalitātes uzlabošana un klientu iesaistes stiprināšana, lai saglabātu un palielinātu zaļā biznesa apjomu.



5.6. attēls. **Jutīguma analīze.**

Jutīguma analīzē atspoguļota jauno klientu piesaiste 120 mēnešu periodā, demonstrējot vienmērīgu pieauguma tendenci ar pieaugošu nenoteiktību laika gaitā. Sākotnēji projekcijas uzrāda šauru mainīgumu, ar cieši sakārtotām ticamības joslām (50 %, 75 %, 95 % un 100 %), kas liecina par augstu pārliecību īstermiņa rezultātos.

Tomēr laika gaitā joslas ievērojami paplašinās, norādot uz lielāku nenoteiktību ilgtermiņa prognozēs. Tas nozīmē, ka, lai gan vidējās prognozes uzrāda pastāvīgu biznesa piesaistes pieaugumu, loģistikas pakalpojumu sniedzējiem jāparedz plašs iespējamo iznākumu diapazons un jāuztur elastība pārdošanas un mārketinga stratēģijās, lai pielāgotos mainīgajiem apstākļiem un mazinātu ar šo mainīgumu saistītos riskus. Zaļo izmaksu nākotnes izmaiņu prognoze liecina par vienmērīgu samazināšanos ar mediānu, kas seko vienmērīgai lejupejošai tendencei. Starpība starp augšējo un apakšējo robežu palielinās laika gaitā, kas norāda uz pieaugošu nenoteiktību ilgākā prognozēšanas periodā. Jutīguma joslas (īpaši 95 % un 100 %) uzrāda plašāku iespējamo rezultātu diapazonu simulācijas beigās. Zaļā pieprasījuma prognoze demonstrē stabilu pieaugumu ar mediānu, kas seko skaidrai augšupejošai tendencei. Nenoteiktība, ko atspoguļo jutīguma robežas, saglabājas salīdzinoši neliela, bet nedaudz paplašinās tuvāk perioda beigām (120 mēneši).

Diskusija un secinājumi

Balstoties empīriskā literatūras apskata rezultātos, gan loģistikas pakalpojumu sniedzējus, gan klientus motivē pāriet uz zaļajiem transporta pakalpojumiem tādi faktori kā normatīvās prasības un ieinteresēto pušu gaidas. Tomēr novērojamas arī vairākas motivācijas atšķirības, piemēram, loģistikas pakalpojumu sniedzējus lielākoties virza nepieciešamība apmierināt klientu pieprasījumu un saglabāt konkurētspēju tirgū, savukārt klienti vairāk koncentrējas uz sava korporatīvā tēla un zīmola reputācijas uzlabošanu.

Autoru piedāvātais loģistikas pakalpojumu sniedzēju pārejas uz zaļajiem pakalpojumiem modelis ir izstrādāts, lai atbalstītu loģistikas uzņēmumu vadību. Tas veidots, ņemot vērā loģistikas pakalpojumu sniedzēju tirgus zināšanas un pieredzi, kā arī pamatojoties uz nozares datiem.

Integrējot uzņēmuma faktiskos datus, modelis var palīdzēt loģistikas pakalpojumu sniedzējiem plānot klientu piesaistes aktivitātes, prognozēt tirgus cenu izmaiņas un zaļā pieprasījuma attīstību.

Jāņem vērā, ka modelis nevar paredzēt precīzu zaļo transporta pakalpojumu izmaksu līmeni vai precīzu klientu pieprasījumu pēc zaļajiem pakalpojumiem. Tomēr būtiski ir tas, ka modelis var sniegt kopējo tendenci un attīstības virzienu minētajiem aspektiem, ja tas tiek nodrošināts ar konkrētā loģistikas pakalpojumu sniedzēja komerciālās un operatīvās darbības datiem.

Balstoties simulācijā, kurā izmantoti dati no globāla loģistikas pakalpojumu sniedzēja, kurš darbojas Baltijas tirgū, var secināt, ka, ja zaļo transportlīdzekļu tirgus daļa Baltijā tiek prognozēta 12,44 % apmērā līdz 2034. gadam, tad konkrētā loģistikas pakalpojumu sniedzēja zaļā biznesa daļa varētu sasniegt 48,3 %, pieņemot esošās tirgus prognozes, piemēram, izmaksu atšķirību starp zaļajiem un tradicionālajiem pakalpojumiem, transporta uzturēšanas izmaksu un iegādes cenu atšķirības.

Pamatojoties uz simulācijas rezultātiem, zaļo transporta pakalpojumu izmaksas Baltijas tirgū pēc 2030. gada kļūs zemākas nekā tradicionālo pakalpojumu izmaksas, un šī tendence, visticamāk, turpināsies arī nākotnē.

Neskatoties uz prognozēto zaļo transporta pakalpojumu izmaksu priekšrocību pār tradicionālo pakalpojumu izmaksām, pēc modeļa aprēķiniem, tradicionālo pakalpojumu pieprasījums joprojām saglabāsies augstā līmenī līdz 2034. gadam. Tas liecina par nepieciešamību veikt padziļinātu izpēti, lai ņemtu vērā arī citus faktorus, kas ietekmē klientu pieprasījumu, izņemot transporta izmaksas.

Ieteikumi loģistikas pakalpojumu sniedzējiem

Viens no galvenajiem ieteikumiem loģistikas uzņēmumiem ir pakāpeniska pieeja zaļās loģistikas ieviešanā. Modeļa prognozētās zaļo izmaksu samazināšanās nākamās desmitgades laikā liecina, ka uzņēmumiem jāsāk ar hibrīdstratēģiju, saglabājot līdzsvaru starp tradicionālajiem un zaļajiem loģistikas pakalpojumiem. Zaļajām izmaksām kļūstot konkurētspējīgām ar tradicionālajiem risinājumiem, uzņēmumi var pakāpeniski palielināt zaļo pakalpojumu daļu, nodrošinot vienmērīgu un izmaksu ziņā efektīvu pāreju.

Loģistikas pakalpojumu sniedzēju mērķēšana uz klientu segmentiem ar augstu zaļās loģistikas pieprasījumu ir vēl viena praktiski īstenojama stratēģija. Modelis identificē zaļā pieprasījuma tendences, ļaujot loģistikas uzņēmumiem koncentrēt savas piesaistes aktivitātes uz klientiem un transporta pakalpojumu iepirkumiem ar lielāku varbūtību pieprasīt zaļos pakalpojumus. Mārketinga kampaņu pielāgošana, lai uzsvērtu zaļās loģistikas izmaksu priekšrocības, var vēl vairāk uzlabot loģistikas pakalpojumu sniedzēju veiksmes rādītājus iepirkumu konkursos un stiprināt klientu attiecības.

Modeļa sniegtās atziņas par izmaksu tendencēm, tostarp enerģijas, transportlīdzekļu uzturēšanas un transportlīdzekļu iegādes izmaksām, nodrošina pamatu stratēģiskai lēmumu pieņemšanai. Loģistikas uzņēmumiem būtu regulāri jāatjauno šīs prognozes, lai identificētu optimālo brīdi autoparka modernizācijai un zaļo tehnoloģiju ieviešanai. Izmantojot izmaksu priekšrocības to rašanās brīdī, iespējams paaugstināt konkurētspēju un rentabilitāti.

Nepieciešami turpmāki pētījumi, lai labāk izprastu klientu motivāciju un nākotnes zaļā pieprasījuma attīstības tendences. Šajā modelī zaļais pieprasījums prognozēts, izmantojot cita pētījuma rezultātus, kas balstīts iepirkumu dokumentācijas analīzē un atspoguļo tirgus pašreizējo stāvokli. Tomēr autori uzskata, ka, lai noteiktu nākotnes zaļā pieprasījuma tendenci, jāizpēta plašāks aspektu loks.

Rakstā iekļautās daļas pirmēji angļu valodā publicētas žurnāla *Data in Brief* rakstā *European cargo vehicle market dataset for 2023* (https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110648) un žurnāla *Transport and Telecommunication* rakstā *Model of logistics service providers transition to "green" services* (https://doi.org/10.2478/ttj-2025-0003).

Literatūra un avoti

Albers, S., Brekalo, L. (2016). Effective Logistics Alliance Design and Management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 46. 10.1108/IJPDLM-08-2014-0201.

Allied Market Research, n. d. Green Logistics Market. Iegūts no https://www.alliedmarketresearch.com/green-logistics-market-A84427.

Andersson, Dan & Norrman, Andreas. (2002). Procurement of logistics services - A minutes work or a multi-year project. *European Journal of Purchasing & Supply Management*. 8. 3-14. 10.1016/S0969-7012(01)00018-1.

Barker, J. M., Gibson, A. R., Hofer, A. R., Hofer, C., Moussaoui, I., Scott, M. (2021). A competitive dynamics perspective on the diversification of third-party logistics providers' service portfolios. Transportation Research Part E: Logistics and *Transportation Review*. 146. 102219. 10.1016/j.tre.2020.102219.

Bilek, G. M., Calvi, R., Erhel, D., Mechouar, Y. (2024). Towards green transportation practices using a buyer/supplier perspective: A systematic literature review. *Logistics*, 8 (3), Article 68. DOI: 10.3390/logistics8030068.

Brekalo, L., Albers, S. (2016). Effective Logistics Alliance Design and Management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 46. 10.1108/IJPDLM-08-2014-0201.

Centobelli, P., Cerchione, R., Esposito, E. (2020). Evaluating environmental sustainability strategies in freight transport and logistics industry. *Business Strategy and the Environment*, 29 (3), pp. 1563–1574.

Ellram, L. M., Golicic, S. L. (2016). The role of logistics in the quest for environmental sustainability: An empirical investigation. *Journal of Supply Chain Management*, 52 (1), pp. 85–101.

Evangelista, P. (2014). Environmental sustainability practices in the transport and logistics service industry: An exploratory case study investigation. *Research in Transportation Business & Management*, 12, pp. 63–72.

Evangelista, P., Santoro, L. (2014). Environmental sustainability practices in the transport and logistics service industry: an exploratory case study investigation. *Research in Transportation Business and Management*, 12, pp. 63–72.

Fabbe-Coste, N., Damaskinidis, G. (2016). Sustainable transportation and the logistics service industry: A French perspective. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 27 (2), pp. 177–193.

FN Research, n. d. Green Logistics Market. Iegūts no https://www.fnfresearch.com/green-logistics-market.

GlobeNewswire, 2022. With 6.10 % CAGR, Global Green Logistics Market Size to Surpass USD 1481.5 Billion by 2028 – Green Logistics Industry Trends, Share, Growth, Analysis & Forecast Report by Facts & Factors. Iegūts no https://www.globenewswire.com/news-release/2022/09/06/2510777/0/en/With-6-10-CAGR-Global-Green-Logistics-Market-Size-to-Surpass-USD-1481-5-Billion-by-2028-Green-Logistics-Industry-Trends-Share-Growth-Analysis-Forecast-Report-by-Facts-Factors.html.

Hasanov, R. I. (2023). Green procurement and green transportation: The case of the aluminum industry. *Green Economics*, 1 (2), pp. 126–136.

Hwang B, Chen T, Lin JT (2016), "3PL selection criteria in integrated circuit manufacturing industry in Taiwan". *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 21 No. 1 pp. 103–124, doi: https://doi.org/10.1108/SCM-03-2014-0089.

InsightAce Analytic, n. d. Green/Sustainable Logistics Market Size and Forecast (2024–2031). Iegūts no https://www.insightaceanalytic.com/report/greensustainable-logistics-market/2399#:~:text=Green%2FSustainable%20Logistics%20Market%20Size%20is%20valued%20at%20USD%201%2C112.9,forecast%20period%20for%202024%2D2031.

Isaksson, K., Huge-Brodin, M. (2013). Factors influencing the adoption of green logistics: a study of Swedish logistics companies. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 16 (1), pp. 64–77.

Jharkharia, S., Shankar, R. (2007). Selection of logistics service provider: An analytic network process (ANP) approach. *Omega*, 35 (3), 274–289. doi:10.1016/j.omega.2005.06.005.

Keers, B., Van Fenema, P. (2015). Towards Alliance Performance Management in Service Logistics. *Journal of Organization Design*. 4. 12. 10.7146/jod.18194.

Knemeyer A. M., Corsi T. M., Murphy P. R. (2003). Logistics Outsourcing Relationships: Customer Perspectives. *Journal of Business Logistics*. 24. 77–109. 10.1002/j.2158-1592.2003.tb00033.x.

Kotlars, A., Skribans, V. (2025). Model of logistics service providers transition to "green" services. *Transport and Telecommunication*, 26 (1), 23–32. https://doi.org/10.2478/ttj-2025-0003.

Kotļars, A., Solovjovs, D., Skribans, V. Road Freight Service Tender Documents Monitoring in Europe between 2019 and 2023. Riga,: 2023. 1 p. Available from: doi:10.17632/5h5y5fyx38.1.

Lieb, K. J., Lieb, R. C. (2010). Developing environmentally sustainable logistics: exploring themes and challenges from a logistics service providers' perspective. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 46, pp. 273–283.

Martinsen, U., Huge-Brodin, M. (2014). Logistics service providers and the choice of green transport practices: a Europe-wide survey. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, pp. 49–61.

Martinsen, U., Björklund, M. (2012). The role of green logistics in the sustainable supply chain: A Nordic perspective. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31, pp. 49–61.

McKinnon, A. C., Ge, Y. (2004). Use of a transport model to assess the contribution of logistics to the environmental impact of transport. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 7 (4), pp. 333– 345.

Medium, 2023. Green Logistics Market 2024: By Share, Current Trends, Opportunities, Growth Size and Forecast. Iegūts no https://medium.com/@saisubashtbrc/green-logistics-market-2024-by-share-current-trends-opportunities-growth-size-and-forecast-to-d6ab4e930ddc.

Mordor Intelligence, n.d. Green Logistics Market – Industry Report. Iegūts no https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/green-logistics-market.

Perçin, S., Min, H. (2013). A hybrid quality function deployment and fuzzy decision-making methodology for the optimal selection of third-party logistics service providers. *International Journal of Logistics*. 16. 10.1080/13675567.2013.815696.

Pomponi, F., Fratocchi, L., Tafuri, S. R., Palumbo, M. (2013). Horizontal Collaboration in Logistics: A Comprehensive Framework. *Research in Logistics & Production*. 3. 243–254.

Rattanawiboonsom, V. (2014). Effective Criteria for Selecting Third-Party logistics Providers: The Case of Thai Automotive Industry. *World Review of Business Research*. Vol. 3, pp. 196–205.

Shah, K. J., Pan, S. Y., Lee, I., Kim, H., You, Z., Zheng, J. M., Chiang, P. C. (2021). Green transportation for sustainability: Review of current barriers, strategies, and innovative technologies. *Journal of Cleaner Production*, 326, Article 129392. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.129392.

Skribans, V., Kotlars, A., 2024. European cargo vehicle market dataset for 2023. *Data in Brief*, 55, p. 110648. Available at: https://doi.org/10.1016/j.dib.2024.110648.

Wang, J., Wang, M., Liu, F., Chen, H. (2015). Multistakeholder Strategic Third-Party Logistics Provider Selection: A Real Case in China. *Transportation Journal*. 54. 312–338. 10.5325/transportationj.54.3.0312.

Warren, C. (2012). 10 ideas for a green transportation infrastructure. HowStuffWorks. Iegūts no https://science.howstuffworks.com/environmental/green-science/10-ideas-green-transportation.htm.

Wehner, J., Taghavi Nejad Deilami, N., Altuntas Vural, C., Halldorsson, A. (2021). Logistics service providers' energy efficiency initiatives for environmental sustainability. *International Journal of Logistics Management*, 33 (5), pp. 1–26.

Wilding R., Juriado R. (2004). Customer Perceptions on Logistics Outsourcing in the European Consumer Goods Industry. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*. 34. 628–644. 10.1108/09600030410557767.

Zhang, G., Shang, J., Li, W. (2012). An information granulation entropy-based model for third-party logistics providers evaluation. *International Journal of Production Research* – INT J PROD RES. 50. 177–190. 10.1080/00207543.2011.571453.

6.

Ūdeņraža tehnoloģiju potenciāls Eiropas Savienības autotransporta dekarbonizācijā: aktuālās tendences un nākotnes perspektīva

Pētnieks *MBA* Leo Jansons, Rīgas Tehniskā universitāte
Vadošā pētniece *Dr. oec.* Sanda Lapuķe, Rīgas Tehniskā universitāte
Profesore *Dr. sc. ing.* Laila Zemīte, Rīgas Ziemeļvalstu augstskola
Ph. D. pretendents *Mg. sc. ing.* Andris Bačkurs, Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte
Pētniece *Dr. sc. ing.* Antra Kundziņa, Rīgas Tehniskā universitāte

Ievads

Ūdeņradis ir visizplatītākais elements Visumā, un tas veido aptuveni 90 % no Visuma masas un aptuveni 73 % no redzamās Visuma masas (Origin of Elements, 2000). Ķīmiski tā ir bezkrāsaina, netoksiska gāze, bez smaržas un bez garšas, un parasti tā ir divu atomu molekula. Ūdeņradim ir trīs dabā sastopami izotopi: ūdeņradis, deitērijs un tritijs. Katram ir viens protons, bet atšķirīgs neitronu skaits. Ūdeņradim nav neitronu; deitērijam ir viens neitrons, bet tritijam – divi neitroni (Isotopes of Hydrogen, 2000), (Libretexts, n. d.). Uz Zemes ūdeņradis parasti nav sastopams tīrā veidā, jo tas viegli savienojas ar citiem elementiem. Tas ir arī vieglākais zināmais elements ar blīvumu 0,08988 grami uz litru (g/L) atmosfēras spiedienā (1 bārs) un līdz ar to arī vieglākā zināmā gāze (blīvums – 0,089 kg/m^3; relatīvais blīvums attiecībā pret gaisu – 0,0695).

Ūdeņradis ir ne tikai visizplatītākais ķīmiskais elements, bet arī energonesējs, ko var iegūt no dažādiem avotiem, tostarp ūdens, fosilajiem kurināmajiem un biomasas. Kā redzams 6.1. tabulā, tam ir ļoti augsts masas īpatnējās enerģijas blīvums, bet zems enerģijas saturs pēc tilpuma kā šķidrumam.

6.1. tabula

Ūdeņraža masas enerģijas blīvums (MJ/kg) un enerģijas saturs pēc tilpuma kā šķidrumam (MJ/L) salīdzinājumā ar citām degvielām

Degvielas veids	MJ/kg	MJ/L
Benzīns	44,4	32
Dīzeļdegviela	45,8	38,6
Aviācijas degviela	43,8	35,1
Sašķidrināta dabasgāze	55	25,3
Ūdeņradis	~120	~8

Pastāv dažādas ūdeņraža ražošanas metodes. Līdz šim ūdeņradi galvenokārt ražo no fosilajiem energoresursiem – akmeņoglēm un dabasgāzes –, kur ražošanas process rada ievērojamus oglekļa dioksīda (CO_2) izmešus. Tas attiecas uz 99,3 % no pasaules ūdeņraža ražošanas apjoma, ko galvenokārt iegūst dabasgāzes tvaika riforminga (*SMR*) procesā (62 % no ražošanas apjoma), kam seko ogļu gazifikācija un naftas pārstrāde (attiecīgi 19 % un 18 %). Mazoglekļa un zaļa (bezoglekļa) ūdeņraža ražošana ir iespējama, izmantojot vairākus paņēmienus, kas pagaidām veido tikai ļoti nelielu daļu no pašreizējās produkcijas (IEA, 2022). Lai apzīmētu dažādas izcelsmes ūdeņradi un tā ražošanas ilgtspējas līmeni, pamatojoties uz faktisko avotu un ražošanas paņēmienu (fosilais kurināmais, kodolprocesi, ūdens elektrolīze utt.), izmanto tā dēvētos krāsu kodus. Šī krāsu kodēšanas sistēma nav formāli standartizēta, un tai nav juridiska spēka, taču to plaši izmanto politikas dokumentos, tehniskajos pētījumos un nozares analīzē. Visplašāk zināmās ūdeņraža krāsas ir pelēkais, zilais, zaļais, tirkīza, melnais, brūnais, baltais un rozā (vai purpura). Katra no šīm ūdeņraža krāsām raksturo atšķirīgu tehnoloģiju un ietekmi uz klimatu.

