

Kristiāna Dolge

ENERĢĒTIKAS ILGTSPĒJAS NOVĒRTĒŠANAS METODES PĀREJĀ UZ EIROPAS ZAĻO KURSU

Promocijas darba kopsavilkums



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Kristiāna Dolge

Doktora studiju programma “Vides inženierzinātne”

**ENERĢĒTIKAS ILGTSPĒJAS
NOVĒRTĒŠANAS METODES PĀREJĀ
UZ EIROPAS ZAĻO KURSU**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskās vadītājas

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

profesore *Dr. sc. ing.*
ANDRA BLUMBERGA

RTU Izdevniecība
Rīga 2025

Dolge, K. Enerģētikas ilgtspējas novērtēšanas metodes pārejā uz Eiropas Zaļo kursu. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2025. – 51 lpp.

Publicēts saskaņā ar promocijas padomes “RTU P-19” 2024. gada 13. decembra lēmumu, protokols Nr. 214.

Promocijas darbs izstrādāts Latvijas Zinātnes padomes finansētā projekta Nr. VPP-KEM-Klimatneitralitāte-2023/1-0002 “Klimata neitralitātes lēmumu modeļi darbībā” ietvaros un ar Eiropas Sociālā fonda projekta Nr. 8.2.2.0/20/I/008 “Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās” atbalstu.



**Klimata neitralitātes
lēmumu modeļi
darbībā**



VPP
Valsts pētījumu
programma

Vāka attēls no www.shutterstock.com

<https://doi.org/10.7250/9789934371622>

ISBN 978-9934-37-162-2 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2025. gada 16. aprīlī plkst. 14.00 Rīgas Tehniskās universitātes Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 607. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. (tech.) Peter Lund*,
Ålto Universitāte, Somija

Profesore *Dr. sc. ing. Anna Volkova*,
Tallinas Tehnoloģiju universitāte, Igaunija

Profesors *Dr. sc. ing. Edmunds Teirumnieks*,
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Latvija

APSTIPRINĀJUMS

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

Kristiāna Dolge (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 41 attēls, 36 tabulas, kopā 296 lappuses, ieskaitot pielikumus. Literatūras sarakstā ir 166 nosaukumi.

SATURS

Ievads	5
Darba aktualitāte	5
Darba mērķis un uzdevumi	6
Darba hipotēze	7
Zinātniskā novitāte	7
Praktiskā nozīme	8
Zinātniskā darba aprobācija	8
Citas zinātniskās publikācijas	9
Darba aprobācija zinātniskajās konferencēs	10
Promocijas darba struktūra.....	11
1. Literatūras analīze	13
2. Metodika	15
2.1. Saliktais indekss.....	15
2.2. Dekompozīcijas analīze	19
2.3. Kognitīvās kartēšanas metode.....	24
3. Rezultāti	25
3.1. Rūpniecības sektors.....	25
3.1.1. Rūpniecības energoefektivitātes indekss.....	25
3.1.2. Rūpniecības <i>LMDI</i> dekompozīcijas analīze.....	27
3.2. Transporta sektors	29
3.2.1. Transporta ilgtspējas saliktais indekss	29
3.2.2. Transporta <i>LMDI</i> dekompozīcijas analīze	32
3.3. Enerģētikas sektors.....	34
3.3.1. Nacionālā enerģētikas sektora izpēte, izmantojot salikto indeksu un <i>LMDI</i>	34
3.3.2. <i>LMDI</i> dekompozīcijas analīze AER elektroenerģijas ieviešanas novērtēšanā	35
3.3.3. <i>LMDI</i> dekompozīcijas analīze enerģijas importu novērtējumam	37
3.4. Pašvaldības energosistēma	39
3.4.1. Pašvaldības enerģētiskās pārejas indekss.....	39
3.4.2. Enerģijas uzglabāšanas risinājumi vietējās energosistēmās, izmantojot <i>PESTLE</i>	41
3.4.3. Ieinteresēto pušu perspektīvas, izmantojot kognitīvās kartēšanas metodi	44
3.5. Klimata un enerģētikas politika	45
3.5.1. <i>Kaya</i> identitāte SEG emisiju analīzei un prognozēšanai.....	45
3.5.2. Politikas risku novērtēšanas modelis	47
Secinājumi.....	49
Literatūras avoti	50