Pelēkais ūdeņradis (*grey hydrogen*) šobrīd ir visizplatītākais, un to iegūst no dabasgāzes, izmantojot *SMR* un nepiesaistot CO_2 emisijas. Šis process rada būtisku CO_2 emisiju daudzumu – aptuveni 9–10 kg CO_2 uz katru saražoto kg ūdeņraža. Pelēkais ūdeņradis ir lēts, taču nav ilgtspējīgs, un tas neveicina klimata mērķu sasniegšanu.

Zilo ūdeņradi (*blue hydrogen*) arī ražo no fosilajiem resursiem (galvenokārt dabasgāzes), taču ar CO_2 uzkrāšanu un noglabāšanu (*CCS – Carbon Capture and Storage*). Teorētiski tas samazina emisijas par 60–90 %, taču *CCS* tehnoloģiju izmaksas un efektivitāte ir mainīga. Zilo ūdeņradi uzskata par pārejas uz bezemisiju ekonomiku risinājumu.

Zaļo ūdeņradi (*green hydrogen*) uzskata par ilgtspējīgāko risinājumu, jo to ražo, elektrolīzes ceļā, izmantojot elektroenerģiju no atjaunīgajiem avotiem (vējš, saule, hidroenerģija). Šis process nerada emisijas un ir būtisks elements klimatneitralitātes mērķu sasniegšanā. Vienlaikus tas ir dārgākais ūdeņraža ražošanas veids (vidēji 4–8 EUR/kg), kas kavē plašu tā tehnoloģiju komercializāciju un mērogojamību.

Tirkīza ūdeņradi (*turquoise hydrogen*) ražo ar metāna pirolīzi, kā blakusproduktu iegūstot cietu oglekli, nevis CO_2. Šim ūdeņradim ir potenciāls būt par zemu emisiju risinājumu, ja process tiek darbināts ar tīru enerģiju. Tehnoloģija vēl atrodas attīstības stadijā un nav plaši lietota.

Melno un brūno ūdeņradi (*black/brown hydrogen*) iegūst, gazificējot ogles vai brūnogles un radot ļoti lielu CO_2 emisiju apjomu. Šis ir viens no piesārņojošākajiem veidiem, un to uzskata par videi kaitīgu, īpaši bez *CCS* izmantošanas. To vēl joprojām lieto dažās valstīs ar bagātīgiem ogļu resursiem.

Baltais ūdeņradis (*white hydrogen*), savukārt, ir dabiski sastopams ūdeņradis, kas rodas ģeoloģisku procesu rezultātā. Tas pagaidām netiek komerciāli izmantots, bet pētniecības intensitāte šajā jomā pieaug. Ja tā ieguve būs tehniski iespējama un ekonomiski izdevīga, tas varētu kļūt par revolucionāru bezemisiju ūdeņraža avotu.

Rozā (vai purpura) ūdeņradi (*pink hydrogen*) ražo, izmantojot elektroenerģiju no kodolenerģijas. Lai gan tas nerada tiešas CO_2 emisijas, pastāv dažādi uzskati par kodolenerģijas ilgtspējību. Šis ūdeņradis var būt stabils un drošs risinājums valstīs ar attīstītu kodolenerģijas infrastruktūru, piemēram, Francijā (Ocenic & Tantau, 2023), (Arcos & Santos, 2023).

Ūdeņradim ir liels potenciāls tīras un efektīvas jaudas visa veida transporta risinājumos, uzlabojot enerģētisko drošību, samazinot atkarību no fosilā kurināmā piegādēm, kā arī mazinot siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas un citus piesārņojuma veidus (DG for Climate Action, 2019).

2024. gadā pieprasījums pēc ūdeņraža pasaulē sasniedza vēsturiski augstāko punktu – ap 97 Mt, tomēr tas joprojām bija koncentrēts tradicionālajās izmantošanas jomās. Pieprasījuma pieaugums neatspoguļo panākumus, kas gūti politikas centienos paplašināt ūdeņraža izmantošanu, bet gan ir saistīts ar pašreizējām vai tradicionālajām globālajām enerģētikas tendencēm. Pieprasījums joprojām ir vērsts uz ķīmisko rūpniecību, un tikai mazāk nekā 0,1 % veido jauni ūdeņraža lietojumi smagajā rūpniecībā, transportā vai elektroenerģijas ražošanā. Tiesa, mazoglekļa un zaļā ūdeņraža īpatsvars lēnām palielinās, sasniedzot 0,7 % no kopējā ūdeņraža pieprasījuma. Tāpat ūdeņraža ražošana un izmantošana 2024. gadā radīja vairāk nekā 950 Mt CO_2 emisiju (IEA, 2023).

Tomēr tuvākajā nākotnē, kad viena no prioritātēm ir Eiropas transporta nozares dekarbonizācija un paredzams, ka ūdeņradim būs ievērojama loma šajā procesā, situācija varētu būtiski mainīties. Plaša spektra transporta lietojums varētu kļūt par daļu no ūdeņraža ražošanas, transporta un patēriņa ekosistēmām un shēmām ne tikai tālsatiksmes transportam, piemēram, kravas automobiļiem, vilcieniem un kuģiem, bet arī pilsētas transportam – gan pasažieru automobiļiem, gan sabiedriskajam un pašvaldību transportam.

Pētījuma hipotēze balstās pieņēmumā, ka ūdeņraža tehnoloģijas spēlē būtisku lomu dekarbonizācijā, tomēr līdz 2040. gadam to plaša izplatība vieglā autotransporta segmentā Eiropas pilsētās būs iespējama tikai noteiktās nišās. To ierobežo augstās sākotnējās izmaksas, salīdzinoši zema uzpildes infrastruktūras pieejamība un konkurence ar tehnoloģiski vienkāršākajiem akumulatoru elektroautomobiļiem.

Ūdeņradis var kļūt par stratēģiski svarīgu risinājumu, īpaši tur, kur nepieciešama ātra uzpilde un garš nobraukums, piemēram, taksometru autoparkos un starppilsētu pārvadājumos.

Pētījuma mērķis ir kompleksi analizēt ūdeņraža izmantošanas potenciālu Eiropas Savienības (ES) transporta nozarē, salīdzinot tehnoloģiskās alternatīvas un izvērtējot dažādu transportlīdzekļu piemērotību klimatneitralitātes mērķu sasniegšanai. Novērtēts gan pašreizējais stāvoklis, gan nākotnes attīstības perspektīvas līdz 2040. gadam, ņemot vērā gan tirgus tendences, gan regulatīvās vides izmaiņas.

Lai sasniegtu šo mērķi, pētījumā izmantota kombinēta metodoloģija. Veikta dokumentu un normatīvo aktu analīze, tostarp Eiropas Komisijas un dalībvalstu ūdeņraža stratēģijas, zaļās mobilitātes programmas un infrastruktūras attīstības regulējumi. Paralēli veikta kvantitatīvo datu apkopošana – gan par transportlīdzekļu tehnoloģiskajām īpašībām un ekspluatācijas izmaksām, gan par ūdeņraža ražošanas veidiem, uzpildes punktu izvietojumu un investīciju dinamiku. Būtiska pētījuma sastāvdaļa ir salīdzinošā analīze starp *FCEV*, *HICEV* un elektroautomobiļu tehnoloģijām, apskatot gan CO_2 emisiju profilu, gan ekonomiskos aspektus, gan infrastruktūras pieejamību. Pētījumā izmantoti arī attīstības scenāriji, modelējot potenciālās izaugsmes trajektorijas atkarībā no ūdeņraža cenas, valsts atbalsta un uzlādes infrastruktūras attīstības.

Lai gan pētījuma metodoloģija nodrošina pietiekamu pārklājumu galvenajos analizējamajos virzienos, ir jāņem vērā arī vairāki ierobežojošie faktori. Pirmkārt, publiski pieejamo datu par *FCEV* izmantošanas reālo pieredzi Eiropas apstākļos ir ļoti maz. Otrkārt, daudzi analītiskie modeļi balstās tirgus prognozēs un tehnoloģiju attīstības pieņēmumos, kas var būt atkarīgi no politikas, energoresursu cenām un inovāciju tempa. Treškārt, datu pieejamība dažādās ES dalībvalstīs ievērojami atšķiras, kas ierobežo iespēju veikt vienotu, salīdzināmu kvantitatīvu analīzi. Tāpat pētījuma fokuss ir vērsts galvenokārt uz ES, tādēļ rezultāti nav tieši piemērojami citām reģionālajām realitātēm.

Pētījums sniedz detalizētu ieskatu ūdeņraža izmantošanas potenciālā transportā, īpaši uzsverot tā iespējamo lomu kā papildinošai, bet ne dominējošai tehnoloģijai vieglā autotransporta dekarbonizācijā līdz 2040. gadam. Tas veicina izpratni par ūdeņraža infrastruktūras attīstības nozīmi, tehnoloģisko progresu un nepieciešamību pēc skaidriem politikas signāliem, lai veicinātu drošu un ekonomiski pamatotu ūdeņraža integrāciju Eiropas mobilitātē.

1. Ūdeņraža izmantošana transporta nozarē

1.1. Tiesiskais ietvars

Ūdeņradis kļūst par būtisku enerģijas nesēju Eiropas transporta un rūpniecības sektoru dekarbonizācijā, un attiecīgi tiek izstrādāti un piemēroti vairāki ES tiesību akti un Latvijas nacionālie plānošanas dokumenti, kas regulē ūdeņraža uzpildes

staciju infrastruktūras attīstību. Būtiskākais ES līmeņa normatīvais instruments šajā jomā ir Regula (ES) 2023/1804 par alternatīvo degvielu infrastruktūras attīstību (*AFIR*), kas stājās spēkā 2025. gadā un aizstāja iepriekšējo direktīvu 2014/94/ES. Tā nosaka dalībvalstu pienākumu nodrošināt publiski pieejamu ūdeņraža uzpildes staciju pieejamību ik pēc 200 kilometriem uz *TEN-T* pamattīkla autoceļiem līdz 2030. gadam, kā arī nosaka tehniskās prasības, ka stacijām jābūt aprīkotām ar 700 bāru spiediena iekārtām pasažieru automobiļiem un 350 bāru sistēmām autobusiem un kravas transportam. Tāpat AFIR nosaka pienākumu nodrošināt digitālu piekļuvi informācijai par staciju atrašanās vietu, jaudu un maksājumu iespējām (Directive 2014/94/EU, 2014).

Papildus tam būtisks politikas dokuments ir Eiropas ūdeņraža stratēģija, kas izklāsta ūdeņraža lomu ES klimata un enerģētikas politikā. Šī stratēģija paredz strauju ūdeņraža tehnoloģiju attīstību un to integrāciju transporta un rūpniecības procesos, prioritāri atbalstot zaļā ūdeņraža ražošanu no atjaunīgajiem energoresursiem. Stratēģijā arī noteikts mērķis izveidot starpvalstu ūdeņraža koridorus un veidot ES vienoto ūdeņraža tirgu (Hydrogen strategy, 2020). Savukārt *TEN-T* (*Trans-European Transport Network*) regulējums papildina šos dokumentus, iekļaujot ūdeņradi kā nozīmīgu enerģijas avotu emisiju samazināšanā transporta tīklā, bet "*Fit for 55*" klimata pakotne nosaka vispārējos emisiju samazināšanas mērķus, kas netieši pastiprina vajadzību pēc alternatīvo degvielu infrastruktūras attīstības.

Latvijas līmenī galvenais politiskās plānošanas dokuments ir Nacionālais enerģētikas un klimata plāns 2021.–2030. gadam, kurā ūdeņradis identificēts kā perspektīvs enerģijas avots, īpaši transporta sektorā. Plānā paredzēts, ka līdz 2030. gadam Latvijā jābūt izveidotām pirmajām ūdeņraža uzpildes stacijām, īpaši *TEN-T* transporta tīkla posmos (NEKP, 2024). Līdzīgu mērķi definēti arī Transporta attīstības pamatnostādnēs 2021.–2027. gadam, kurās paredzēta alternatīvo degvielu ieviešana, tostarp ūdeņraža izmantošana sabiedriskajā un komerciālajā transportā, kā arī atbalsts publiskajai un privātajai sadarbībai pilotprojektu īstenošanā (TAP, 2021).

Līdztekus tam tiek diskutēts par Latvijas ūdeņraža stratēģijas veidošanu, kurā varētu definēt konkrētus mērķus attiecībā uz ūdeņraža ražošanu, uzglabāšanu, transportēšanu, kā arī uzpildes staciju tīkla attīstību. Tajā varētu tikt noteikta arī valsts nostāja attiecībā uz finansēšanas mehānismiem, tostarp Modernizācijas fonda, Atveseļošanas un noturības mehānisma un ES Kohēzijas fonda līdzekļu izmantošanu stratēģijas mērķu sasniegšanai.

Līdz ar to ūdeņraža uzpildes staciju tīkla attīstību Latvijā un visā ES nosaka gan stingras regulatīvās prasības, piemēram, *AFIR* un *TEN-T* normas, gan arī nacionāli plānošanas dokumenti un klimata politikas virzieni. ES līmeņa prasības liek Latvijai attīstīt savus tīklus atbilstoši starptautiskiem nosacījumiem, savukārt nacionālie tiesību akti un stratēģijas palīdz noteikt prioritātes, finansēšanas iespējas un sadarbības formas.

1.2. Ūdeņradis kā degviela – divi izmantošanas veidi

FCEV ir transportlīdzeklis, kas elektroenerģiju iegūst no ūdeņraža, izmantojot degvielas šūnas, savukārt *HICEV* ir transportlīdzeklis ar iekšdedzes dzinēju, kurā kā degviela tiek izmantots ūdeņradis, nevis fosilie kurināmie.

Pirmo risinājumu, kas ir atzītāks un tehnoloģiski attīstītāks, varētu uzskatīt par alternatīvu visa veida elektroautomobiļiem, savukārt otro – par iespēju izmantot ūdeņradi kā degvielu labi zināmiem un plaši atzītiem iekšdedzes dzinējiem. Tiesa, *HICEV* pagaidām ir tikai izpētes un prototipu testēšanas stadijā. Literatūrā gan norādīts, ka, lai pakāpeniski mainītu situāciju automobiļu tirgū par labu ūdeņraža mobilitātei ne tikai tālos pārvadājumos, bet arī pilsētvidē, ūdeņraža automobiļi būtu noteikti jāpapildina ar komerciāli pieejamiem *HICEV* automobiļiem (Zemite et al., 2023). *HICEV* ir tradicionālā ar benzīnu vai dīzeļdegvielu darbināma iekšdedzes dzinēja modificēta versija (Sierens & Verhelst, 2004). Tā kā tīrs ūdeņradis nesatur oglekli, arī šie automobiļi nerada oglekļa piesārņotāju CO_2 veidā. 6.2. tabulā sniegts galveno *FCEV* un *HICEV* efektivitātes parametru salīdzinājums.

6.2. tabula

Galveno *FCEV* un *HICEV* efektivitātes parametru salīdzinājums

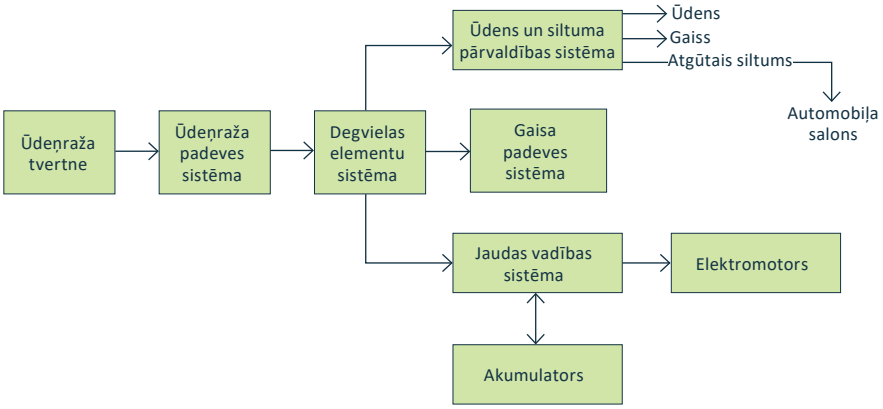
	FCEV	***HICEV***
Darbības princips	Elektromotoru darbina elektrība, ko ražo degvielas šūna	Iekšdedzes dzinējs, kur ūdeņradis tiek dedzināts kā kurināmais
Energoefektivitāte	Augsta (apmēram 50–60 % sistēmas efektivitāte)	Zema līdz vidēja (~25–30 % efektivitāte)
CO_2 emisijas (ekspluatācijā)	0 g/km (ja izmanto zaļo H_2)	Praktiski 0 g/km (bet var būt nelielas emisijas slāpekļa oksīdu veidā u. c.)
NO_x un troksnis	Ļoti zemi (nav sadegšanas procesa)	Iespējami NO_x emisijas un trokšņi, līdzīgi kā iekšdedzes dzinējos
Aukstā palaišana	Laba, bet nepieciešama sistēmas aizsardzība pret sasalšanu	Līdzīgs kā tradicionālajiem *ICE* dzinējiem
Tehnoloģiju briedums	Komerciāli pieejams (*Toyota Mirai, Hyundai Nexo* u. c.)	Eksperimentāls, ar dažiem prototipiem (*BMW, Toyota*)
Apkope un uzturēšana	Maz kustīgu daļu – mazāka nolietojuma pakāpe	Mehāniski sarežģītāks – līdzīgs tradicionālajam iekšdedzes dzinējiem
Infrastruktūras prasības	Nepieciešamas H_2 uzpildes stacijas un augstspiediena sistēmas	Nepieciešamas H_2 uzpildes stacijas un augstspiediena sistēmas

6.2. tabulas turpinājums

	FCEV	***HICEV***
Kopējās izmaksas	Augstas (transportlīdzeklis + H_2 degviela)	Potenciāli zemākas ražošanas izmaksas, bet arī zemāka efektivitāte
Piedziņas uzbūves sarežģītība	Elektriska piedziņa ar degvielas šūnu	Pamatā jau zināma iekšdedzes konstrukcija ar modifikācijām
Ilgtspēja ilgtermiņā	Augsta, ja izmantots zaļais ūdeņradis	Vidēja – degšana saglabā daļu emisiju un siltuma zudumu

Tā kā ūdeņraža sadedzināšana *HICEV* notiek atmosfērā, kas satur slāpekli un skābekli, tas var radīt slāpekļa oksīdus. Faktiski šīs tehnoloģijas automobiļiem ūdeņraža degvielas sadedzināšanas process ir ļoti līdzīgs kā citām augstā temperatūrā degošām degvielām, piemēram, benzīnam, dīzeļdegvielai vai dabasgāzei, tāpēc automobiļus ar ūdeņraža iekšdedzes dzinējiem ne vienmēr uzskata par bezemisiju transportlīdzekļiem (US DOE, 2001).

Savukārt plašāk pazīstamo ūdeņraža mobilitātes risinājumu *FCEV* varētu salīdzināt ar visiem elektroautomobiļiem, jo arī *FCEV* izmanto elektroenerģiju, lai darbinātu elektromotoru. Atšķirībā no elektroautomobiļiem *FCEV* ražo elektroenerģiju, izmantojot ar ūdeņradi darbināmu degvielas šūnu, nevis iegūst to no ārēji uzlādēta akumulatora. *FCEV* darbības princips ir parādīts 6.1. attēlā.



6.1. attēls. ***FCEV* darbības princips.**

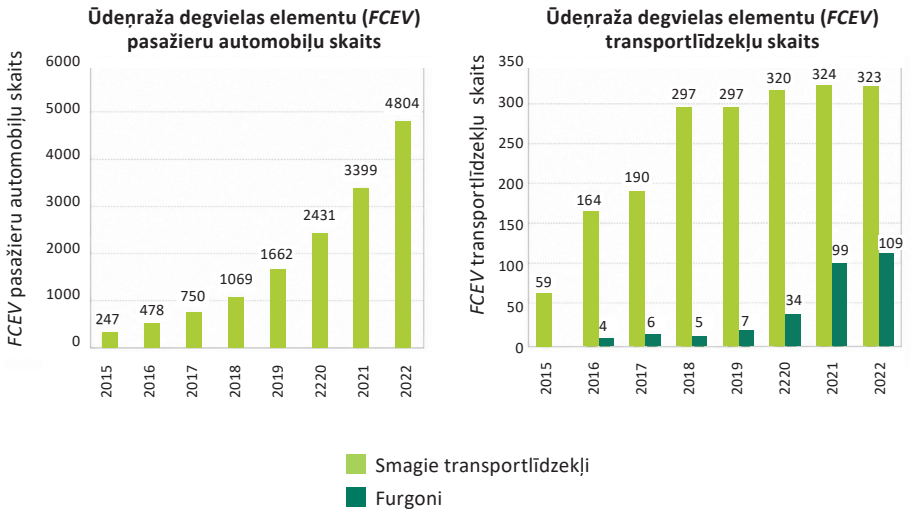
Ūdeņraža degvielas šūnas kā bezoglekļa tehnoloģija var būt svarīgs elements pārejā uz ilgtspējīgu transportu. Šīs šūnas ūdeņradi un skābekli pārvērš elektroenerģijā, un vienīgais blakusprodukts ir ūdens. Tas padara to par ļoti pievilcīgu tehnisko risinājumu transportlīdzekļu integrācijai, jo tā var krasi samazināt atkarību no fosilā kurināmā. Transportlīdzekļa projektēšanas procesā transportlīdzekļa ražotājs nosaka transportlīdzekļa jaudu pēc tā elektromotora lieluma, kas saņem elektroenerģiju no atbilstoša lieluma degvielas šūnas un akumulatoru kombinācijas.

Lai gan tehniski ir iespējams izstrādāt un ražot *FCEV* ar akumulatoru, kas uzlādējams no elektrotīkla, lielākā daļa *FCEV* pašlaik izmanto akumulatoru bremzēšanas enerģijas atkārtotai uztveršanai, nodrošinot papildu jaudu īsa paātrinājuma gadījumos, un lai izlīdzinātu no degvielas elementa piegādāto jaudu ar iespēju atvienot vai izslēgt degvielas elementu neliela jaudas pieprasījuma laikā. Uzkrāto enerģijas daudzumu nosaka pēc ūdeņraža degvielas tvertnes lieluma. Tā ir atšķirība no akumulatoru elektriskajiem transportlīdzekļiem, kur gan jaudas, gan pieejamās enerģijas daudzums ir cieši saistīts ar akumulatora ietilpību.

Visā pasaulē ūdeņraža kā transporta degvielas izmantošana joprojām ir attīstības ceļa sākumā. Neraugoties uz patēriņa pieaugumu par 60 % salīdzinājumā ar 2020. gadu, 2021. gadā ūdeņradis veidoja tikai 0,003 % no transporta enerģijas patēriņa visā pasaulē. Ūdeņradi pašlaik visvairāk izmanto autotransportā, tomēr arī šajā jomā tā izmantošanas līmenis ir relatīvi zems.

Piemēram, 2021. gada beigās Francijā bija tikai daži simti ar ūdeņradi darbināmu automobiļu, divi smagie kravas transportlīdzekļi, četri specializētie transportlīdzekļi un 22 autobusi (t. i., mazāk nekā 0,1 % no autoparka) (CCFA, 2022; CGDD, 2021). To skaits gan pieaug, bet ļoti lēni. Tajā pašā laikā ASV jau darbojas vairāki tūkstoši jaudīgu ūdeņraža degvielas šūnu elektroiekrāvēju. Šos iekrāvējus var uzpildīt dažās minūtēs, un tiem nepieciešama mazāka apkope, tāpēc daudzi mazumtirgotāji visā valstī tos izmanto, lai palielinātu noliktavu produktivitāti (US DOE, 2022). Turklāt lielākā sabiedriskā autobusu tranzīta aģentūra Kalifornijā pašlaik ekspluatē 36 *FCEV* autobusus (AC Transit, 2022).

FCEV pasažieru automobiļu, furgonu un kravas transportlīdzekļu skaita dinamika ES laika posmā no 2015. līdz 2022. gadam ir parādīta 6.2. attēlā.

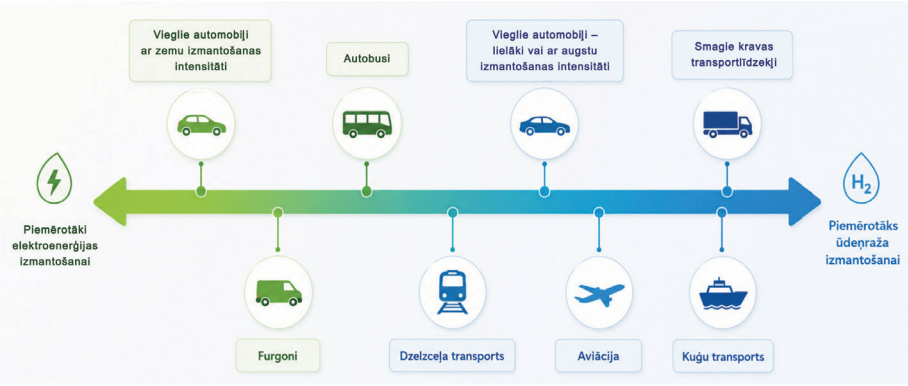


6.2. attēls. ***FCEV* transportlīdzekļu skaita dinamika Eiropas Savienībā 2015.–2022. gadā**
(IEA, 2022).

Paplašinoties ūdeņraža degvielas šūnu tehnoloģiju lietojumam, nozare, kas no tā varētu gūt lielu labumu, ir arī jūras un upju transports. Dīzeļdzinēju aizstāšana dažādos ostu lietojumos var ievērojami samazināt gaisa piesārņojumu, kas saistīts ar SEG emisijām. Tiek izstrādāti daudzi citi degvielas šūnu lietojumi, tostarp kravas automobiļiem, traktoriem, kravas ierīcēm, lokomotīvēm un kuģiem, piemēram, zvejas flotei.

Prognozējams, ka ūdeņradis nākotnē būs laba izvēle smagajiem kravas transportlīdzekļiem, operatīvo dienestu transportlīdzekļiem un autobusiem. Tajā pašā laikā tiek ierosināts, ka *FCEV* tehnoloģijas jālieto tikai kravas transportlīdzekļos, vilcienos un kuģos, atstājot pilsētas transportu, tostarp sabiedrisko transportu, piemēram, autobusus, ārpus ūdeņraža mobilitātes tvēruma un hibrīdautomobiļu vai elektroautomobiļu jomā (sk. 6.3. attēlu). Tomēr, pat ja ir maz ticams, ka *FCEV* tuvākajā nākotnē spēs pilnvērtīgi konkurēt ar elektroautomobiļiem (HRS Availability Map, 2025), šis uzstādījums nav uzskatāms par objektīvi un racionāli pamatotu.

Lai gan *FCEV* ir energoefektīvāki nekā tradicionālie transportlīdzekļi ar iekšdedzes dzinēju, tiek uzskatīts, ka tie ir mazāk efektīvi nekā elektroautomobiļi. Enerģija, kas nepieciešama ūdeņraža ražošanai, transportēšanai un uzglabāšanai, kā arī enerģijas zudumi degvielas šūnu sistēmā rada zemāku kopējo energoefektivitāti salīdzinājumā ar elektroautomobiļiem. Ir būtiski uzlabot degvielas šūnu sistēmu energoefektivitāti un optimizēt visu ūdeņraža ražošanas un sadales procesu. Turklāt *FCEV* gadījumā optimizēti loģistikas tīkli un maršrutu izkārtojums ir svarīgāks nekā elektroautomobiļu izmantošanas gadījumā (Mansouri et al., 2025).



6.3. attēls. **Elektroautomobiļu un ūdeņraža piemērotības jomas transportā.**

Jaunākie pētījumi liecina, ka *FCEV* nozares globālā vērtība līdz 2027. gadam sasniegs 19,5 miljardus dolāru (Rīgas satiksme, n. d.), un vismaz viena piektdaļa no tās būs saistīta ar visu veidu pilsētas transportu.

2. *HFCV* izmantošanas galvenie izaicinājumi

Lai gan *HFCV* ir videi draudzīgs transporta risinājums, arī izaicinājumi, ar kuriem tas saskaras, ir pietiekami nozīmīgi. Lai tos risinātu, ir vajadzīga nozares ieinteresēto personu, valdību, pētniecības iestāžu un infrastruktūras attīstītāju saskaņota rīcība. Nepārtrauktas investīcijas pētniecībā un attīstībā, ražošanas procesu uzlabošanā, uzpildes infrastruktūras paplašināšanā un atbalstošā politikā var palīdzēt pārvarēt šos izaicinājumus un veicināt *HFCV* kā tīra un ilgtspējīga transporta plašu ieviešanu gan lielas kravas, gan pilsētas transportā.

Galvenie izaicinājumi un problēmas, kas saistītas ar plašāku *HFCV* izmantošanu, ir iedalāmas šādas kategorijās: ar infrastruktūru saistītie izaicinājumi, ekonomiskās problēmas, ar ūdeņraža ražošanu saistītas problēmas, energoefektivitātes izaicinājumi, ar drošību saistītas problēmas, ar transportlīdzekļu pieejamības ierobežojumiem saistītas problēmas un konkurence ar citiem tīrā autotransporta veidiem.

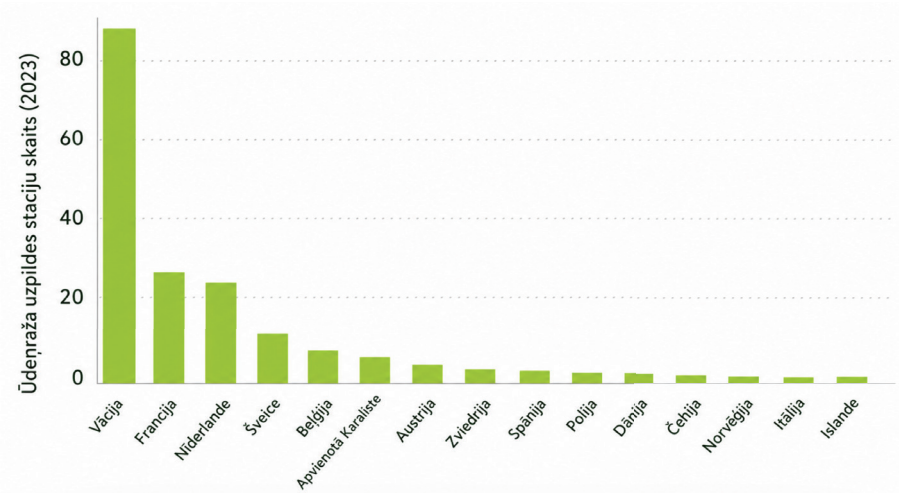
2.1. Infrastruktūras attīstība

Viena no būtiskākajām *HFCV* problēmām ir publiskās ūdeņraža uzpildes infrastruktūras trūkums un lēna tās attīstība. Atšķirībā no konvencionālajām degvielas uzpildes stacijām un elektroautomobiļu uzlādes punktiem, kas daudzās teritorijās ir plaši attīstīti, ūdeņraža uzpildes stacijas ir salīdzinoši ierobežotas un aprobežojas ar konkrētiem reģioniem. Lai izveidotu visaptverošu ūdeņraža infrastruktūru, ir vajadzīgas ievērojamas investīcijas jaunu uzpildes staciju, kā arī transporta un uzkrāšanas iekārtu būvniecībā.

Degvielas uzpildes stacijas ir *HFCV* infrastruktūras būtiska sastāvdaļa. Laika posmā no 2005. gada līdz 2024. gada vasarai kopējais Eiropas ūdeņraža uzpildes staciju skaits ir palielinājies no 0 līdz 294. Tomēr lielākā daļa no tām atrodas vienā reģionā. 113 no šīm stacijām atrodas Vācijā, tai seko Francija (65), Nīderlande (25) un Šveice (19). Lielākā daļa ūdeņraža uzpildes staciju ir paredzēta automobiļa uzpildei 700 bāru spiedienā, bet aptuveni 50 % no visām stacijām ir uzpildes iekārtas gan automobiļu, gan autobusu uzpildei 350 bāru spiedienā (California Energy Commission, 2025).

Latvijā ir viena ūdeņraža uzpildes stacija kā daļa no AS "Rīgas satiksme" infrastruktūras tās autoparkā esošo ūdeņraža trolejbusu uzpildei. Vienlaikus šī stacija ir publiska un pieejama arī citiem klientiem. Ūdeņraža ražošanas un uzpildes stacijā ūdeņradis tiek ražots *SMR* procesā. Iekārta var saražot 300 kg ūdeņraža dienā un nodrošināt 600 kg ūdeņraža piegādes. Stacijā ir uzbūvēta 350 bāru uzpildes iekārta, kas galvenokārt paredzēta AS "Rīgas Satiksme" trolejbusu uzpildei, turklāt iedzīvotājiem ir publiski pieejams 700 bāru uzpildes bloks, kas nodrošina vieglo transportlīdzekļu uzpildi. Publiska piekļuve uzpildes stacijām nodrošina ūdeņraža degvielu arī citiem *FCEV* lietotājiem (Drive Clean, 2025), kuriem citādi nav alternatīvu degvielas iegādei.

6.4. attēlā redzams ūdeņraža uzpildes staciju skaits atsevišķās Eiropas valstīs līdz 2023. gada vidum.



6.4. attēls. **Ūdeņraža uzpildes stacijas atsevišķās Eiropas valstīs, 2023** (HRS Availability Map, 2025).

Tomēr pat ievērojamais ūdeņraža uzpildes staciju skaita pieaugums pēdējo divdesmit gadu laikā nav pietiekams, lai panāktu *HFCV* plašāku izmantošanu. Ir skaidrs, ka ir jāpaplašina šo staciju izvietojuma ģeogrāfija, jo īpaši pilsētu teritorijās un piepilsētās, kur pieprasījums pēc *HFCV*, visticamāk, būs vislielākais. Tomēr ūdeņraža uzpildes staciju ieviešana pilsētās ir saistīta ar vairākām problēmām, konkrēti, izvietojuma ierobežojumiem un drošības apsvērumiem.

ASV piemērs norāda uz acīmredzamu saikni starp degvielas uzpildes infrastruktūras pieejamību un *HFCV* izmantošanas popularitāti. Salīdzinājumā ar elektroautomobiļiem, kas tiek pārdoti visā valstī infrastruktūras pieejamības un ātrās uzlādes punktu tīkla plašuma dēļ, vērā ņemams *HFCV* tirgus ir izveidojies tikai Kalifornijā, kur ir pieejams valstī vienīgais relatīvi blīvais ūdeņraža uzlādes staciju tīkls ar 62 ūdeņraža uzpildes stacijām (CARB Report, 2025). Citviet ASV tieši uzlādes infrastruktūras pieejamības problēmas nosaka *HFCV* izmantošanas zemo intensitāti vieglajā autotransportā – kopumā valstī šobrīd pieejama uzlāde 82 ūdeņraža uzpildes stacijās (Hydrogen Fueling Stations, 2025).

HFCV acīmredzamā priekšrocība ir uzlādes/uzpildes laiks. Elektroautomobiļiem pastāv ērtības uzlādei mājās, kaut arī pilnas uzlādes laiks var aizņemt vairākas stundas. Braucienos pa autoceļiem vai gadījumos, kad uzlāde mājās nav iespējama, elektroautomobiļi var izmantot ātrās uzlādes stacijas. Jauniem elektroautomobiļu modeļiem var uzlādēt gandrīz tukšu akumulatoru līdz 80 % līmenim 13–20 minūtēs; vecākiem modeļiem šis laiks parasti aizņem 30 līdz 50 minūtes. Uzlādes laiks ir atkarīgs no elektroautomobiļa uzlādes jaudas un ātrās uzlādes stacijas maksimālās izejas jaudas. Lai gan *HFCV* uzlādes iespējas mājās nepastāv, to tvertnes var uzpildīt degvielas uzpildes stacijās aptuveni 3–5 minūšu laikā (BBC Research, 2022).

Tīkla integrācija ir vēl viens būtisks *FCEV* nepieciešamās infrastruktūras aspekts. Elektrotīkliem būs jāpielāgojas palielinātai slodzei no ūdeņraža ražošanas iekārtām.

Lai nodrošinātu tīklu stabilitāti un līdz minimumam samazinātu traucējumus, var būt jāievieš progresīvas tīkla pārvaldības stratēģijas. Turklāt ir jāattīsta visa ūdeņraža piegādes ķēde no tā ražošanas līdz galapatēriņam. Šis process cita starpā ietver arī cauruļvadu un krātuvju būvniecību, kā arī tehnoloģiju pilnveidi efektīvai un drošai ūdeņraža transportēšanai.

Papildus jāpiebilst, ka dažos gadījumos *HFCV* var darboties kā decentralizētas enerģijas uzkrāšanas sistēmas. Periodos, kad ir liels elektroenerģijas pieprasījums vai zems atjaunīgās enerģijas ražošanas līmenis, *HFCV* var izmantot uzkrāto enerģiju, ražojot elektroenerģiju no uzkrātā ūdeņraža. Uzkrāto ūdeņradi maksimālā pieprasījuma periodos var transportēt elektroenerģijas ražošanai vai citu energoietilpīgu nozaru apgādei. Turklāt *HFCV,* ja tos savieno ar stacionārām degvielas šūnām, var nodrošināt decentralizētu elektroenerģijas ražošanu. Ūdeņradi, kas ražots no atjaunīgiem energoresursiem, var izmantot ne tikai transportlīdzekļu uzpildei, bet arī stacionārām degvielas šūnām, kas ražo elektroenerģiju. Šī decentralizētā pieeja elektroenerģijas ražošanai var samazināt pārvades zudumus, jo īpaši attālos apgabalos vai dabas katastrofu laikā, kad var tikt traucēta centralizēta elektroapgāde. Šis jautājums varētu būt īpaši svarīgs arī blīvi apdzīvotās teritorijās un pilsētu aglomerācijās.