IEVADS

Globālā ekonomika patlaban piedzīvo vienu no lielākajiem pārejas posmiem mūsdienu vēsturē. Spēja stiprināt nacionālo drošību, nodrošināt ilgtspējīgu ekonomisko attīstību un labklājību, vienlaikus būtiski samazinot energoresursu patēriņu un radītās siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas, ir globāls izaicinājums, kas ietekmē ikvienu valsti pasaulē. Drošības stiprināšana, stagnējošo ekonomiku stimulēšana un steidzamā nepieciešamība pēc klimata pārmaiņu mazināšanas risinājumiem ir jautājumi, kas dominē globālajā politiskajā dienas kārtībā. Pašreizējā ģeopolitiskā situācija ir izcēlusi enerģētiku – tās pieejamību, ilgtspēju un stratēģisko izmantošanu – kā galveno stūrakmeni šo izaicinājumu risināšanā.

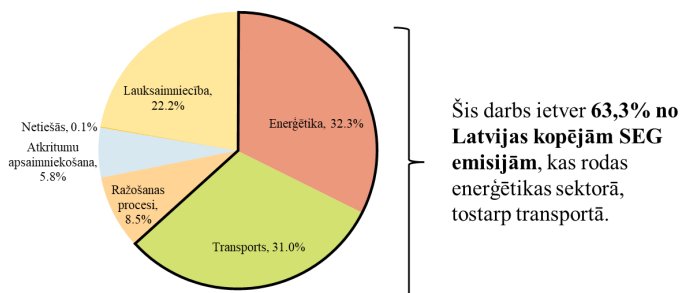
Eiropas Savienībā (ES) enerģētikas sektors veido vairāk nekā 75 % no kopējām ES siltumnīcefekta gāzu emisijām [1], tam ir izšķiroša nozīme ekonomikas izaugsmes veicināšanā, tas ir viens no būtiskākajiem faktoriem pieaugošajās dzīves dārdzības izmaksās [2] un kalpo kā stūrakmens nacionālās drošības stiprināšanā. Mūsdienās enerģētikas pārejas nākotni nosaka strauji mainīgi politiskie lēmumi, nevis tikai tirgus spēki, kā tas bija agrāk. Vēsturiski enerģētika galvenokārt bija tehnoloģisks un reizēm ģeopolitisks jautājums, tagad tā ir kļuvusi par vienu no svarīgākajiem ekonomiskās politikas aspektiem un konfliktu avotu starp konkurējošām interešu grupām [3].

Eiropas Zaļā kursa un *REPowerEU* politiskais ietvars, kas nosaka stratēģiskos enerģētikas un klimata mērķus, ir mudinājis nacionālos politikas veidotājus izvērtēt pašreizējo enerģētikas ilgtspējas stāvokli un virzījis enerģētikas sektoru uz jaunu risinājumu ieviešanu enerģijas ražošanas, piegādes, patēriņa un uzkrāšanas posmos [4]. Gadu gaitā enerģētikas sistēma ir transformējusies no centralizētas, fosilos kurināmos balstītas sistēmas uz decentralizētāku un energoefektīvāku sistēmu, arvien vairāk integrējot mainīgos atjaunojamās enerģijas resursus (AER). Šīs izmaiņas izceļ sistēmas elastības pastiprināšanas nozīmi. Enerģijas uzkrāšanas risinājumu ieviešana un pāreja uz viedajām energosistēmām ir kļuvusi par galvenajiem principiem, kas virza ilgtspējīgas enerģētikas infrastruktūras attīstību nākotnē.

Šis promocijas darbs pēta Latvijas progresu enerģētikas pārejā un izaicinājumus, ar kuriem tā saskaras ceļā uz nākotnes viedās enerģētikas sistēmas ieviešanu. Darbā analizēta pašreizējā enerģētikas sektora attīstības situācija Latvijā plašākā Eiropas Savienības kontekstā. Promocijas darbs sniedz padziļinātu Latvijas enerģētikas ilgtspējas pašreizējā novērtējuma analīzi un izvērtē progresu zaļās enerģētiskās pārejas virzienā, piedāvājot visaptverošu pārskatu un atklājot dažādus enerģētikas ilgtspējas aspektus.

Darba aktualitāte

Eiropas Savienība ir apņēmusies līdz 2050. gadam kļūt par klimatneitrālu kontinentu [5]. Lai sasniegtu šos ambiciozos mērķus, Eiropas līmenī ir izstrādāts stratēģisks politiku kopums, kas ieviešams nākamajās desmitgadēs. Viens no galvenajiem mērķiem, kas noteikts Eiropas Zaļajā kursā, ir līdz 2030. gadam samazināt SEG emisijas vismaz par 55 %, salīdzinot ar emisiju līmeni 1990. gadā [6]. Enerģētikas sektors ir lielākais SEG emisiju avots ne tikai globāli, bet arī Latvijā. 2022. gadā enerģētikas sektors kopā ar transportu veidoja 63,3 % no Latvijas kopējām SEG emisijām (1. att.). Tāpēc šo ambiciozo klimata mērķu sasniegšanai būs nepieciešama proaktīva pasākumu ieviešana, kas vērsta uz dekarbonizāciju un energoefektivitātes uzlabošanu enerģētikas sektorā [7].



1. att. SEG emisiju sadalījums pa nozarēm Latvijā 2020. gadā, neieskaitot ZIZIMM [8].

Pašreizējais klimata politikas ietvars prasa steidzamas izmaiņas un uzlabojumus esošajā enerģētikas infrastruktūrā. Tomēr enerģētikas politikas komplicētība, kas pastāvīgi balansē starp klimatneitralitātes mērķiem, ekonomiskās labklājības pieauguma nodrošināšanu un nacionālās drošības stiprināšanu, uzsver nepieciešamību pēc padziļinātākas izpratnes, lai atbalstītu pārdomātāku lēmumu pieņemšanu. Ir nepieciešamība pēc padziļinātākiem un visaptverošākiem novērtēšanas rīkiem, kas sniegtu vērtīgus priekšlikumus nacionālajiem lēmumu pieņēmējiem efektīvāku stratēģiju izstrādē un labās prakses ieviešanā ilgtspējīgas enerģētikas pārejas nodrošināšanai.

Darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir izstrādāt visaptverošu enerģētikas ilgtspējas novērtēšanas modeli, kas identificē galvenos virzītājspēkus un izaicinājumus Latvijas enerģētikas ceļā uz klimatneitralitāti Eiropas Zaļā kursa un *REPowerEU* politikas konteksta ietvaros.

Lai sasniegtu darba mērķi, tika definēti seši savstarpēji saistīti uzdevumi.

1. Izstrādāt metodes, lai novērtētu pašreizējo enerģētikas ilgtspējas līmeni un progresu enerģētikas sistēmas dekarbonizācijā trīs līmeņos – sektoriālā (tostarp rūpniecībā un transportā), pašvaldību un valsts līmenī.
2. Izmantojot līmeņatzīmes pieeju, salīdzināt Latvijas enerģētikas ilgtspējas tendences ar Baltijas valstīm un ES.
3. Veikt makroekonomisko novērtējumu, lai identificētu galvenos virzītājspēkus un pamatelementus enerģētikas politikā, kas veicina ilgtspējīgāku, neatkarīgāku un zaļāku enerģētikas infrastruktūru.
4. Novērtēt enerģijas uzkrāšanas lomu enerģētikas pārejā un salīdzināt dažādas enerģijas uzkrāšanas tehnoloģijas.
5. Analizēt sociālos faktorus, kas ietekmē pāreju uz viedajām energosistēmām, kas ietver enerģijas uzkrāšanas tehnoloģiju plašāku izmantošanu vietējās energosistēmās.
6. Izstrādāt metodi politikas risku novērtēšanai, lai nākotnē izvairītos no nepilnībām politikas īstenošanā.