2.2. Ūdeņraža ražošana, efektivitāte un drošums

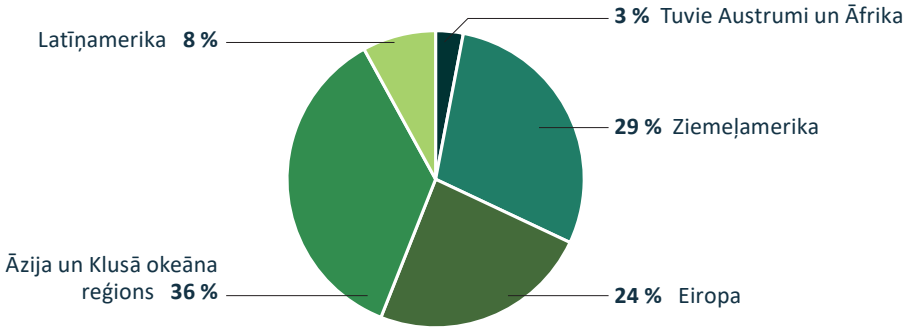
2.2.1. Ražošana

2024. gadā globālā ūdeņraža ražošana sasniedza aptuveni 97 Mt. Joprojām absolūtais vairums – vairāk nekā 99 % – tiek ražots no fosilajiem energoresursiem, izmantojot metāna tvaika riformēšanu vai ogļu gazifikāciju. Tikai aptuveni 1 Mt ūdeņraža tiek uzskatīts par zema oglekļa emisiju – ar CO_2 uztveršanu vai elektrolīzes ceļā ražots, izmantojot atjaunīgo enerģiju.

Lai gan zaļais ūdeņradis aizņem niecīgu daļu no pasaules ūdeņraža kopapjoma, tā ražošanas jauda pieaug. Uzstādīto elektrolīzes iekārtu summārā jauda pasaulē līdz 2024. gada beigām sasniedza aptuveni 5 GW.

Savukārt ES 2024. gadā tika saražoti aptuveni 8 Mt ūdeņraža. Lielākā daļa joprojām tika iegūta no fosilajiem avotiem, ar minimālu CO_2 uztveršanas tehnoloģiju lietojumu. Tikai neliela daļa – daži desmiti tūkstoši tonnu – tika saražota, izmantojot elektrolīzi, un tikai daži tūkstoši tonnu – izmantojot *CCS*. Tādējādi arī Eiropā zaļais ūdeņradis 2024. gadā nepārsniedza 1 % no kopējā ražošanas apjoma.

Lielākie ūdeņraža ražotāji pasaulē pērn bija Ķīna, ASV un Krievija, kopā saražojot vairāk nekā pusi no visa ūdeņraža. Eiropas mērogā vadošās valstis bija Nīderlande, Vācija, Beļģija un Francija, kas kopā veidoja būtisku daļu no kontinenta ūdeņraža piedāvājuma. Šajās valstīs arī visaktīvāk tika attīstīti elektroķīmiskās ražošanas un zaļā ūdeņraža pilotprojekti. 6.5. attēlā redzams pasaules ūdeņraža tirgus procentuālais sadalījums pa pasaules reģioniem 2024. gadā.

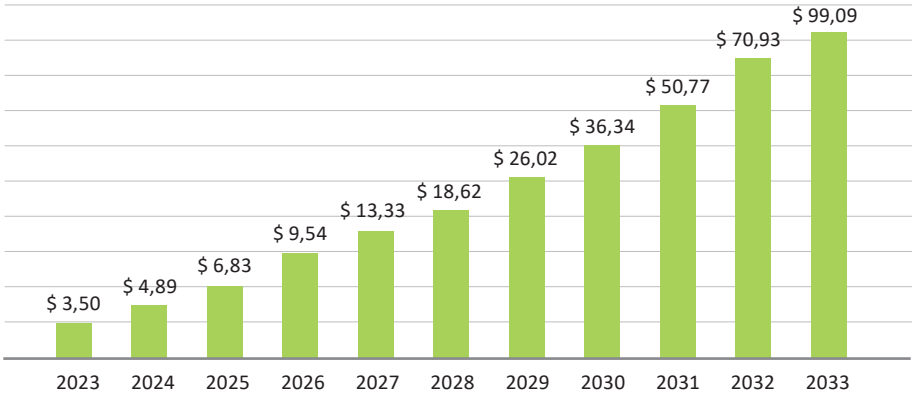


6.5. attēls. **Pasaules ūdeņraža tirgus procentuālais sadalījums** (pa reģioniem, 2024. gads) (Precedence Research, 2025).

ES tika aktīvi virzīta zaļā ūdeņraža stratēģija, kuras mērķis ir līdz 2030. gadam sasniegt 10 Mt zaļā ūdeņraža ražošanu. Tomēr 2024. gadā tika secināts, ka pastāvošais progress ir nepietiekams, lai šos mērķus sasniegtu, ņemot vērā zemās investīciju pieplūdes, tehniskos šķēršļus un lēnu pieprasījuma veidošanos tirgū.

Ūdeņraža ražošanas tirgus vērtība 2024. gadā nedaudz saruka, neskatoties uz pieaugošo ražošanas apjomu. Tas skaidrojams ar spiedienu uz izmaksu samazināšanu un konkurences pieaugumu atjaunīgo energoresursu tirgū. Vienlaikus Eiropā ūdeņraža cenu regulējums un valsts subsīdijas stimulēja pilotprojektus, bet vēl nebija izveidots ilgtspējīgs tirgus mehānisms industrijas paplašināšanai.

6.6. attēlā apkopotas zaļā ūdeņraža globālās tirgus daļas vērtības paredzamā dinamika laika posmā no 2023. līdz 2033. gadam.



6.6. attēls. **Zaļā ūdeņraža globālās tirgus daļas vērtības dinamika (milj. USD, 2023.–2033. g.)** (Green hydrogen market, 2025).

Ūdeņraža izmantošana 2024. gadā joprojām galvenokārt tika koncentrēta ķīmiskajā rūpniecībā – amonjaka ražošanā un naftas pārstrādē. Transporta sektors veidoja mazāk nekā 1 % no patēriņa, taču šis segments uzrādīja pieaugošu interesi, īpaši smagā komerctransporta un dzelzceļa segmentos.

Lai gan tehnoloģiskie risinājumi ūdeņraža ražošanai kļūst efektīvāki un drošāki, problēmas saistībā ar izmaksām, ūdeņraža uzglabāšanu, sadali un galapatēriņu joprojām kavē tirgus izaugsmi. Tiek uzsvērts, ka, lai veidotu ilgtspējīgu ūdeņraža ekonomiku, ir nepieciešams koordinēts regulējums, subsīdiju mehānismi, pieprasījuma stimulēšana un pārrobežu infrastruktūras attīstība.

Kā redzams 6.3. tabulā, pašlaik ar *HFCV* iegādi un ekspluatāciju saistītās izmaksas ir ievērojami augstākas nekā transportlīdzekļiem ar standarta iekšdedzes dzinēju vai elektroautomobiļiem. To lielā mērā nosaka degvielas šūnu sistēmu izmaksas un augstās ūdeņraža degviela cenas, kas savukārt izriet no augstajām zaļā ūdeņraža ražošanas, uzglabāšanas un transportēšanas izmaksām.

6.3. tabula

Salīdzinošās *HFCV*, elektroautomobiļu un iekšdedzes dzinēja automobiļu iegādes un ekspluatācijas izmaksas

Izmaksu pozīcija	*HFCV*	Elektro-automobilis	Iekšdedzes dzinēja automobilis
Iegādes cena (jauns automobilis, vid. klase), EUR	55 000–70 000	35 000–50 000	25 000–35 000
Degvielas/uzlādes izmaksas (EUR/100 km)	8–12	2–4	9–13
Nobraukums ar pilnu tvertni/uzlādi (km)	500–700	300–500	600–800
Uzpildes/uzlādes ilgums, min.	3–5	30–90	3–5
Apkope (EUR/gadā)	400–600	200–400	500–800
Akumulatora/degvielas šūnas nomaiņa (aptuveni ik 10 gados), EUR	6000–10 000	4000–8000	-
CO_2 emisijas ekspluatācijā, g/km	0 (ja zaļais ūdeņradis)	0 (ja izmanto AER)	100–180
Infrastruktūras pieejamība (uzlāde/uzpilde)	Zema	Vidēja	Ļoti augsta
Remontu sarežģītība	Augsta – specializēta	Vidēja – specifiski komponenti	Zema – plaša pieejamība

Arī ūdeņraža ražošana degvielas šūnu transportlīdzekļiem rada izaicinājumus gan izmaksu un energoefektivitātes, gan ietekmes uz vidi ziņā. Pašlaik visizplatītākā

ūdeņraža ražošanas metode ir *SMR*, kuras pamatā ir dabasgāze kā izejviela (Kannah et al., 2021; Younas et al., 2022). Šis process rada ievērojamas CO_2 emisijas (8–10 kg uz 1 kg saražotā ūdeņraža), kas negatīvi ietekmē degvielas šūnu transportlīdzekļu ieguvumus vides jomā. Ir ļoti svarīgi izstrādāt un izvērst ilgtspējīgas mazoglekļa ūdeņraža ražošanas metodes, piemēram, elektrolīzi, izmantojot atjaunīgos energoresursus, bet pašlaik šis process vēl joprojām saskaras ar problēmām izmaksu un mērogojamības ziņā (Thyssenkrupp, n. d.; Léon et al., 2021).

Elektrolīzes ceļā iegūta ūdeņraža izmaksas ES 2025. gadā svārstās no 4,4 EUR/kg līdz 12,4 EUR/kg, ja ņem vērā piegādes un degvielas uzpildes stacijas izmaksas. Savukārt tradicionālā ūdeņraža ražošana no dabasgāzes izmaksā aptuveni 3,7 EUR/kg. *SMR* process ietver metāna reakciju ar tvaiku, kā rezultātā veidojas ūdeņradis un CO_2. Šī procesa emisijas ir tieši proporcionālas izmantotās dabasgāzes oglekļa saturam (Hydrogen Newsletter, 2023).

Eiropā, no kurienes nāk ap 21 % no visa pasaulē saražotā ūdeņraža, tā ražošanā joprojām lielā mērā dominē fosilais kurināmais. 94 % ūdeņraža tiek saražoti no fosilā kurināmā, no kuriem 54% iegūst no dabasgāzes, 31 % – no naftas un 9 % – no oglēm (IHSMarkit, n. d.; Madadi Avargani et al., 2022). Tomēr Eiropa cenšas ieviest "tīrākus" ūdeņraža ražošanas avotus, kuros liela nozīme būtu ūdens elektrolīzei, taču šis process nav pietiekami ātrs, lai īsā laikā izkonkurētu ūdeņraža ražošanu no fosilajiem avotiem.

2.2.2. Efektivitāte un drošums

Ūdeņradis, kas ir viegli uzliesmojoša gāze, rada bažas par drošību saistībā ar uzglabāšanu, pārkraušanu un degvielas uzpildi. Lai gan *HFCV* veic stingru drošuma testēšanu, un tie ir aprīkoti ar vairākiem drošības elementiem, joprojām pastāv bažas par noplūžu iespējamību, ūdeņraža reakciju dažādos avāriju gadījumos un atbildīgo dienestu spēju rīkoties ārkārtas situācijās. Lai risinātu šīs problēmas, ir svarīgi ieviest stingru drošības regulējumu, kā arī paaugstināt sabiedrības informētības līmeni (Dai et al., 2024; Park et al., 2023).

Ūdeņradis ir ļoti viegls, caurspīdīgs un elements bez garšas un smaržas, kas uzliesmo plašā koncentrācijas diapazonā gaisā – no 4 % līdz 75 % (salīdzinājumam – dabasgāzei 5–15 %). Tā aizdegšanās temperatūra ir salīdzinoši zema (ap 560 °C), bet aizdegšanās enerģija – ļoti niecīga (ap 0,02 mJ), kas padara to uzņēmīgu pret statiskās elektrības vai dzirksteļu ietekmi. Tāpat ūdeņradim piemīt augsta difūzijas spēja, jo tas spēj ļoti ātri izplesties vidē, kas vienlaikus samazina eksplozijas spēku slēgtā telpā, bet arī paaugstina noplūdes risku.

Ūdeņraža uzpildes infrastruktūru un *FCEV* transportlīdzekļus projektē, ievērojot vairākus starptautiskus standartus, tostarp ISO 19880 (ISO 19880-1:2020, 2020) un EC79/2009 (Regulation 79/2009, 2009), kas nosaka konstrukcijas, testēšanas un darbības prasības. Ūdeņradi uzpilda *FCEV* tvertnēs ar augstu spiedienu – parasti 350 vai 700 bāru. Tvertnes ir izgatavotas no kompozītmateriāliem ar metāla slāņiem un aprīkotas ar termiskajiem drošības vārstiem, spiediena regulatoriem un eksplozijas

diskiem, kas aktivizējas ārkārtas situācijās. Visi uzpildes vārsti ir aprīkoti ar automātisko slēgšanu un noplūdes detektoriem.

FCEV izmanto vairākus drošības līmeņus, tostarp ūdeņraža sensoru sistēmas, automātisku padeves pārtraukšanu noplūdes gadījumā, pretuguns barjeras, spiediena kontroli reāllaikā un ārkārtas iztukšošanas mehānismus. Automobiļus testē ekstremālos apstākļos (trieciena testi, ugunsgrēki, vibrācijas), lai nodrošinātu, ka ūdeņradis nerada papildu risku salīdzinājumā ar tradicionālajām degvielām. Pētījumi liecina, ka *FCEV* kopumā ir līdzvērtīgi vai pat drošāki par benzīna vai dīzeļdegvielas automobiļiem ugunsgrēka situācijās, jo ūdeņradis uzliesmo vertikāli un ļoti ātri izkliedējas (Hassan et al., 2023).

Uzpildes stacijās ūdeņradi uzglabā augstspiediena tvertnēs vai sašķidrinātā veidā un izmanto vairākas sensoru un vadības sistēmas, kas nepārtraukti uzrauga spiedienu, temperatūru, gāzu koncentrāciju un noplūdes. Visi uzpildes procesi tiek automatizēti, un lietotājs netiek pakļauts tiešai saskarsmei ar gāzi. Stacijām jābūt aprīkotām ar eksplozijas drošām zonām, aizsardzības barjerām, ventilācijas iekārtām un ugunsdzēsības sistēmām (inerto gāzu dzēšana) (Genovese et al., 2024).

Ūdeņradis deg ar gaiši zilu, gandrīz neredzamu liesmu, kas apgrūtina ūdeņraža ugunsgrēku redzamību dienas gaismā (Giacomazzi et al., 2023) Ūdeņraža sadedzināšana nerada CO_2 un sēra savienojumu emisijas. Noteiktos apstākļos tas var radīt slāpekļa oksīdu emisijas (Douglas et al., 2022; US Department of Energy, n. d.).

Papildu izaicinājums ūdeņraža drošībai ir arī materiālu integritātes ilgtermiņa problēmas, jo ūdeņradis var izraisīt cauruļvadu un citu pārvades, sadales vai uzglabāšanas sistēmu metāla trauslumu (*hydrogen embrittlement*). Tāpēc ūdeņraža sistēmās izmanto specifiskus sakausējumus vai polimērus, kuriem ir augsta trausluma noturība (Jansons et al., 2022; Jansons et al., 2024). Visi ūdeņraža transportēšanas un uzglabāšanas komponenti tiek pārbaudīti cikliski, lai novērstu strukturālas kļūmes.

2.3. Transportlīdzekļu daudzveidības ierobežojumi un konkurence tirgū

Pašlaik ES vieglo automobiļu tirgū ir pieejami vai drīzumā ienāks tikai daži *HFCV* modeļi – galvenokārt *Toyota*, *Hyundai*, *Honda*, *BMW* un specializēta jaunpienācēja *NamX* modeļi. Lai gan veiktspēja un nobraukums spēj konkurēt ar elektroautomobiļiem, ierobežota degvielas uzpildes infrastruktūra, augstās transportlīdzekļu izmaksas un infrastruktūras trūkums joprojām ierobežo plašāku ieviešanu. Ar ūdeņradi darbināmu vieglo kravas automobiļu parki un autobusi Eiropā joprojām ir plašāk izmantoti nekā pasažieru transportlīdzekļi.

6.4. tabulā apkopoti pamata dati par *HFCV* modeļiem, kas šobrīd pieejami vai drīz būs pieejami ES tirgū.

6.4. tabula

***HFCV* modeļi, kas šobrīd pieejami vai drīz būs pieejami ES tirgū** (BBC Research, 2022)

Modelis	Jauda/nobraukums	Tirgus cena (EUR), *progn.	Piezīmes
Toyota Mirai (*2nd Gen*)	~128 kW; ~650 km	66 000–72 000	Sedans; viens no visplašāk izmantotajiem pasažieru *HFCV* Eiropā
Hyundai Nexo	~120 kW; ~666 km	78 000–81 000	Apvidus automobilis; turpina ražošanu; *Hyundai* flagmanis *FCEV* jomā
Honda CR V E:FCEV	~130 kW; ~435 km	Vēl nav noteikta	*Plug-in* iespējas; drīzumā būs pieejams Eiropas tirgos
BMW iX5 Hydrogen	~125 kW; ~500 km	Vēl nav noteikta	Ierobežotas sērijas modelis, kura pamatā ir *iX SUV*
NamX HUV	~220–404 kW; ~800 km (maināmi baloni)	65 000–95 000	*Premium* klases apvidus automobilis ar inovatīvu modulāru ūdeņraža balonu sistēmu

Toyota Mirai un *Hyundai Nexo* ir visnobriedušākie un visplašāk pieejamie pasažieru *FCEV* Eiropā, piedāvājot lielu nobraukumu (ap 650–666 km), ātru degvielas uzpildi un pārbaudītu veiktspēju. *Honda CR-V E:FCEV,* kas Kalifornijā un Japānā tirdzniecībā nonāca 2024. gada beigās, orientējas uz zemākām cenām (ap 55 500 EUR) un mērenu nobraukumu (ap 435 km), lai piesaistītu plašākus tirgus segmentus. Savukārt *BMW iX5 Hydrogen* sākotnējā pieejamība Eiropā būs ierobežota, tas koncentrēts uz augstas klases ūdeņraža tehnoloģiju izmēģinājuma izstrādi luksusa apvidus automobiļa formā. Arī tirgus jaunpienācējs *NamX HUV*, kas debitēs 2025. gadā, pārstāv jaunu kategoriju: augstākās klases ūdeņraža krosoverus ar maināmām ūdeņraža tvertnēm un palielinātu nobraukumu (ap 800 km) (New NamX, 2022).

Neskatoties uz nozares interesi, *FCEV* tirgus ienākšana ES joprojām ir neliela. Saskaņā ar Eiropas Automobiļu ražotāju asociācijas datiem 2024. gadā *FCEV* veidoja mazāk nekā 0,01 % no visām jauno vieglo automobiļu reģistrācijām. Visā ES tika pārdoti mazāk nekā 1200 jauni *FCEV,* un lielākā daļa no tiem reģistrēti Vācijā, Nīderlandē un Ziemeļvalstīs.

Turpretī elektroautomobiļi tajā pašā laika posmā veidoja vairāk nekā 15 % no jauno automobiļu reģistrācijām, pateicoties spēcīgākai infrastruktūrai, subsīdijām un modeļu daudzveidībai. Ierobežotais ūdeņraža uzpildes staciju skaits – mazāk

nekā 300 visā ES – joprojām ir būtisks šķērslis šāda veida tranportlīdzekļu skaita pieaugumam.