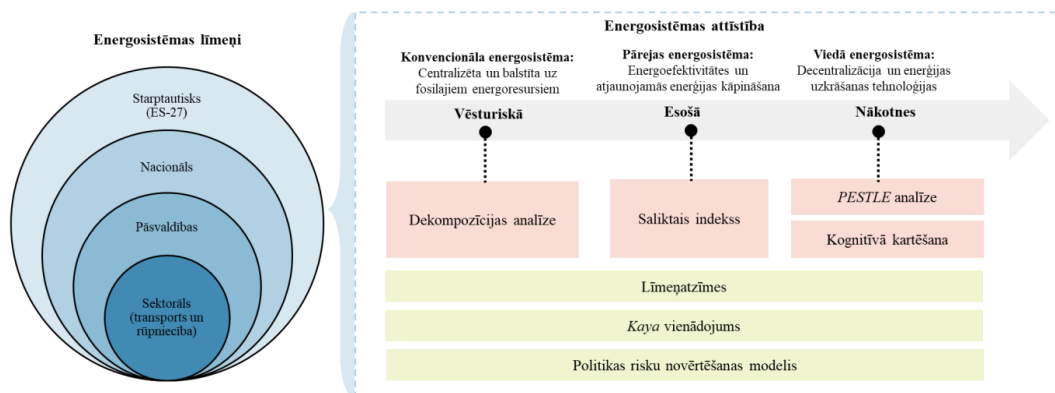
Darba hipotēze

Visaptverošs enerģētikas ilgtspējas novērtēšanas modelis var tik piemērots, lai novērtētu enerģētikas pārejas līmeni un tendences rūpniecībā, transportā un enerģētikas sektorā kopumā, kā arī identificētu labākos prakses risinājumus, ko varētu īstenot, lai sasniegtu Eiropas Zaļā kursa politikas ilgtermiņa mērķus.

Zinātniskā novitāte

Darba zinātniskā novitāte izriet no trīs būtiskākajiem aspektiem, kas tiek piemēroti pētījuma ietvaros – izstrādātās metodes daudzfunkcionalitāte un tvērums, starpdisciplinārā pieeja un plašā ģeogrāfiskā piemērojamība.

Pirmkārt, darbā izstrādāts inovatīvs enerģētikas ilgtspējas novērtēšanas modelis, kas apvieno vairākas unikālas metodes, kas līdz šim nav tikušas apvienotas un izmantotas Latvijas enerģētikas sistēmu padziļinātai analīzei, kā redzams 2. attēlā. Lai pētītu vēsturisko enerģētikas sistēmas attīstību un progresu ilgtspējas virzienā, tika izmantota dekompozīcijas analīze, apvienojot to ar saliktā indeksa metodi, kas ļauj analizēt enerģētikas ilgtspējas dažādos aspektus un salīdzināt labās prakses piemērus. Lai izpētītu pieejamās enerģijas uzkrāšanas tehnoloģiju alternatīvas, kas ir būtiskas enerģētikas sistēmas elastības un ilgtspējas kāpināšanā, tika izmantota *PESTLE* analīze. Savukārt, lai analizētu sociālos faktorus, kas ietekmē pāreju uz viedajām enerģētikas sistēmām, kas ietver enerģijas uzkrāšanas risinājumu ieviešanu vietējā energosistēmā, tika izmantota kognitīvās kartēšanas metode. Lai iegūtu makroekonomisku skatījumu uz klimata neitralitāti un SEG emisiju virzītājspēkiem, tika izmantota *Kaya* identitātes vienādojuma metode, lai salīdzinātu Latvijas progresu emisiju samazināšanā ar Baltijas valstīm un ES dalībvalstīm. Lai izprastu, kas jāņem vērā, veidojot noturīgas enerģētikas politikas un izvairoties no iespējamām kļūdām nākotnē, tika izstrādāts politikas risku novērtēšanas modelis. Šo metožu apvienošanas priekšrocība ir iespēja visaptveroši novērtēt pašreizējo situāciju un progresu enerģētikas ilgtspējas veicināšanā no vairākām dimensijām – tehniskās, vides, ekonomiskās, sociālās un politiskās. Turklāt šajā darbā izstrādātā metode piedāvā padziļinātu enerģētikas politikas analīzi četru dažādu līmeņu energosistēmās – sektoriālā (tostarp rūpniecībā un transportā), vietējā (ar uzsvaru uz pašvaldību enerģētikas sistēmām), nacionālā un starptautiskā.



2. att. Promocijas darba novitāte un zinātniskais ietvars.

Otrkārt, darbā izmantota starpdisciplinārā pieeja, apsverot vairākus enerģētikas ilgtspējas aspektus un iekļaujot makroekonomisko perspektīvu enerģētikas sistēmu analīzē. Šādā veidā modelis palīdz identificēt galvenos stūrakmeņus un iespējas plašākā enerģētikas politikas kontekstā.

Treškārt, šī pētījuma analīzes aptver visu Eiropas Savienību, salīdzinot Latvijas enerģētikas sistēmas attīstību ar ES-27 valstu attīstību. Inovatīvā līmeņatzīmes pieeja ļauj identificēt gan līderus, gan iedzinējus enerģētikas ilgtspējas veicināšanā ES, sniedzot vērtīgus ieskatus par katras valsts relatīvo sniegumu.

Praktiskā nozīme

Promocijas darbam ir liela praktiskā nozīme, jo tas piedāvā vērtīgas, datus balstītas atziņas, kas var ievērojami uzlabot lēmumu pieņemšanu enerģētikas politikā, klimata stratēģijā un ceļvežu izstrādē dažādos energosistēmu līmeņos. Darbs iepazīstina ar dažādām ilgtspējas novērtēšanas metodēm, kas apvieno līmeņatzīmju piemērošanas pieeju un apkopojumu ar vairākiem enerģētiskās ilgtspējas novērtēšanas rādītājiem. Šīs metodes ir paredzētas tiešai izmantošanai politikas veidotājiem, enerģētikas sektora attīstības veidotājiem un tādām ieinteresētajām pusēm kā elektrotīklu operatori, centralizētās siltumapgādes uzņēmumiem, ražošanas uzņēmumiem un transporta infrastruktūras attīstītājiem. Darbā izstrādātās metodes nodrošina praktisku veidu, kā rūpīgi un visaptveroši novērtēt un uzraudzīt enerģētikas ilgtspēju. Līmeņatzīmes pieeja kalpo kā noderīgs rīks, kas palīdz identificēt labās prakses piemērus, kas balstīti statistiskos datos. Izstrādātās metodes var izmantot vietējā, nacionālā un ES līmeņa politikas veidotāji, lai pieņemtu labāk informētus lēmumus, veidotu efektīvu enerģētikas politiku un risinātu izaicinošos jautājumus esošajos enerģētikas un klimata plānošanas procesos.

Zinātniskā darba aprobācija

1. Dolge, K., Kubule, A., Blumberga, D. Composite index for energy efficiency evaluation of industrial sector: sub-sectoral comparison, *Environmental and Sustainability Indicators*, Vol. 8, 2020, 100062, ISSN 2665-9727, doi:10.1016/j.indic.2020.100062.
2. Dolge, K., Blumberga, D. Key Factors Influencing the Achievement of Climate Neutrality Targets in the Manufacturing Industry: LMDI Decomposition Analysis. *Energies*, 2021, 14(23), 8006, doi:10.3390/en14238006.
3. Dolge, K., Barisa, A., Kirsanovs, V., Blumberga, D. "The status quo of the EU transport sector: Cross-country indicator-based comparison and policy evaluation" *Applied Energy*, 2023, Vol. 334, 1.–21. lpp. ISSN 0306-2619, doi:10.1016/j.apenergy.2023.120700.
4. Dolge, K., Blumberga, D. From Targets to Action: Analyzing the Viability of REPowerEU in Achieving Energy Sustainability. *E3S Web of Conferences* 433, 2023. doi:10.1051/e3sconf/202343303003.
5. Dolge, K., Blumberga, D. Transitioning to Clean Energy: A Comprehensive Analysis of Renewable Electricity Generation in the EU-27. *Energies*. 2023; 16(18):6415, doi:10.3390/en16186415.
6. Dolge, K. and Blumberga, D. How Independent is the Energy Sector in the EU? *Energy Proceedings*. 2022, doi:10.46855/energy-proceedings-10212.