Vēl viena būtisks izaicinājums, ar ko saskaras *HFCV,* ir konkurence ar elektroautomobiļiem, kas pašlaik ir sacensības par "tīru" transportu priekšgalā. Šo tirgus segmentu raksturo labāka patērētāju informētība, attīstītāka uzlādes infrastruktūra un strauji pilnveidotas akumulatoru tehnoloģijas, kā rezultātā ievērojami ir samazinājušās elektroautomobiļu izmaksas un uzlabojies nobraukums. Salīdzinājumam līdz 2024. gadam Kalifornijas štatā ASV ir pieejami 70 elektroautomobiļu modeļi (Coltura, 2025), un nākamajos 15 gados paredzams, ka to skaits eksponenciāli pieaugs un pārsniegs 200.

No inženiertehniskā viedokļa *FCEV* piedāvā priekšrocības ātras degvielas uzpildes, veiktspējas aukstā laikā un liela attāluma darbības ziņā. Tomēr kopējo īpašumtiesību izmaksu (*TCO*) modeļi konsekventi liecina, ka elektroautomobiļi pašreizējos apstākļos vidusmēra patērētājam ir ekonomiski izdevīgāki (sk. 6.4. tabulu). Lai *FCEV* konkurētspēja ar elektroautomobiļiem palielinātos, ūdeņraža cenām jābūt zemākām par 4 EUR/kg un transportlīdzekļu izmaksām jābūt tuvu 40 000 EUR.

3. Nākotnes attīstības tendences

FCEV pasažieru automobiļu kategorijā ES pilsētās tuvākajās desmitgadēs saskarsies ar gan izaicinājumiem, gan specifiskām izaugsmes iespējām. Šobrīd, 21. gadsimta divdesmito gadu vidū, to izplatība pilsētu satiksmē ir niecīga, galvenokārt koncentrēta pilotprojektos vai publiskajos autoparkos (piemēram, taksometru pakalpojumi Parīzē, Hamburgā vai Kopenhāgenā) (Hydrogen Europa, 2025; Toyota, 2021). Tehnoloģiskās priekšrocības, piemēram, ātra uzpilde, nulles SEG emisijas un augsts nobraukums, teorētiski padara *FCEV* piemērotu pilsētu mobilitātei, īpaši tur, kur nepieciešama transportlīdzekļu ātra atgriešanās ekspluatācijā, piemēram, koplietošanas vai operatīvo dienestu autoparkos.

Tomēr *FCEV* plašāku ienākšanu pilsētās šobrīd ierobežo augstās ūdeņraža ražošanas un piegādes izmaksas, ierobežots modeļu klāsts, kā arī infrastruktūras trūkums.

Līdz 2024. gadam lielākajā daļā Eiropas pilsētu nebija atvērta neviena publiskas ūdeņraža uzpildes stacija, bet tur, kur šādas stacijas darbojās, piemēram, Berlīnē, Amsterdamā, tās pārsvarā apkalpoja komerctransportu (H2 MOBILITY, 2023). Tā kā ES pilsētas arvien aktīvāk nosaka emisiju ierobežojumus un paplašina zemu emisiju zonas, *FCEV* piedāvā potenciālu alternatīvu elektroautomobiļiem gadījumos, kad nepieciešama lielāka mobilitātes elastība vai ātrums.

Paredzams, ka *FCEV* pilsētās iegūs vietu nišas tirgos, tostarp taksometru pakalpojumos, dalītās mobilitātes platformās un pašvaldību autoparkos. Arī Eiropas Zaļā kursa un valstu ūdeņraža stratēģiju ietvaros paredzēts stimulēt ūdeņraža uzpildes tīkla attīstību stratēģiskajos punktos (transporta mezgli, lidostas, loģistikas centri), kas var ļautu veidot savienotu ūdeņraža loģistikas infrastruktūru pilsētvidei (Riga Airport, 2023).

Tajā pašā laikā, ņemot vērā elektroautomobiļu tehnoloģiju straujo izaugsmi, pilsētvidē *FCEV* konkurēs ar šo labāk nostiprināto un lētāko alternatīvu. Tāpēc *FCEV* attīstība būs jēgpilna galvenokārt specializētos lietojumos, kur nepieciešamas īpašas darbības prasības, kurās elektroautomobiļi vēl nevar nodrošināt efektīvu darbību (piemēram, 24/7 transporta cikli bez ilgas uzlādes pauzes).

Aplūkojot gan pilsētu, gan tālsatiksmes transporta nozares, *FCEV* lielas kravnesības transportlīdzekļi 2030. gadā būs visizplatītākais ūdeņraža lietojums transportā. Lai gan ūdeņraža smago kravas automobiļu tirgus būs daudz mazāks nekā Ķīnā, Eiropai joprojām būs lielāka ietekme uz šo nozari kā transporta dekarbonizācijas ceļu. Pētījumā lēsts, ka līdz 2030. gadam Eiropā kopumā ekspluatācijā būs līdz 45 000 lielas kravnesības ūdeņraža automobiļu (Interact Analysis, 2023).

Tomēr prognozējams, ka pilsētu teritorijas būs atvērts tirgus arvien plašākai *FCEV* izplatībai. Galvenokārt tas attiecas uz pilsētu un pilsētu aglomerāciju sabiedriskā un pašvaldību transporta nozarēm. Jau tagad aptuveni 25 % no ES vidējas un lielas kravnesības ūdeņraža kravas automobiļiem tiek izmantoti sadzīves vajadzībām, proti, sadzīves atkritumu savākšanai. Vācijā vien laika posmā no 2017. līdz 2021. gadam valdība ir atbalstījusi ūdeņraža mobilitātes tirgus aktivizēšanu, ieguldot 354 miljonus EUR, no kuriem 30 % tika ieguldīti projektos 146 *FCEV* kravas automobiļu un 22 *FCEV* ceļu slaucītāju iegādei (Fuelcells, 2024). Vācijas federālā zeme Ziemeļreina-Vestfālene, kurā līdz šim ir visvairāk ūdeņraža staciju, ir noteikusi mērķi līdz 2030. gadam sasniegt 11 000 *FCEV* kravas automobiļu un pašvaldības transportlīdzekļu ar kravnesību virs 20 tonnām skaitu (Autovista24, 2020).

Vairākās citās ES valstīs, piemēram, Nīderlandē, Spānijā un Čehijā, ir izvērsti vērienīgi *FCEV* ieviešanas plāni. Nīderlandē ir noteikts mērķrādītājs ūdeņraža transporta nozares attīstībai, tostarp 3000 *FCEV* lielas kravnesības transportlīdzekļiem līdz 2025. gadam, savukārt Spānijai līdz 2030. gadam ir jāsasniedz vairāk nekā 5000 *FCEV* kravas automobiļu. Čehijas Republikā plānos ir iekļauta prognoze par ūdeņraža patēriņu nākotnē transporta nozarē, tostarp 4000 *FCEV* kravas automobiļos līdz 2030. gadam, bet Itālijā 2 % lielas kravnesības kravas automobiļu līdz tam pašam datumam tiks darbināti ar ūdeņraža degvielas elementu tehnoloģiju (Interact Analysis, 2023).

FCEV vieglo automobiļu nozares dinamiku ES ir diezgan grūti prognozēt. Paredzams, ka to apjoma pieaugums būs cieši saistīts gan ar degvielas uzpildes infrastruktūras attīstību, gan ar piekļuvi daudzveidīgākam automobiļu modeļu klāstam, gan ar finansiāliem stimuliem.

Secinājumi

Veiktā analīze parāda, ka ūdeņraža tehnoloģijas transporta sektorā piedāvā nozīmīgu potenciālu ilgtspējīgas mobilitātes attīstībai, īpaši apvienojot zemu emisiju ieguvumus ar iespējām nodrošināt augstas veiktspējas un ilgtermiņa mobilitāti. *FCEV* spēj apvienot iekšdedzes dzinēju priekšrocības, piemēram, ātru uzpildi un garu

nobraukumu, ar bezemisiju transportlīdzekļu galveno priekšrocību – tīru ekspluatāciju. Tomēr to praktiska ieviešana joprojām sastopas ar būtiskiem izaicinājumiem, kas šobrīd ierobežo tehnoloģijas konkurētspēju.

Pētījums apliecina, ka ūdeņraža tehnoloģijas ieviešana vieglajā autotransportā ES tuvākajā desmitgadē notiks tikai ierobežotā apjomā un galvenokārt nišas sektoros, kur akumulatoru elektroautomobiļi nav tehniski piemēroti vai ir ierobežoti ekspluatācijā. *FCEV* transportlīdzekļi var kļūt īpaši nozīmīgi maršrutos ar lielu dienas nobraukumu, augstām intensitātes prasībām vai nepieciešamību pēc biežas, bet ātras degvielas papildināšanas. Šādos apstākļos akumulatoru uzlādes infrastruktūra var būt pārāk noslogota vai neefektīva, savukārt ūdeņraža uzpilde piedāvā loģistikas priekšrocības.

Tomēr iegādes un ekspluatācijas izmaksas joprojām ir viens no galvenajiem ūdeņraža transporta izplatības šķēršļiem. Transportlīdzekļu iegādes cena ievērojami pārsniedz elektroautomobiļu un iekšdedzes dzinēju automobiļu izmaksas, savukārt ūdeņraža cena uzpildes stacijās saglabājas augsta, nereti vairāk nekā divkārt pārsniedzot akumulatoru uzlādes izmaksas uz vienu kilometru. Turklāt ūdeņraža ražošanas un loģistikas izmaksas ir atkarīgas no energoresursu cenas un ražošanas veida – īpaši, ja mērķis ir zaļā ūdeņraža ieviešana, kas ir videi visdraudzīgākais, bet tehnoloģiski un ekonomiski vissarežģītākais variants.

Faktiski ūdeņraža transporta izrāviens Eiropā ir iespējams vienīgi tad, ja tiek izveidots pietiekami blīvs un ģeogrāfiski sabalansēts ūdeņraža uzpildes staciju tīkls. Pašlaik infrastruktūra ir ļoti koncentrēta dažās dalībvalstīs, īpaši Vācijā un Nīderlandē, bet citur tā vai nu vēl nav pieejama, vai ir ierobežota tikai pilotprojektiem. Šāda nevienmērība ierobežo gan lietotāju izvēli, gan ražotāju motivāciju tirgū piedāvāt jaunus modeļus.

Vēl viens būtisks aspekts ir normatīvā un finanšu politika. Ūdeņraža transportlīdzekļu izplatības veicināšana prasa stabilu un ilgtermiņa politisko atbalstu. Lai gan ES līmenī tiek noteikti ambiciozi mērķi attiecībā uz zaļo ūdeņradi un tā izmantošanu transportā, to īstenošana nacionālā līmenī nereti saskaras ar aizkavēšanos vai nepietiekamu finansējumu. Nepieciešami īpaši stimuli lietotājiem, ražotājiem un infrastruktūras nodrošinātājiem, lai veicinātu investīcijas un mazinātu komerciālos riskus.

Pētījuma rezultāti arī rāda, ka salīdzinājumā ar elektroautomobiļiem, ūdeņradis nav ideāli piemērots visiem lietotāju profiliem. Elektroautomobiļi saglabās dominējošo pozīciju pilsētu un reģionālajā mobilitātē, pateicoties zemākām ekspluatācijas izmaksām, pieejamai infrastruktūrai un aktīvai tirgus attīstībai. Tomēr *FCEV* var ieņemt būtisku vietu tur, kur elektroautomobiļu tehnoloģija ir mazāk efektīva, piemēram, garos maršrutos, zemas temperatūras apstākļos vai intensīvā komerciālā lietojumā.

Līdz ar to var secināt, ka ūdeņraža transporta attīstība ES būs iespējama tikai kā daļa no daudzveidīgas tehnoloģiju kopuma, kur katra tehnoloģija kalpos konkrētam mērķim un segmentam. Ūdeņradim būs būtiska nozīme transporta elektrifikācijas papildināšanā, nevis aizstāšanā. Lai šo potenciālu pilnvērtīgi izmantotu, būs nepieciešama gan politiska konsekvence, gan tehnoloģiskā inovācija, kā arī sabiedrības izpratnes veicināšana par ūdeņraža priekšrocībām un lietošanas iespējām.

Tādējādi ūdeņraža tehnoloģijas nav universāls risinājums, bet gan viena no daudzām perspektīvām ilgtspējīgas mobilitātes tehnoloģiju kopām. Ilgtspējīga ūdeņraža transporta attīstība līdz 2040. gadam ir iespējama, taču tā prasīs koordinētu rīcību visos pārvaldības un inovāciju līmeņos.

Literatūra un avoti

AC Transit. (2022). Zero Emission Transit Bus Technology Analysis. Iegūts no https://drive.google.com/file/d/1nAp22QJtoPcu3U5-hsgCa5mdeMBFs036/view?pli=1.

Aktualizētais Nacionālais enerģētikas un klimata plāns 2021.–2030. gadam. (2024). Iegūts no https://likumi.lv/ta/id/353615-aktualizetais-nacionalais-energetikas-un-klimata-plans-20212030gadam.

Arcos, J., Santos, D. (2023). The Hydrogen Color Spectrum: Techno-Economic Analysis of the Available Technologies for Hydrogen Production. Gases. 3. 25–46. 10.3390/gases3010002.

Autovista 24. (2020). German state announces plans for a hydrogen economy. Iegūts no https://autovista24.autovistagroup.com/news/german-state-announces-plans-hydrogen-economy/#:~:text=By%202030%2C%20NRW%20plans%20for%20over%2011%2C000,make%20the%20state%20a%20leading%20hydrogen%20economy.

BBC Research (2022). Hydrogen Fuel Cell: Global Markets. Iegūts no https://www.bccresearch.com/market-research/energy-and-resources/hydrogen-fuel-cell-market.html.

California Energy Commission. (2025). Hydrogen Vehicles & Refueling Infrastructure. Iegūts no https://www.energy.ca.gov/programs-and-topics/programs/clean-transportation-program/clean-transportation-funding-areas-1.

California's Light-Duty Hydrogen Fueling Faces Setbacks: Station Closures Highlight Grim Outlook, Says CARB Report. (2025) Iegūts no https://fuelcellsworks.com/2025/01/02/fuel-cells/california-s-light-duty-hydrogen-fueling-faces-setbacks-station-closures-highlight-grim-outlook-says-carb-report.

CCFA. (2022). Press kit. Iegūts no https://ccfa.fr/dossiers-de-presse.

CGDD. (2021). Annual Transport Review. Iegūts no https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-annuel-des-transports-en-2020.

Coltura. Electric Car Range and Price Comparison - Updated 2025. (2025). Iegūts no https://coltura.org/electric-car-battery-range/#:~:text=There%20are%20now%20almost%2070,cheapest%20200%20mile%20range%20EV.

Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. (2020). A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe. Iegūts no https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:52020DC0301.

Dai, J., Yang, S., Yang, Y., Fang, Q. (2024). Research on the consequences of hydrogen leakage and explosion accidents of fuel cell vehicles in underground parking garages. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 77, 1296–1306.
https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.06.278.

DOE. Hydrogen Fueling Stations. (2025). Iegūts no
https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen-stations.

Douglas, C., Emerson, B., Lieuwen, T., Martz, T., Steele, R., Noble, B. (2022). NO_x Emissions from Hydrogen-methane Fuel Blends. Iegūts no
https://research.gatech.edu/sites/default/files/inline-files/gt_epri_nox_emission_h2_short_paper.pdf.

Drive Clean. (2025). Iegūts no
https://driveclean.ca.gov/hydrogen-fueling.

EC DG for Climate Action. (2019). Going climate-neutral by 2050. A strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate-neutral EU economy. Iegūts no
https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/92f6d5bc-76bc-11e9-9f05-01aa75ed71a1.

Fuelcells. (2024). RASCO Unveils LYNX 5000 H_2: Hydrogen-Powered Street Sweeper Debuts at Munich's IFAT Fair. Iegūts no
https://fuelcellsworks.com/news/rasco-unveils-lynx-5000-h2-hydrogen-powered-street-sweeper-debuts-at-munichs-ifat-fair.

Genovese, M., Blekhman, D., & Fragiacomo, P. (2024). An Exploration of Safety Measures in Hydrogen Refueling Stations: Delving into Hydrogen Equipment and Technical Performance. *Hydrogen*, 5 (1), 102–122.
https://doi.org/10.3390/hydrogen5010007.

Giacomazzi, E., Troiani, G., Di Nardo, A., Calchetti, G., Cecere, D., Messina, G., & Carpenella, S. (2023). Hydrogen Combustion: Features and Barriers to Its Exploitation in the Energy Transition. *Energies*, 16 (20), 7174.
https://doi.org/10.3390/en16207174.

Green hydrogen market. (2025.) Iegūts no
https://www.novaoneadvisor.com/report/green-hydrogen-market.

Hassan, Q., Azzawi, I. D. J., Sameen, A. Z., & Salman, H. M. (2023). Hydrogen Fuel Cell Vehicles: Opportunities and Challenges. *Sustainability*, 15 (15), 11501.
https://doi.org/10.3390/su151511501.

HRS Availability Map. (2025). Iegūts no
https://h2-map.eu/.

Hydrogen Europa. (2025). Hydrogen-powered taxis boost sustainability in Paris. Iegūts no
https://hydrogeneurope.eu/hydrogen-powered-taxis-boost-sustainability-in-paris/.

Hydrogen Newsletter. (2023). GH2 Facts: CO_2 emissions per kg of hydrogen depending on the method of production. Iegūts no
https://www.hydrogennewsletter.com/gh2-facts/.

IEA. (2022). Global Hydrogen Review 2022. Iegūts no
https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022.

IEA. (2023). Global Hydrogen Review 2023. Iegūts no
https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2023.

IHSMarkit. (n. d.). Current Situation of Hydrogen Energy Development in Europe and Its Enlightenment to China. Iegūts no
http://www.sohu.com/a/326195088_99964894.

Interact Analysis. (2023). In 2030, over 45000 heavy trucks will run on hydrogen in Europe. Iegūts no
https://interactanalysis.com/insight/in-2030-over-45000-heavy-trucks-will-run-on-hydrogen-in-europe/.

ISO 19880-1:2020 Gaseous hydrogen – Fuelling stations. Part 1: General requirements. Iegūts no
https://www.iso.org/standard/71940.html.

Isotopes of Hydrogen (2000). Iegūts no
https://www2.lbl.gov/abc/wallchart/chapters/02/3.html.

Jansons, L., Siliņa, J., Bode, I., Zemīte, L., Zeltiņš, N., Palkova, K. Injection of Renewables Gases Into the Existing Gas Distribution Grids and Employment of Reverse Gas Flow Technique. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2024, Vol. 61, No. 2, pp. 66–79. ISSN 0868-8257. e-ISSN 2255-8896.
http://doi.org.10.2478/lpts-2024-0013.

Jansons, L., Zemīte, L., Zeltiņš, N., Bode, I., Geipele, I., Kiesners, K. The Green Hydrogen and the EU Gaseous Fuel Diversification Risks. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, 2022, Vol. 59, No. 4, pp. 53–70. ISSN 0868-8257. e-ISSN 2255-8896.
http://doi.org.10.2478/lpts-2022-0033.

Kannah, R.Y., Kavitha, S., Karthikeyan, O.P., Kumar, G., Dai-Viet, N.V., Banu, J.R. (2021). Techno-economic assessment of various hydrogen production methods – A review. *Bioresour. Technol.* 319, 124175.
https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124175.

Léon, A., Micero, A., Ludwig, B., Brisse, A. (2021). Effect of scaling-up on the performance and degradation of long-term operated electrolyte-supported solid oxide cell, stack and module in electrolysis mode. *Journal of Power Sources*. Volume 510, 230346.
https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.230346.