7. Dolge, K., Toma, A. S., Grāvelsiņš, A., Blumberga D. Realizing Renewable Energy Storage Potential in Municipalities: Identifying the Factors that Matter. *Environmental and Climate Technologies*. 27(1):271–288. doi:10.2478/rtuct-2023-0021.
8. Dolge, K., Vičmane, L.K, Bohvalovs, Ģ, Blumberga, D. Energy Transition Reality Check: Are Municipalities Meeting the Mark? *Environmental and Climate Technologies*, 2024, Vol. 28, No. 1, 394.–408. lpp. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837, doi:10.2478/rtuct-2024-0031.
9. Dolge, K., Grāvelsiņš, A., Vičmane, L.K, Blumberga, A., Blumberga, D. What Drives Energy Storage Deployment in Local Energy Transitions? Stakeholders' perspective. *Smart energy*. doi:10.1016/j.segy.2024.100146.
10. Dolge, K., Blumberga, D. Economic growth in contrast to GHG emission reduction measures in Green Deal context. *Ecological Indicators*, 2021, Vol. 130, Article number 108153, doi:10.1016/j.ecolind.2021.108153.
11. Dolge, K. , Blumberga, D. Composite risk index for designing smart climate and energy policies. *Environmental and Sustainability Indicators*, 2021, Vol. 12, 100159, doi:10.1016/j.indic.2021.100159.
12. Dolge, K., Blumberga, D. “What are the Linkages between Climate and Economy? Bibliometric Analysis” *Environmental and Climate Technologies*, Vol. 26, No. 1, 2022, 616.–629. lpp, doi:10.2478/rtuct-2022-0047.

Citas zinātniskās publikācijas

1. Dolge, K., Kubule, A., Rozakis, S., Gulbe, I., Blumberga, D., Krievs, O. Towards Industrial Energy Efficiency Index. *Environmental and Climate Technologies*, 2020, Vol. 24, No. 1, 419.–430. lpp. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837. doi:10.2478/rtuct-2020-0025.
2. Dolge, K., Āzis, R., Lund, P., Blumberga, D. Importance of Energy Efficiency in Manufacturing Industries for Climate and Competitiveness. *Environmental and Climate Technologies*. 25(1), 306.–317. lpp. doi:10.2478/rtuct-2021-0022.
3. Dolge, K., Balode, L., Laktuka, K., Kirsanovs, V., Barisa, A., Kubule, A. A Comparative Analysis of Bioeconomy Development in European Union Countries. *Environmental Management*, 2023, Vol. 70, 215.–233. lpp. ISSN 0364-152X, doi:10.1007/s00267-022-01751-3.
4. Dolge, K., Bohvalovs, Ģ., Kirsanovs, V., Blumberga, A., Blumberga, D. Bioeconomy in the Shade of Green Deal: The System Dynamic Approach. *Environmental and Climate Technologies*, 2022, Vol. 26, No. 1, 1221.–1233. lpp. e-ISSN 2255-8837, doi:10.2478/rtuct-2022-0092.
5. Balode, L., Dolge, K., Blumberga, D. Sector-Specific Pathways to Sustainability: Unravelling the Most Promising Renewable Energy Options. *Sustainability*, 2023, Vol. 15, No. 16, Article number 12636. ISSN 2071-1050, doi:10.3390/su151612636.
6. Balode, L., Dolge, K., Blumberga, D. The Contradictions between District and Individual Heating towards Green Deal Targets. *Sustainability*, 2021, Vol. 13, No. 6, 3370.–3370. lpp. ISSN 2071-1050, doi:10.3390/su13063370.

7. Kudurs, E., Atvare, E., Dolge, K., Blumberga, D. Ranking of Electricity Accumulation Possibilities: Multicriteria Analysis. *Applied Sciences*, 2023, Vol. 13, No. 13, Article number 7349. e-ISSN 2076-3417, doi:10.3390/app13137349.
8. Čerdancova, L., Dolge, K., Kudurs, E., Blumberga, D. Energy Efficiency Benchmark in Textile Manufacturing Companies. *Environmental and Climate Technologies*, 2021, Vol. 25, No. 1, 331.–342. lpp. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837, doi:10.2478/rtuect-2021-0024.
9. Balode, L., Dolge, K., Lund, P., Blumberga, D. How to Assess Policy Impact in National Energy and Climate Plans. *Environmental and Climate Technologies*, 2021, Vol. 25, No. 1, 405.–421. lpp. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837, doi:10.2478/rtuect-2021-0030.
10. Bariss, U., Dolge, K., Kaķis, R., Blumberga, D. Emission Trading Impact to GHG Changes in Power Production towards Green Deal Target. *Conference Proceedings, Latvija, Riga, IEEE*, 2021, 473.–477. lpp. ISBN 978-1-6654-3805-6. e-ISSN 978-1-6654-3804-9, doi:10.1109/RTUCON53541.2021.9711734.
11. Tukulis, A., Dolge, K., Blumberga, A., Blumberga, D. Energy Efficiency Improvement From Viewpoint of Enterprises. *Energy Proceedings*. 2021, 1.–6. lpp. ISSN 2004-2965, doi:10.46855/energy-proceedings-9352.
12. Pakere, I., Lauka, D., Dolge, K., Vītolīņš, V., Poļikarpova, I., Holler, S., Blumberga, D. Climate Index for District Heating System. *Environmental and Climate Technologies*, 2020, Vol. 24, No. 1, 406.–418. lpp. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837, doi:10.2478/rtuect-2020-0024.
13. Teirumnieka, Ē., Patel, N., Laktuka, K., Dolge, K., Veidenbergs, I., Blumberga, D. Sustainability Dilemma of Hemp Utilization for Energy Production. *Energy Nexus*, 2023, Vol. 11, Article number 100213. e-ISSN 2772-4271, doi:10.1016/j.nexus.2023.100213.
14. Bohvalovs, Ģ., Kalnbalkīte, A., Pakere, I., Vanaga, R., Kirsanovs, V., Lauka, D., Prodanuks, T., Laktuka, K., Dolge, K., Zundāns, Z., Brēmane, I., Blumberga, D., Blumberga, A. Driving Sustainable Practices in Vocational Education Infrastructure: A Case Study from Latvia. *Sustainability*, 2023, Vol. 15, No. 14, Article number 10998. ISSN 2071-1050, doi:10.3390/su151410998.

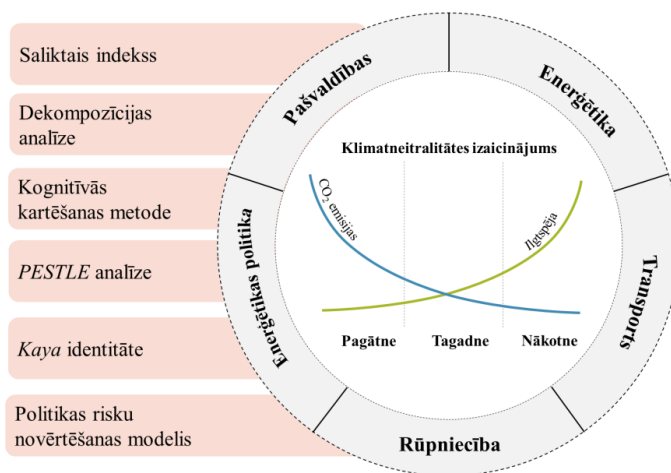
Darba aprobācija zinātniskajās konferencēs