Libretexts. (n. a.). *Isotopes of Hydrogen*. Iegūts no
https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Map%3A_Inorganic_Chemistry_(Housecroft)/10%3A_Hydrogen/10.03%3A_Isotopes_of_Hydrogen.

Madadi Avargani, V., Zendehboudi, S., Cata Saady, N. M., Dusseault, M. B. (2022). A comprehensive review on hydrogen production and utilization in North America: Prospects and challenges. *Energy Conversion and Management*, 269, 115927,
https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115927.

Mansouri, N., Mnassri, A., Nasri, S., Ali, M., Lashab, A., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2025). Control and Optimization of Hydrogen Hybrid Electric Vehicles Using GPS-Based Speed Estimation. *Electronics*, 14 (1), 110.
https://doi.org/10.3390/electronics14010110.

New NamX HUV revealed with removable hydrogen capsules. (2022). Iegūts no
https://www.moveelectric.com/e-cars/new-namx-huv-revealed-removable-hydrogen-capsules.

Ocenic, E., Tantau, A. (2023). Redefining the Hydrogen "Colours" based on Carbon Dioxide Emissions: A New Evidence-Based Colour Code. *Proceedings of the International Conference on Business Excellence*. 17. 111–121. 10.2478/picbe-2023-0013.

Origin of Elements (2000). Iegūts no
https://www2.lbl.gov/abc/wallchart/chapters/10/0.html.

Park, B., Kim, Y., Park, J. O., Lim, O. K. (2023). Jet Flame Risk Analysis for Safe Response to Hydrogen Vehicle Accidents. *Sustainability*. 15(13):9884.
https://doi.org/10.3390/su15139884.

Par Transporta attīstības pamatnostādnēm 2021.–2027. gadam. (2021). Iegūts no
https://likumi.lv/ta/id/327053-par-transporta-attistibas-pamatnostadnem-2021-2027-gadam.

Precedence Research. (2025). Hydrogen Market Size, Share and Trends 2025 to 2034. Iegūts no
https://www.precedenceresearch.com/hydrogen-market.

Regulation (EU) 2023/1804 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on the deployment of alternative fuels infrastructure, and repealing Directive 2014/94/EU. Iegūts no
https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1804/oj/eng.

Regulation (EC) No 79/2009 of the European Parliament and of the Council of 14 January 2009 on type-approval of hydrogen-powered motor vehicles, and amending Directive 2007/46/EC. Iegūts no
https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2009/79/oj/eng.

Riga Airport participates in the European Hydrogen Valley Forum. (2024). Iegūts no
https://www.riga-airport.com/en/news/riga-airport-participates-european-hydrogen-valley-forum.

Rigas Satiksme. (n. a.). Hydrogen filling station. Iegūts no h
ttps://www.rigassatiksme.lv/en/services/hydrogen-filling-station/.

Sierens, R., Verhelst, S. (2004). Hydrogen fuelled internal combustion engines. Iegūts no
https://www.researchgate.net/publication/229014362_Hydrogen_fuelled_internal_combustion_engines.

The H_2 MOBILITY Deutschland hydrogen station at the Shell filling station Tempelhofer Weg 102. (2023). Iegūts no
https://h2.live/en/press/h2-mobility-hydrogen-filling-station-opened-at-tempelhofer-weg-in-berlin/.

Thyssenkrupp. (n. d.). Large-scale water electrolysis for green hydrogen production. Iegūts no https://ucpcdn.thyssenkrupp.com/_binary/UCPthyssenkruppBAISUhdeChlorineEngineers/en/products/water-electrolysis-hydrogen-production/210622-gH2-product-brochure.pdf.

Toyota. (2021). 100 hydrogen taxis on the roads in Copenhagen. Iegūts no https://www.toyota-europe.com/news/2021/toyota-and-drivr-put-100-h2-taxis.

US Department of Energy. (n. d.). *Hydrogen Production and Distribution*. Iegūts no https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_production.html.

US DOE. (2001). Hydrogen Use in Internal Combustion Engines. Iegūts no https://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/tech_validation/pdfs/fcm03r0.pdf.

US DOE. (2022). AMR Plenary Session, Hydrogen and Fuel Cell Technologies Office.

Younas, M., Shafique, S., Hafeez, A., Javed, F., Rehman, F. (2022). An overview of hydrogen production: Current status, potential, and challenges. *Fuel*, 316, 12331. https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123317.

Zemite, L., Jansons, L., Zeltins, N., Lapuke, S., Bode, I. (2023). Blending Hydrogen With Natural Gas/Biomethane and Transportation in Existing Gas Networks. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*, Volume 60, Issue 5, pp. 43–55. https://doi.org/10.2478/lpts-2023-0030.

7.

Ūdeņraža kravas automobiļu ieviešanas literatūras apskats un modelēšanas pieejas

Pētnieks *Ph. D.* Aleksandrs Kotļars, Rīgas Tehniskā universitāte

Ievads

Straujā dekarbonizācijas dienas kārtība, piegādes ķēžu elektrifikācija un arvien stingrākas emisiju prasības padara kravas pārvadājumu sektoru par vienu no kritiskākajām pārejām uz klimatneitrālu ekonomiku. Šajā kontekstā ūdeņraža (H_2) kravas automobiļi tiek aplūkoti kā potenciāli perspektīvs risinājums tālsatiksmes un augstas noslodzes lietojumos, kuros elektrotransportlīdzekļiem (*BEV* tehnoloģijai) joprojām ir ierobežojumi. Vienlaikus lēmumu pieņemšanu apgrūtina tādi faktori kā ražošanas izmaksu dinamika, uzpildes infrastruktūra, politikas instrumenti, lietošanas profilu daudzveidība un konkurence starp tehnoloģijām, radot augstu nenoteiktību. Šī pētījuma nepieciešamība izriet no vairākiem aspektiem. Pirmkārt, politikas un investīciju plānošanai vajadzīgi empīriski balstīti, modeļos konsekventi salāgoti secinājumi par H_2 konkurētspēju konkrētos lietojumos un tirgos. Otrkārt, pieejamajā modelēšanas literatūrā bieži izmantoti statiskus pieņēmumi un fragmentāri iekļautas uzvedības, telpiskās un finanšu dimensijas, kas noved pie pārlieku optimistiskiem vai pārlieku konservatīviem novērtējumiem. Nepieciešams skatījums, kas apvieno tehnoloģiju, infrastruktūras, politikas un tirgus komponentes vienotā analītiskā ietvarā.

Šī pētījuma galvenais mērķis ir, izmantojot modeļos balstītu literatūras apskatu, sistematizēt pierādījumus par H_2 kravas automobiļu konkurētspēju un ieviešanas nosacījumiem, kā arī ar metodoloģijas apskata palīdzību identificēt modelēšanas pieeju stiprās un vājās puses. Novērtētas tehnoloģiskās efektivitātes robežas, uzpildes infrastruktūras izvēršanas loģika un politisko instrumentu ietekme, vienlaikus fiksējot, kur un kāpēc esošie modeļi visbiežāk kļūdās vai ir nepietiekami. Šis literatūras pētījums tiks izmantots kā pamats turpmākai kvantitatīvai analīzei un politikas scenāriju izstrādei.

Raksta sākumā sniegts modeļos balstīts literatūras apskats par H_2 kravas transportu (tostarp tehnoloģiju, ražošanu, infrastruktūru, politiku un konkurētspēju). Tālāk analizētas modelēšanas metodoloģijas un galvenie pētījumi, kas kalpo par pamatu nākotnes pētījumiem un modelēšanai transporta nozares pārejai uz alternatīviem transporta līdzekļiem. Secinājumos apkopoti atzinumi, atklātas nepilnības un ieteikti nākotnes virzieni.

1. Ūdeņraža kravas automobiļu ieviešanas modeļos balstīts literatūras apskats

Šī nodaļa apkopo galvenos literatūras atzinumus par ūdeņraža kravas transporta ieviešanas tendencēm un problēmām, īpašu uzmanību pievēršot tehnoloģiskajai efektivitātei, valsts atbalsta mehānismiem, ražošanas un infrastruktūras izaicinājumiem, kā arī konkurētspējas aspektiem. Ūdeņraža tehnoloģiju attīstība kravas pārvadājumu sektorā tiek analizēta arvien plašāk, izmantojot modeļos balstītas pieejas, kas ļauj izprast gan ieviešanas barjeras, gan potenciālos ieguvumus. Literatūra norāda, ka šis process ir atkarīgs no vairāku faktoru mijiedarbības: vides prasībām, tehnoloģiskajām inovācijām, ekonomiskajām izmaksām un politikas instrumentiem. Tieši tādēļ sistēmdinamiskie un citi modelēšanas rīki kļūst par būtisku pētniecības metodi, jo tie palīdz atklāt atgriezeniskās saites, prognozēt pieprasījuma attīstību un identificēt scenārijus, kuros ūdeņraža kravas automobiļi varētu kļūt konkurētspējīgi salīdzinājumā ar tradicionālajiem vai akumulatoru elektrotransportlīdzekļiem (*BEV*).

Ūdeņraža kravas automobiļu ieviešanu loģistikā un kravu pārvadājumos nosaka vides, tehnoloģiskie un ekonomiskie faktori. Zinātnieki konsekventi uzsver, ka vides mērķi, īpaši siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju samazināšanas prasības, rada spēcīgu stimulu zema oglekļa satura kravas transporta tehnoloģiju attīstībai (Li et al., 2022; Hannach et al., 2019; Liu et al., 2021). Ūdeņraža kravas automobiļi var samazināt SEG emisijas par 20–45 %, salīdzinot ar dīzeļdegvielas transportu, ar vēl lielāka samazinājuma potenciālu, ja ūdeņradis tiek iegūts no atjaunojamiem energoresursiem (Lee et al., 2018; Lao et al., 2020). Vienlaikus saglabājas būtiski šķēršļi: augstas sākotnējās izmaksas, nepietiekama uzpildes infrastruktūra un konkurence ar akumulatoru elektroautomobiļiem (Ajanovic & Haas, 2020; Lahnaoui et al., 2019; Albatayneh et al., 2023).

Šie kompromisi padara ūdeņraža kā degvielas ieviešanu par sistēmisku jautājumu, kam nepieciešama saskaņota politikas un industrijas rīcība, tādējādi tas ir īpaši piemērots modeļos balstītai atgriezenisko saišu un ieviešanas līkņu izpētei. Turpmāk izskatīti atsevišķi modelēšanai nepieciešamie aspekti.

1.1. Ūdeņraža kravas automobiļu autonomija un efektivitāte un tendences ūdeņraža ražošanā

Ūdeņraža kravas automobiļiem piemīt specifiskas veiktspējas priekšrocības attiecībā uz nobraukuma diapazonu un piemērotību tālsatiksmes pārvadājumiem. Pētījumi liecina, ka ar ūdeņradi darbināmi dzinēji un degvielas šūnas optimizētās sistēmās sasniedz līdz pat 50 % efektivitāti, bet hibridizācija uzlabo vidējo efektivitāti virs 35 % braukšanas ciklā (Boretti, 2020). Turklāt polimēru elektrolīta membrānu degvielas šūnas, kas sākotnēji izstrādātas vieglajiem transportlīdzekļiem, tiek pielāgotas smagsvara lietojumiem, palielinot gan izturību, gan efektivitāti (Cullen et al., 2021). Salīdzinot ar *BEV*, ūdeņraža kravas automobiļi nodrošina lielākus nobraukuma diapazonus (līdz 570 km) ar vienu uzpildi, kamēr *BEV* ar līdzīgu kravnesību sasniedz

200–250 km (Salek et al., 2023). Šī autonomijas priekšrocība padara ūdeņradi konkurētspējīgu tieši kravu pārvadājumu sektoros ar augstu nobraukumu un zemu dīkstāves toleranci.

Ūdeņraža kravas automobiļu konkurētspēja ir cieši saistīta ar ūdeņraža ražošanas attīstību. Izmaksas samazinās, pateicoties elektrolīzes tehnoloģiju uzlabojumiem un integrācijai ar atjaunojamo enerģiju. Prognozes liecina, ka līdz 2050. gadam atjaunojamais ūdeņradis varētu sasniegt 70–80 USD/MWh, padarot to konkurētspējīgu ar fosilo resursu bāzētu ražošanu (Mao et al., 2024). Cietā oksīda elektrolīzes šūnas un citas augstas efektivitātes metodes varētu samazināt izmaksas līdz pat 5 USD/GJ (Jensen et al., 2007). Ģeogrāfiskie faktori ir nozīmīgi, piemēram, Čīlē un Teksasā atjaunojamais ūdeņradis jau tuvojas konkurētspējai nišas tirgos (Glenk & Reichelstein, 2019). Tomēr ūdeņraža cena būtiski atšķiras dažādos kontekstos, to nosaka elektroenerģijas izmaksas, infrastruktūra un izejmateriālu pieejamība (Liu et al., 2023). Ņemot vērā minēto, ražošanas izmaksu samazināšanās ir viens no stūrakmeņiem lielākajā daļā uz nākotni vērstu ieviešanas modeļu.

1.2. Ūdeņraža uzpildes infrastruktūra un citu transportlīdzekļu tipu konkurētspēja

Ūdeņraža uzpildes staciju izvietojums un blīvums tieši ietekmē ieviešanas līknes. Stratēģiska izvietošana gar starppilsētu kravas pārvadājumu koridoriem ir kritiski svarīga, jo tālsatiksmes operatoriem nepieciešama augsta uzticamība un minimāli apvedceļi (Hernandez et al., 2021). Cauruļvadu izmantošanā balstīti ūdeņraža piegādes modeļi nodrošina ilgtermiņa stabilitāti, savukārt ūdeņraža piegāde ar autotransportu ļauj samazināt sākotnējās investīcijas agrīnajā ieviešanas posmā (Yaïci & Longo, 2022). Pētījumi apliecina, ka ieviešana ir cieši saistīta ar divvirzienu atgriezenisko saikni starp infrastruktūras pieejamību un autoparka izplatību (Apostolou & Xydis, 2019; Deng et al., 2024). Tomēr nacionāla mēroga uzpildes staciju tīkla izveide ir finansiāli izaicinoša, ir nepieciešama publiskā un privātā sektora partnerība un inovatīvi finansēšanas modeļi, lai sadalītu risku (Bai & Zhang, 2020). Tādējādi agrīnās infrastruktūras izvēršanas panākumi ir būtiski, lai pārvarētu ieviešanas inerci.

Ūdeņraža kravas automobiļu galvenie konkurenti ir *BEV*, kas šobrīd nodrošina zemākas kopējās uzturēšanas izmaksas, īpaši pilsētu un reģionālajos pārvadājumos, kur nobraukuma prasības ir mērenas (Sacchi et al., 2021; Mu et al., 2024). *BEV* priekšrocība ir strauji progresējošā akumulatoru tehnoloģija un paplašinošā uzlādes infrastruktūra (Albatayneh et al., 2023). Tomēr ūdeņraža kravas automobiļiem saglabājas priekšrocības nobraukuma diapazona un ātrās uzpildes ziņā, kas padara tos pievilcīgus smagsvara un tālsatiksmes pārvadājumos, kur *BEV* ir ierobežojumi (Pardhi et al., 2022). Līdz ar to ūdeņraža relatīvā konkurētspēja nav universāla, bet atkarīga no lietojuma veida, infrastruktūras gatavības un enerģijas izmaksu struktūras. Šī dinamiskā konkurētspēja ir centrālais elements nākotnes ieviešanas ceļu modelēšanā.

1.3. Valsts atbalsta loma un tehnoloģisko attīstību atbalstoši pētījumi

Valsts politika ir viens no noteicošajiem faktoriem ūdeņraža kravas automobiļu ieviešanā. Transportlīdzekļu iegādes subsīdijas un uzpildes staciju izvēršana tieši ietekmē tirgus izplatības tempu, un dinamiskas stimulu shēmas pārspēj statiskās subsīdijas, veicinot ieviešanu (Li et al., 2021). Investīcijas infrastruktūrā tādās valstīs kā Japāna, Dienvidkoreja un Vācija parāda, kā koordinētas stratēģijas var paātrināt izvēršanu (Ball et al., 2007; Stangarone, 2020). Turklāt politikas pasākumi, kas integrē ūdeņraža attīstību ar elektroenerģijas sistēmām, piemēram, telpiski optimizētas subsīdijas vai oglekļa cenu noteikšana, var samazināt gan izmaksas, gan emisijas (Bødal et al., 2020; Scheidt et al., 2021). Bez šāda mērķēta atbalsta ieviešana riskē iestrēgt starp pieprasījumu un infrastruktūru (Apostolou & Xydis, 2019).

Akadēmiskā un industriālā pētniecība turpina stiprināt tehnoloģisko pamatu ūdeņraža kravas transportam. Galvenā uzmanība tiek veltīta degvielas šūnu ilgmūžības uzlabošanai, hibrīddzinēju integrācijas pilnveidošanai un enerģijas vadības sistēmu optimizācijai (Cullen et al., 2021; Gao et al., 2015). Infrastruktūras pētījumi uzsver izmaksu ziņā efektīvu uzpildes sistēmu un optimizētu piegādes ķēžu izstrādi (Emonts et al., 2019; Yaïci & Longo, 2022). Vienlaikus scenāriju modelēšana apliecina, ka agresīva ieviešana var būtiski samazināt emisijas, atbilstot oglekļa neitralitātes saistībām (Liu et al., 2021; Yang et al., 2021). Šie pētniecības sasniegumi atbalsta gan pakāpeniskas izvēršanas stratēģijas, gan ilgtermiņa tehnoloģisko dzīvotspēju.

2. Modelēšanas metodoloģijas apskats

Šīs literatūras apskata daļas mērķis ir kritiski izvērtēt esošos pētījumus, kas veltīti ūdeņraža degvielas šūnu transportlīdzekļu ieviešanas, infrastruktūras plānošanas, energoefektivitātes un tehnoloģiskās modelēšanas jautājumiem, identificējot būtiskākos sasniegumus, metodoloģiskās pieejas un neatrisinātās problēmas. Apkopojot atziņas dažādās tematiskajās jomās, šis apskats cenšas izcelt pētniecības plaisas, novērtēt ūdeņraža konkurētspēju salīdzinājumā ar alternatīvām tehnoloģijām un piedāvāt nākotnes pētniecības virzienus, kas varētu atbalstīt politikas veidošanu un stratēģiskās investīcijas uz ūdeņradi balstītās transporta sistēmās.

Aplūkotie pētījumi par ūdeņraža degvielas šūnu tehnoloģijas modelēšanu transportā klasificējami četrās tematiskajās grupās.

- Tirgus ieviešana un patērētāju uzvedība. Šie pētījumi uzsver uzvedības un politikas faktoru ietekmi uz ūdeņraža transportlīdzekļu pieņemšanu, akcentējot subsīdiju, nodokļu un sabiedrības informēšanas kampaņu nozīmi.
- Infrastruktūras plānošana un optimizācija. Šie darbi pievēršas ūdeņraža uzpildes staciju izvietošanas modeļiem, uzsverot nepieciešamību pēc decentralizētas zaļā ūdeņraža ražošanas, bet bieži pieņemot statisku pieprasījuma pieaugumu.

- Energoefektivitāte un ietekme uz vidi. Šie pētījumi salīdzina ūdeņraža dzīves cikla rezultātus ar akumulatoru elektrotransportlīdzekļiem (*BEV*) un iekšdedzes dzinēju transportlīdzekļiem (*ICE*), atklājot ūdeņraža ilgtspējas jutīgumu pret ražošanas metodēm.
- Tehnoloģiskā attīstība. Šie pētījumi piedāvā uzlabotus optimizācijas ietvarus enerģijas patēriņa un piegādes ķēdes vadībai, taču bieži balstās hipotētiskās izmaksu prognozēs.

Tālāk sniegts galveno pētījumu apskats, uzsverot autoru analizētās problemātikas, izmantotās modelēšanas metodoloģijas, galvenos secinājumus, ierobežojumus un atklātās pētniecības nepilnības.

(Park et al., 2022) pētījumā analizēta nepieciešamā ūdeņraža piegāde transporta tirgum Dienvidkorejā, koncentrējoties uz ūdeņraža degvielas šūnu transportlīdzekļu pieprasījuma prognozēšanu. Galvenā problēma ir tā, ka, lai gan valstī noteikti ambiciozi ūdeņraža ieviešanas mērķi, trūkst atbilstoša, labi izstrādāta ūdeņraža piegādes plāna. Autori izmanto vairākas prognozēšanas metodes (Basa loģistisko un Gomperca difūzijas modeli, kā arī analoģijas metodi), lai novērtētu ūdeņraža pieprasījumu līdz 2040. gadam dažādos ieviešanas scenārijos. Rezultāti rāda, ka ūdeņraža pieprasījums vienā stacijā līdz 2040. gadam sasniegs 1–2,3 tonnas dienā, kas iezīmē nepieciešamību paplašināt infrastruktūru. Iegūtie secinājumi sniedz būtiskus ieskatus politikas veidotājiem par ūdeņraža staciju mērogošanu atbilstoši transportlīdzekļu ieviešanas tempiem. Tomēr pētījuma ierobežojums ir difūzijas modeļu izmantošana, kas pieņem stabilu ieviešanas tempu un neņem vērā ārējus traucējošus faktorus, piemēram, politikas izmaiņas vai tehnoloģiskos sasniegumus konkurējošās enerģijas jomās (piemēram, *BEV*).

(Moreno-Benito et al., 2017) pētījums koncentrējas uz ūdeņraža infrastruktūras optimizāciju, lai veicinātu pāreju uz zema oglekļa satura transporta sistēmu Apvienotajā Karalistē. Galvenais izaicinājums ir lielās sākotnējās investīcijas ūdeņraža piegādes ķēdes infrastruktūrā, ieskaitot ražošanu, uzglabāšanu un transportu. Izmantojot daudzperiodu, telpiski detalizētu jauktā veselo skaitļu lineārās programmēšanas (*MILP*) modeli, tiek optimizēti infrastruktūras ieguldījumi ilgtermiņā. Tiek ņemti vērā mēroga efekti, transporta veidi (ceļu un cauruļvadu), kā arī oglekļa uztveršanas un uzglabāšanas (*CCS*) tehnoloģijas. Modelis minimizē kopējās izmaksas, vienlaikus nodrošinot pakāpenisku pāreju uz ilgtspējīgu ūdeņraža ekonomiku. Rezultāti norāda, ka posmveida pieeja, kas integrē vairākas tehnoloģijas un transporta metodes, ir optimāla izmaksu samazināšanai pieaugoša pieprasījuma apstākļos. Tomēr pētījums neņem vērā neparedzamas tirgus svārstības vai politikas izmaiņas, kā arī ilgtermiņa prognožu neskaidrību par nākotnes tehnoloģiju izmaksām un tirgus dinamiku.

(Li et al., 2020) integrē ūdeņraža piegādes ķēdes tīkla dizainu ar ūdeņraža uzpildes staciju plānošanu, izstrādājot visaptverošu infrastruktūras modeli. Galvenā problēma ir koordinācijas trūkums starp ražošanu, sadali un uzpildes staciju izvietojumu, kas kavē ūdeņraža plaša mēroga ieviešanu. Izmantojot *MILP* modeli, tiek vienlaikus optimizēta izejvielu piegāde, iekārtu uzstādīšana, transporta loģistika un

CCS risinājumi. Francijas gadījuma izpēte rāda, ka šo komponentu integrācija rada efektīvāku un lētāku ūdeņraža piegādes tīklu. Tomēr pētījums pieņem paredzamu pieprasījuma pieaugumu, kas var neatbilst faktiskajam patērētāju pieņemšanas tempam, kā arī neņem vērā potenciālus izrāvienus alternatīvo degvielu tehnoloģijās.

(Meyer & Winebrake, 2009) analizē ūdeņraža transportlīdzekļu ieviešanas dilemmu. Patērētāji nevēlas iegādāties šos transportlīdzekļus nepietiekamas uzpildes infrastruktūras dēļ, savukārt investori vilcinās ieguldīt infrastruktūrā zema pieprasījuma dēļ. Pētījumā izstrādāts sistēmdinamikas modelis, lai analizētu šo savstarpējo atkarību un novērtētu politikas intervences. Četros scenārijos aplūkota transportlīdzekļu ieviešana, infrastruktūras attīstība un tirgus apstākļi. Rezultāti rāda, ka koordinēta politika, vienlaikus stimulējot gan transportlīdzekļu iegādi, gan infrastruktūras paplašināšanu, ir visefektīvākais veids, kā paātrināt ūdeņraža tirgus izaugsmi. Tomēr modelis balstās vēsturiskajos datos un teorētiskos pieņēmumos, kas ierobežo tā prognožu precizitāti.

(Park & Kim, 2011) izstrādā prognozēšanas modeli ūdeņraža transportlīdzekļu ieviešanai Korejā, integrējot infrastruktūras pieejamību un izmaksu samazinājuma efektus. Izmantojot vispārināto Basa difūzijas modeli un sistēmdinamikas simulāciju, pētījumā novērtēts, kā dažādi ārējie faktori (valdības subsīdijas, izmaksu samazinājums un uzpildes staciju paplašināšana) ietekmē ūdeņraža transportlīdzekļu ieviešanas tempu. Jutīguma analīze atklāj, ka transportlīdzekļu izmaksu samazinājums un ūdeņraža staciju blīvuma palielināšana ievērojami paātrina ieviešanu. Pētījums sniedz vērtīgus ieskatus politikas stratēģijās, taču tā ierobežojums ir difūzijas modeļu izmantošana, kas pieņem homogēnu patērētāju uzvedību. Modelis neņem vērā iespējamo konkurenci ar *BEV,* kas varētu mainīt sagaidāmo ieviešanas līkni.

(Zhang et al., 2024) pētījumā analizēta reģionālā heterogenitāte *ICE* ieviešanā Tokijā, kas ir būtisks faktors efektīvas politikas izstrādē ūdeņraža mobilitātei. Autori izmanto inovatīvu pieeju, integrējot reālus ieviešanas datus ar analītiskās hierarhijas procesu (AHP), lai novērtētu faktorus, tostarp transportlīdzekļu veiktspēju, ekonomiskās izmaksas, degvielas pieejamību un politisko atbalstu. Metodoloģija validēta ar faktiskiem *ICE* pārdošanas datiem, kas paaugstina rezultātu ticamību. Rezultāti parāda, ka patērētāju attieksme un infrastruktūras attīstība būtiski atšķiras dažādos rajonos, ietekmējot ieviešanas tempu. Pētījums uzsver, ka politikas pasākumiem jābūt pielāgotiem reģionālajām īpatnībām, nevis jābalstās vienotā nacionālā stratēģijā. Kā ierobežojums jāmin tas, ka pētījums attiecas tikai uz Tokiju, un tā rezultāti nav tieši vispārināmi uz citām pilsētām vai valstīm ar atšķirīgiem ekonomiskajiem un politiskajiem apstākļiem.

(Erdoğan et al., 2023) pētījumā aplūkota Turcijas ūdeņraža piegādes ķēdes optimizācija, līdzsvarojot ekonomisko dzīvotspēju, oglekļa emisijas un drošības riskus. Autori izstrādā *MILP* modeli, lai izvērtētu dažādas tīkla konfigurācijas. Analizēti pieci optimizācijas scenāriji, tostarp centralizētās un decentralizētās ražošanas pieejas, izmantojot gan tvaika metāna reformēšanu (*SMR*), gan elektrolīzi. Rezultāti rāda, ka decentralizēts tīkls ar sadalītām *SMR* un elektrolīzes iekārtām nodrošina labāko līdzsvaru, samazinot izmaksas par 88 %, oglekļa emisijas par 10 % un drošības riskus

par 2 %. Tomēr pieņēmumi par pieprasījuma pieaugumu un politisko stabilitāti var ierobežot modeļa piemērojamību praksē. Netiek ņemti vērā arī ģeopolitiskie faktori un ekonomiskās svārstības.

(Zhou et al., 2024) pētījuma mērķis ir optimizēt ūdeņraža uzpildes staciju izvietojumu un jaudas plānošanu pilsētās, kas ir kritisks šķērslis ūdeņraža transportlīdzekļu ieviešanai. Izmantojot daudzmērķu optimizācijas ietvaru, autori izstrādājuši daudzperiodu plānošanas modeli, iekļaujot kopējās investīciju izmaksas, ūdeņraža pieprasījuma nodrošinājumu, ietekmi uz vidi un drošības riskus. Izmantots *NSGA-III* algoritms un *TOPSIS* metode, lai optimizētu staciju izvietojumu dažādos laika periodos. Rezultāti atklāj, ka agrīnajos ieviešanas posmos uzpildes stacijas optimāli izvietojamas perifērijās, kur ir pieejama zeme un pieprasījums ir zemāks. Pieaugot ūdeņraža transportlīdzekļu izplatībai, centrālajās pilsētas zonās nepieciešamas lielas jaudas stacijas. Pētījums sniedz praktiskus ieskatus politikas veidotājiem un pilsētplānotājiem, taču tas balstās statiskās pieprasījuma prognozēs, neņemot vērā tehnoloģiskās pārmaiņas vai patērētāju preferenču maiņu.

(Ahn & Rakha, 2022) pētījumā aplūkots ūdeņraža enerģijas patēriņa modelēšanas trūkums, kas ir būtisks transporta plānošanai un infrastruktūras attīstībai. Autori izstrādājuši mikroskopisku enerģijas patēriņa modeli, kas aprēķina ūdeņraža momentāno enerģijas patēriņu, pamatojoties uz transportlīdzekļa ātrumu, paātrinājumu un ceļa slīpumu. Rezultāti rāda, ka ūdeņradis noteiktos apstākļos (piemēram, uz automaģistrālēm) patērē mazāk enerģijas nekā *ICE*. Tomēr modelī nav iekļauti tādi faktori kā temperatūras svārstības un degvielas šūnu degradācija laika gaitā, kas varētu ietekmēt ilgtermiņa efektivitāti. Pētījums secina, ka modelis var palīdzēt inženieriem un politikas veidotājiem novērtēt ūdeņraža transporta sistēmu ietekmi, taču nepieciešami papildu uzlabojumi tā praktiskai piemērošanai.

(Imanina et al., 2016) izpēta faktorus, kas ietekmē patērētāju piekrišanu ūdeņraža izmantošanai, balstoties uzvedības modelēšanas pieejā. Modelī apvienota Plānotās uzvedības teorija (*TPB*) un Normu aktivācijas teorija (*NAT*). Galvenie faktori ir attieksme, subjektīvās normas, uztvertā kontrole un personīgās normas. Rezultāti rāda, ka patērētāju nodomu ieviest ūdeņraža transportlīdzekļus spēcīgi ietekmē uztvertie ieguvumi (piemēram, vides ietekme un degvielas efektivitāte) un uztvertie riski (piemēram, augstas izmaksas un infrastruktūras ierobežojumi). Valdības iejaukšanās, piemēram, subsīdijas un sabiedrības informēšanas kampaņas, būtiski veido patērētāju uztveri. Tomēr pētījums balstīts tikai aptauju datos no Malaizijas, kas ierobežo rezultātu vispārināmību, un neaplūko, kā laika gaitā mainās attieksme.

(Hernández et al., 2021) pētījumā izstrādāts matemātisks modelis ūdeņraža uzpildes staciju izvietošanas optimizācijai tālsatiksmes ūdeņraža kravas automobiļiem, risinot infrastruktūras trūkumus, kas kavē ūdeņraža transporta plašāku ieviešanu. Autori izmanto Ģeogrāfiskās informācijas sistēmas (*GIS*) datus un *MILP* pieeju, lai optimizētu staciju izvietojumu gar starppilsētu un starpštatu koridoriem. Modelī integrētas arī ūdeņraža ražošanas tehnoloģijas, salīdzinot centralizēto un uz vietas balstīto ūdeņraža ražošanu, izmantojot saules enerģiju. Ziemeļamerikas gadījuma izpēte rāda, ka decentralizēts, atjaunīgajā enerģijā balstīts *HRS* tīkls var ievērojami

samazināt ekspluatācijas izmaksas un oglekļa emisijas. Tomēr modelis pieņem vienmērīgu pieprasījuma pieaugumu, kas var neatbilst faktiskajiem ieviešanas tempiem.

(Schwoon, 2006) izmanto aģentu bāzētu modelēšanu (ABM), lai analizētu *ICE* difūziju automobiļu tirgū. Centrālā problēma ir tā, ka patērētāji vilcinās ieviest *ICE* nepietiekamas infrastruktūras dēļ, savukārt investori nevēlas būvēt uzpildes stacijas zema transportlīdzekļu skaita dēļ. Modelis ietver dinamisku mijiedarbību starp automobiļu ražotājiem, patērētājiem un staciju operatoriem, ļaujot veikt politikas simulācijas. Rezultāti rāda, ka mērķēti nodokļu stimuli tradicionālajiem automobiļiem, nevis tiešas subsīdijas *ICE*, varētu būt efektīvāki ieviešanas veicināšanai. Pētījums uzsver stratēģiskas sadarbības nozīmi starp ražotājiem un staciju operatoriem infrastruktūras attīstības paātrināšanai. Modelis neņem vērā konkurējošās tehnoloģijas, piemēram, *BEV*, kā arī pieņem viendabīgas patērētāju preferences, kas neatspoguļo reālo attieksmju daudzveidību.

Aplūkotie pētījumi sniedz būtiskus ieskatus ūdeņraža ieviešanas, infrastruktūras plānošanas, energoefektivitātes un tehnoloģiskās modelēšanas jomā. Tomēr pastāv vairākas ievērojamas nepilnības. Viena no galvenajām problēmām ir reālu empīrisku datu trūkums daudziem prognozēšanas modeļiem. Pētījumi, kas prognozē ūdeņraža ieviešanu (Schwoon, 2006; Imanina et al., 2016), lielā mērā balstās teorētiskos ietvaros, piemēram, Plānotās uzvedības teorijā vai aģentu bāzētā modelēšanā, taču neietver plaša mēroga patērētāju datus vai vēsturiskos pieņemšanas modeļus. Līdzīgi infrastruktūras plānošanas darbos (Hernández et al., 2021; Zhou et al., 2024) izmantoti optimizācijas modeļi, kas pieņem statisku vai lineāru ūdeņraža pieprasījuma pieaugumu, neņemot vērā negaidītas tehnoloģiskās pārmaiņas, ekonomiskās lejupslīdes vai politikas maiņu. Turklāt bieži netiek pietiekami izvērtēta konkurence ar *BEV*. Daudzi pētījumi salīdzina ūdeņraža transportlīdzekļus ar *ICE*, bet ignorē straujo progresu akumulatoru tehnoloģijā, uzlādes infrastruktūras paplašināšanos un *BEV* izmaksu samazināšanos, kas būtiski ietekmē ūdeņraža konkurētspēju.

Šobrīd visvairāk trūkst pētījumu, kas pievēršas ierobežotās ekonomiskās dzīvotspējas analīzei. Daļa pētījumu novērtē ūdeņraža ilgtspēju, taču nepietiekami aplūko augstās ražošanas, uzglabāšanas un sadales izmaksas mēroga apstākļos. Pat infrastruktūras modeļi (Moreno-Benito et al., 2017; (Hernández et al., 2021) koncentrējas uz optimizāciju, pieņemot, ka investīcijas notiks, neanalizējot finansēšanas modeļus, publiskā un privātā sektora partnerības vai valdības subsīdiju lomu. Turklāt ūdeņraža ražošanas metodes netiek vienoti izvērtētas, lai gan daži pētījumi uzsver zaļā ūdeņraža nozīmi, tikai nedaudzi sistemātiski salīdzina centralizētās un decentralizētās ražošanas pieejas reālās ieviešanas apstākļos.

Secinājumi

Literatūras apskats pamato, ka ūdeņraža tehnoloģija ir perspektīva augstas noslodzes un tālsatiksmes lietojumos, kur nepieciešams liels darbības rādiuss un īsi dīkstāves laiki. Konkurence ar *BEV* ir dinamiska un atkarīga no lietojuma profila,

enerģijas cenu struktūras un infrastruktūras gatavības. Izšķiroša ir ūdeņraža ražošanas izmaksu krišanās (īpaši atjaunojamā ūdeņraža) un degvielas jaudas piedziņas efektivitātes pieaugums. Bez mērķēta publiskā atbalsta un koordinētas *HRS* izvietošanas gar kravu koridoriem pastāv noteikts risks, kas bremzē tirgu arī gadījumos, kad tehnoloģiskā gatavība ir pietiekama.

Ūdeņraža transporlīdzekļu ieviešanas trajektorijas nosaka divvirzienu atgriezeniskās saites starp autoparka izplatību un *HRS* pārklājumu. Efektīva stratēģija apvieno agrīnas, zemākas kapitāla intensitātes risinājumus (piemēram, piegāde ar autocisternām) ar pakāpenisku pāreju uz cauruļvadiem un lieljaudas stacijām, pieaugot pieprasījumam.

Daudzi izplatības, pieprasījuma un *HRS* optimizācijas modeļi paļaujas uz statiskiem pieņēmumiem un ierobežotu empīrisko validāciju. Trūkst reāllaika mobilitātes datu integrācijas, uzvedības dimensijas (patērētāji un operatori). Nepietiekami vērtēta arī konkurence ar *BEV* nākotnes uzlabojumu scenārijos. Turpmāk jālieto dinamiskas, aģentu bāzētas un sistēmdinamiskas pieejas.

Līdz ar to nākotnes pētījumiem būtu jārisina literatūras apskatā konstatētās modelēšanas nepilnības. To ir iespējams paveikt, integrējot dinamiskus un reālos datus prognozēšanas modeļos.

- Pieprasījuma prognozēšana. Modeļiem jāiekļauj reāli patērētāju uzvedības dati un adaptīvas simulācijas, kas ņem vērā politikas izmaiņas, ekonomiskos faktorus un konkurējošās tehnoloģijas.
- Infrastruktūras plānošana. Jāizmanto mobilitātes un transporta plūsmas dati, lai dinamiski pielāgotu *HRS* izvietojumu atbilstoši faktiskajiem lietošanas paradumiem.
- Salīdzinošā analīze ar *BEV*. Jāpaplašina izmaksu un ieguvumu salīdzinājumi starp ūdenraža transportlīdzekļiem un *BEV,* nosakot apstākļus, kuros ūdeņradis saglabā konkurētspēju, ņemot vērā abu tehnoloģiju turpmākos uzlabojumus.
- Ūdeņraža ražošana. Jāattīsta pētījumi par hibrīdām atjaunojamās enerģijas sistēmām, decentralizētu ražošanu un ūdeņraža integrāciju esošajos energotīklos, lai uzlabotu ekonomisko dzīvotspēju.

Šo nepilnību risināšana būs izšķiroša, lai noteiktu, vai ūdeņraža tehnoloģijas spēs pāriet no nišas risinājuma uz pilnvērtīgu konkurentu dekarbonizētā transporta sektorā.

Literatūra un avoti

Ahn, K., & Rakha, H. A. (2022). Developing a hydrogen fuel cell vehicle (HFCV) energy consumption model for transportation applications. *Energies*, 15 (529). https://doi.org/10.3390/en15020529.

Ajanovic, A., & Haas, R. (2020). Prospects and impediments for hydrogen and fuel cell vehicles in the transport sector. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (11), 6366–6381. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.161.

Albatayneh, A., Shanableh, A., & Al-Rawabdeh, A. (2023). Battery electric vehicles versus hydrogen fuel cell vehicles: A comprehensive review of technologies, markets, and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 174, 113094. https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.113094.

Apostolou, D., & Xydis, G. (2019). A literature review on hydrogen refuelling stations and infrastructure for FCEVs: Trends and developments. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (23), 11823–11833. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.162.

Bai, Y., & Zhang, Z. (2020). Public-private partnerships for hydrogen infrastructure: Financing challenges and policy options. *Energy Policy*, 144, 111613. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111613.

Ball, M., Wietschel, M., & Rentz, O. (2007). Integration of a hydrogen economy into the German energy system: An optimising modelling approach. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32 (10-11), 1355–1368. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.10.018.

Bødal, K., Tomasgard, A., & Westgaard, S. (2020). Subsidizing hydrogen in integrated energy systems: Market and welfare effects. *Energy Policy*, 146, 111789. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111789.

Boretti, A. (2020). Advances in hydrogen-powered internal combustion engines. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45 (40), 20766–20775. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.12.174.

Cullen, D., Mukherjee, S., & Kelly, K. (2021). Fuel cell durability for heavy-duty vehicle applications: A review of recent progress. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(59), 30073-30088. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.06.071.

Deng, J., Wang, M., Zhang, H., & Wu, W. (2024). Hydrogen fueling network planning under demand uncertainty: A robust optimization approach. *International Journal of Hydrogen Energy*, 49 (1), 136–150. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.10.082.

Emonts, B., et al. (2019). Techno-economic assessment of hydrogen refueling stations for heavy-duty vehicles. *Applied Energy*, 254, 113648. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113648.

Erdoğan, B., Alkayas, A., Azar, E., & Mayyas, A. T. (2023). Design of a future hydrogen supply chain: A multi-objective model for Turkey. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48 (15), 5421–5438.

Gao, Z., Lin, Z., & LaClair, T. J. (2015). Energy management strategies of hybrid electric vehicles for fuel economy improvement: A review. *Applied Energy*, 151, 101–120. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.102.

Glenk, G., & Reichelstein, S. (2019). Economics of converting renewable power to hydrogen. *Nature Energy*, 4 (3), 216–222. https://doi.org/10.1038/s41560-019-0326-1.

Hannach, R., Bicer, Y., & Dincer, I. (2019). Comparative assessment of alternative fuels for sustainable road transportation. *Energy*, 173, 682–692.
https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.02.037.

Hernández, B., Alkayas, A., Azar, E., & Mayyas, A. T. (2021). Mathematical model for the placement of hydrogen refueling stations to support future fuel cell trucks. *IEEE Access*, 9, 148118–148134.
https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3123901.

Hernandez, R., Li, X., & Xu, M. (2021). Location optimization of hydrogen refueling stations along highways: A multi-objective approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 93, 102774.
https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102774.

Imanina, N. H. N., Lu, T. K., & Fadhilah, A. R. (2016). A proposed model of factors influencing hydrogen fuel cell vehicle acceptance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 32, 012052.
https://doi.org/10.1088/1755-1315/32/1/012052.

Jensen, S. H., Graves, C., Mogensen, M., et al. (2007). Large-scale hydrogen production using solid oxide electrolysis cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32 (14), 3253–3257.
https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2006.07.045.

Lahnaoui, A., Louitri, A., & Chibani, A. (2019). Technical and economic barriers of hydrogen vehicles deployment: A critical review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44 (60), 31879–31894.
https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.10.167.

Lao, H., Liu, X., & Zhang, Y. (2020). Life-cycle assessment of fuel cell and battery electric heavy-duty trucks. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120703.
https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120703.

Lee, D., Elgowainy, A., & Vijayagopal, R. (2018). Life cycle analysis of greenhouse gas emissions from hydrogen pathways for heavy-duty vehicles. *Energy Policy*, 118, 120–134.
https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.03.043.

Li, J., Zhang, X., & Qian, Z. (2021). Dynamic subsidies for hydrogen fuel cell vehicles: A system dynamics analysis. *Energy Policy*, 156, 112424.
https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112424.

Li, W., et al. (2022). Decarbonizing heavy-duty road transport with hydrogen fuel cell trucks: A system dynamics modeling approach. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52, 102009.
https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102009.

Liu, Y., et al. (2021). Environmental and economic impacts of fuel cell trucks: A comparative study. *Applied Energy*, 281, 116083.
https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116083.

Liu, Z., et al. (2023). Regional hydrogen production costs and competitiveness: Insights for Europe. International *Journal of Hydrogen Energy*, 48 (1), 75–90.
https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.09.183.

Mao, X., et al. (2024). The economics of renewable hydrogen in integrated energy systems. Renewable and *Sustainable Energy Reviews*, 185, 113487.
https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113487.

Meyer, P., & Winebrake, J. J. (2009). Modeling technology diffusion of complementary goods: The case of hydrogen vehicles and refueling infrastructure. *Technological Forecasting and Social Change*, 76(8), 1105–1114.
https://doi.org/10.1016/j.techfore.2009.03.003.

Moreno-Benito, M., Agnolucci, P., & Papageorgiou, L. G. (2017). Towards a sustainable hydrogen economy: Optimization-based framework for hydrogen infrastructure development. *Computers & Chemical Engineering*, 102, 110–127.
https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2017.03.017.

Mu, Z., Wang, Q., & Zhang, Y. (2024). Competitiveness of hydrogen trucks vs. battery electric trucks under different policy settings. *Energy Policy*, 175, 113528.
https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113528.

Noor Imanina, N. H., Lu, T. K., & Fadhilah, A. R. (2016). A proposed model of factors influencing hydrogen fuel cell vehicle acceptance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 32, 012052.
https://doi.org/10.1088/1755-1315/32/1/012052.

Pardhi, A., Kumar, A., & Dincer, I. (2022). Performance assessment of hydrogen fuel cell trucks and BEVs in freight transport. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (54), 22986–22999.
https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.05.012.

Park, S., & Kim, J. (2011). Market penetration forecasting for hydrogen fuel cell vehicles considering infrastructure availability. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36 (19), 12486–12495.
https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.06.134.

Sacchi, R., Tattini, J., & Gargiulo, M. (2021). Battery electric trucks and hydrogen trucks: Costs and adoption potential. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 91, 102678.
https://doi.org/10.1016/j.trd.2021.102678.

Salek, M., et al. (2023). Comparative analysis of BEV and FCEV trucks in long-haul freight. *Energy Reports*, 9, 496–510. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.01.064.

Scheidt, B., Ramesohl, S., & Fichtner, W. (2021). System integration of hydrogen and electricity networks: Policy and subsidy design. *Applied Energy*, 298, 117210.
https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117210.

Schwoon, M. (2006). Simulating the adoption of fuel cell vehicles. *Journal of Evolutionary Economics*, 16 (4), 435–472.
https://doi.org/10.1007/s00191-006-0026-4.

Stangarone, T. (2020). South Korea's hydrogen economy: Ambitions and challenges. *The Korean Journal of International Studies*, 18 (1), 93–118.
https://doi.org/10.14731/kjis.2020.04.18.1.93.

Wanniarachchi, W., Bandara, Y., & Ratnayake, M. (2022). Barriers to the adoption of hydrogen vehicles: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (18), 10478–10494. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.01.067.

Yaïci, W., & Longo, M. (2022). Planning hydrogen supply chains for road transport: Economic and logistical perspectives. *International Journal of Hydrogen Energy*, 47 (75), 31792–31808. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.05.164.

Yang, C., Chen, C., & Zhang, Y. (2021). Hydrogen adoption scenarios in road freight: Carbon neutrality implications. *Journal of Cleaner Production*, 293, 126244. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126244.

Zhou, Q., Li, X., & Chen, B. (2024). Comparative well-to-wheel analysis of gasoline and hydrogen pathways: A sustainability perspective. *International Journal of Energy Research*, 48 (5), 2987–3001.

Kopsavilkums

Monogrāfija "Ilgtspējīga loģistika – no pēdējās jūdzes līdz ūdeņraža tehnoloģijām" ir starpdisciplinārs zinātnisks pētījums, kas aptver transporta un loģistikas sistēmu transformācijas procesus klimatneitralitātes, energoefektivitātes un ekonomiskās ilgtspējas kontekstā. Darba tematika atspoguļo mūsdienu izaicinājumus: e-komercijas izaugsmi, resursu efektivitātes palielināšanu, Eiropas Savienības klimatpolitikas īstenošanu un digitalizāciju. Monogrāfija apkopo septiņus savstarpēji saistītus pētījumus, kas kopumā sniedz visaptverošu skatījumu uz pārejas procesiem transporta loģistikas nozarē, sākot ar videi draudzīgām pilsētu piegādēm un beidzot ar ūdeņraža izmantošanas potenciālu transportā.

Šajā monogrāfijā apkopotie pētījumi atklāj, ka loģistikas sistēmas ir galvenais starpsektoru mehānisms, kas nodrošina ražošanas, tirdzniecības un patēriņa sasaisti. Līdz ar to loģistikas sistēmu pārveide uz zema oglekļa risinājumiem ietekmē ne tikai vidi, bet arī reģionālo attīstību, nodarbinātību un investīciju plūsmas. Monogrāfijas zinātniskā koncepcija balstās idejā, ka ekonomiskā izaugsme un vides aizsardzība nav pretstatāmas, bet gan savstarpēji papildinošas dimensijas.

Monogrāfijā izmantotas dažādas mūsdienīgas pētniecības metodes: ekonometrija, sistēmdinamika, scenāriju modelēšana, ielaides un izlaides analīze, datu ieguve, mašīnmācīšanās un salīdzinošā politikas analīze. Šāda metodoloģiskā pieeja nodrošina iespēju analizēt transporta nozari no vairākiem pārvaldības līmeņiem, no individuālo uzņēmumu un reģionu darbības līdz Eiropas tirgus un politikas sistēmām.

Monogrāfijā veikto pētījumu rezultāti ļauj formulēt vairākus būtiskus secinājumus.

- Ilgtspējīga loģistika ir sistēmisks pārmaiņu mehānisms, nevis atsevišķu tehnoloģiju kopums. Analīze pierāda, ka ilgtspējīga loģistika apvieno transporta, enerģētikas un datu sistēmu attīstību. Pēdējās jūdzes risinājumi, digitalizācija, alternatīvā degviela un fiskālā politika veido vienotu transformācijas ķēdi. Katrs posms, sākot no mikromobilitātes pilsētās līdz kravas transporta dekarbonizācijai, veicina kopējo sistēmas efektivitāti un konkurētspēju.
- Videi draudzīgu tehnoloģiju ieviešana rada pozitīvu ekonomisko efektu. Ielaides un izlaides modelēšanas rezultāti rāda, ka elektrisko transportlīdzekļu, mikromobilitātes un automatizēto piegāžu ieviešana rada multiplikatora efektu ekonomikā, stimulējot investīcijas un jaunu pakalpojumu veidošanos. Šī ietekme izpaužas arī reģionālā līmenī, veicinot inovāciju un jaunu darba vietu radīšanu.
- Reģionālās atšķirības būtiski ietekmē transporta ilgtspēju. Transporta efektivitātes pierāda, ka ekonomiskā produktivitāte un emisiju intensitāte Latvijā ir cieši saistītas ar infrastruktūras pieejamību. Efektīvas loģistikas sistēmas izveide prasa sabalansētu investīciju politiku starp centru un perifēriju.
- Fiskālā politika ir būtisks instruments dekarbonizācijas veicināšanai. Pētījumi apliecina, ka mērķēta nodokļu sistēma, kas atbalsta elektrisko transportlīdzekļu

izmantošanu un infrastruktūras attīstību, var nodrošināt gan emisiju samazinājumu, gan budžeta ieņēmumu stabilitāti. Nodokļu politikas transformācija kļūst par pamatu ekonomiski ilgtspējīgai pārejai uz bezemisiju transportu.

- Datos balstīta tirgus analīze ir priekšnoteikums efektīvai politikas plānošanai. Pētījums par lietoto kravas automobiļu tirgu Eiropā pierāda, ka lēmumu pieņemšanā nepieciešama pierādījumos balstīta pieeja. Mašīnmācīšanās un ekonometrijas modeļi ļauj identificēt strukturālas tendences un paredzēt tirgus izmaiņas, kas būtiski ietekmē emisiju samazināšanas tempu.
- Uzņēmumu zaļā pāreja ir stratēģisks, nevis īstermiņa process. Dinamiskās modelēšanas rezultāti apliecina, ka uzņēmumi, kas laikus integrē vides ilgtspējas principus, ilgtermiņā uzrāda augstāku noturību pret tirgus svārstībām. Lēmumu pieņemšanas atbalsta modeļi palīdz novērtēt pārejas riskus un ieguvumus, piedāvājot instrumentus stratēģiskai plānošanai.
- Ūdeņraža tehnoloģijas kļūst par nākamo posmu transporta dekarbonizācijā. Ūdeņraža izmantošanas scenāriji apliecina, ka šai tehnoloģijai ir augsts potenciāls kravas transportā, īpaši garo distanču pārvadājumos. Vienlaikus nepieciešama vienota infrastruktūra un koordinēta Eiropas Savienības līmeņa politika. Ūdeņraža tehnoloģiju attīstība ir cieši saistīta ar atjaunojamās enerģijas īpatsvaru un investīciju intensitāti.

Monogrāfijā iegūtie rezultāti ir nozīmīgi gan zinātniskajā, gan praktiskajā līmenī. Tos var izmant transporta un klimata politikas plānošanā, izstrādājot valsts un pašvaldību rīcības plānus emisiju samazināšanai; ekonomikas analīzē un reģionālajā attīstībā, vērtējot investīciju efektivitāti un transporta infrastruktūras prioritātes; uzņēmējdarbības un inovāciju atbalsta politikā, veicinot zaļo tehnoloģiju ieviešanu un konkurētspēju; augstākajā izglītībā un pētniecībā, izmantojot monogrāfijas modeļus un metodes kā mācību materiālu transporta ekonomikas un loģistikas programmās.

Monogrāfija sniedz arī pamatu sadarbībai starp akadēmisko vidi, uzņēmējdarbības sektoru un valsts institūcijām, veicinot datu aprites un pierādījumos balstītas politikas attīstību. Darbs sniedz zinātniski pamatotus pierādījumus par to, kā datos un modeļos balstīta pieeja var kļūt par pamatu efektīvai transporta un klimata politikai. Monogrāfijas rezultāti apliecina, ka Latvijas un Eiropas transporta sistēmas spēj kļūt par būtisku dzinējspēku klimatneitrālas ekonomikas veidošanā, ja pārmaiņas tiek īstenotas stratēģiski, koordinēti un ilgtermiņā.

Summary

The monograph "Sustainable Logistics – From the Last Mile to Hydrogen Technologies" is an interdisciplinary scientific study that examines transformation processes in transport and logistics systems in the context of climate neutrality, energy efficiency, and economic sustainability. The thematic scope reflects contemporary challenges: the growth of e-commerce, the enhancement of resource efficiency, the implementation of the European Union's climate policy, and digitalisation. The monograph brings together seven interrelated studies that collectively provide a comprehensive view of transition processes in the transport logistics sector, ranging from environmentally friendly urban deliveries to the potential use of hydrogen in transport.

The studies compiled in this monograph show that logistics systems constitute a key cross-sectoral mechanism that links production, trade, and consumption. Consequently, transforming logistics systems toward low-carbon solutions affects not only the environment but also regional development, employment, and investment flows. The monograph's scientific concept rests on the idea that economic growth and environmental protection are not contradictory but are mutually reinforcing dimensions.

A range of modern research methods is employed in the monograph: econometrics, system dynamics, scenario modelling, input–output analysis, data mining, machine learning, and comparative policy analysis. This methodological approach makes it possible to analyse the transport sector across multiple governance levels – from the operations of individual firms and regions to European market and policy systems.

The results of the studies conducted in the monograph allow several key conclusions to be drawn.

- Sustainable logistics is a systemic mechanism of change, not a set of isolated technologies. The analysis demonstrates that sustainable logistics integrates the development of transport, energy, and data systems. Last-mile solutions, digitalisation, alternative fuels, and fiscal policy form a single transformation chain. Each stage, from urban micromobility to the decarbonization of freight transport, contributes to overall system efficiency and competitiveness.
- The introduction of environmentally friendly technologies generates positive economic effects. Input–output modelling results show that the deployment of electric vehicles, micromobility, and automated deliveries creates a multiplier effect in the economy, stimulating investment and the emergence of new services. This impact also manifests at the regional level by fostering innovation and creating new jobs.
- Regional disparities significantly influence transport sustainability. Analyses of transport efficiency show that economic productivity and emission intensity in Latvia are closely linked to infrastructure accessibility. Building an effective

logistics system requires a balanced investment policy between the centre and the periphery.

- Fiscal policy is a crucial instrument for promoting decarbonization. The studies confirm that a targeted tax system supporting the use of electric vehicles and the development of infrastructure can deliver both emission reductions and the stability of budget revenues. The transformation of tax policy becomes the foundation for an economically sustainable transition to zero-emission transport.
- Evidence-based market analysis is a prerequisite for effective policy planning. The study of the European used truck market demonstrates that decision-making requires an evidence-based approach. Machine learning and econometric models make it possible to identify structural trends and forecast market changes that substantially affect the pace of emission reduction.
- The green transition of firms is strategic rather than short-term. Results from dynamic modelling show that companies integrating environmental sustainability principles in a timely manner exhibit greater long-term resilience to market fluctuations. Decision-support models help assess transition risks and benefits, providing tools for strategic planning.
- Hydrogen technologies are becoming the next stage in transport decarbonization. Scenarios of hydrogen use confirm that this technology has high potential in freight transport, particularly for long-distance operations. At the same time, a unified infrastructure and coordinated European Union-level policy are required. The development of hydrogen technologies is closely tied to the share of renewable energy and the intensity of investment.

The results obtained in the monograph are significant at both scientific and practical levels. They can be used in: transport and climate policy planning, by developing national and municipal action plans for emission reduction; economic analysis and regional development, by assessing the effectiveness of investments and prioritising transport infrastructure; business and innovation support policy, by fostering the adoption of green technologies and competitiveness; and higher education and research, by using the monograph's models and methods as teaching materials in transport economics and logistics programs.

The monograph also provides a basis for cooperation among academia, the business sector, and public institutions, promoting data circulation and the development of evidence-based policy. The research offers scientifically grounded evidence of how a data- and model-based approach can form the foundation of effective transport and climate policy. The monograph's results demonstrate that Latvia's and Europe's transport systems can become a significant driving force in building a climate-neutral economy if changes are implemented strategically, in a coordinated manner, and with a long-term perspective.

ILGTSPĒJĪGA LOĢISTIKA – NO PĒDĒJĀS JŪDZES LĪDZ ŪDEŅRAŽA TEHNOLOĢIJĀM

Zinātniskā monogrāfija

RTU Izdevniecība
Rīga 2026