1. Dolge, K., Kubule, A., Krievs, O., Blumberga, D. Evaluation Methodology of Industrial Energy Efficiency Index. *International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2020*, Riga, Latvia, May 13–15, 2020.
2. Dolge, K., Āzis, R., Blumberga, D. Can Manufacturing Industry Produce More by Consuming Less? *International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2021*, Riga, Latvia, May 12–14, 2021.
3. Dolge, K., Blumberga, D. Composite transport sustainability index: cross-country assessment towards climate neutrality in the context of the European Green Deal targets. *International Conference on Applied Energy*, 2021, online, Nov. 29–Dec. 2, 2021.

4. Dolge, K. and Blumberga, D. What are the Linkages between Climate and Economy? Bibliometric Analysis. *International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2022*, Riga, Latvia, May 11–13, 2022.
5. Dolge, K. and Blumberga, D. How Independent is the Energy Sector in the EU? *International Conference on Applied Energy*, 2022, online, Aug. 8–11, 2022.
6. Dolge, K., Toma, A.S., Grāvelsiņš, A., Blumberga, D. Multidimensional Factors Influencing Renewable Energy Storage Deployment: PESLTE Analysis. *International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2023*, Riga, Latvia, May 10–12, 2023.
7. Dolge, K., Blumberga, D. From Targets to Action: Analyzing the Viability of REPowerEU in Achieving Energy Sustainability. *International Conference on Renewable Energy and Environment Engineering*, 2023, Brest, France, Aug. 23–25, 2023.
8. Dolge, K., Vičmane, L.K., Blumberga, D. Unlocking the Potential of Renewable Energy: Analyzing Energy Storage Deployment and Policy in the EU. *20th International Conference on Sustainable Energy Technologies*, 2023, Nottingham, UK, Aug. 15–17, 2023.
9. Dolge, K., Vičmane, L.K., Bohvalovs, Ģ., Blumberga, D. Are BSR Municipalities on Track for Energy Transition? *International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2024*, Riga, Latvia, May 15–17, 2024.

Promocijas darba struktūra

Promocijas darbs balstīts piecās būtiskās tematiskās sadaļās, kas aprobētas saistošajos publicētajos rakstos starptautiski atzītos zinātniskajos žurnālos, kā arī piedaloties starptautiskajās zinātniskajās konferencēs. 1. tabulā apkopoti zinātniskie raksti, kas izmantoti šajā darbā, grupēti pēc būtiskākajām sadaļām. Promocijas darbs strukturēts kā ceļojums cauri enerģētikas sektora attīstībai no vēstures uz nākotni, tiecoties uz pakāpenisku emisiju samazināšanu un ilgtspējas kāpināšanu, kas tiek analizēts, izmantojot dažādu metožu kombināciju, kā ilustrēts 3. attēlā.



3. att. Promocijas darba struktūra.

Darbā ir ievads un četras galvenās nodaļas: (1) literatūras analīze; (2) pētījuma metodikas; (3) rezultāti un diskusija; (4) secinājumi. Ievadā izklāstīts darba mērķis un hipotēze, aprakstīta pētījuma aktualitāte, novitāte, praktiskā nozīme un darba struktūra, kā arī apkopota pētījuma rezultātu aprobācija.

1. tabula

Promocijas darbā izmantotās zinātniskās publikācijas

Sadaļa	Nr.	Publikācijas nosaukums
Rūpniecības sektors	1.	<i>Composite Index for Energy Efficiency Evaluation of Industrial Sector: Sub-Sectoral Comparison.</i>
	2.	<i>Key Factors Influencing the Achievement of Climate Neutrality Targets in the Manufacturing Industry: LMDI Decomposition Analysis.</i>
Transporta sektors	3.	<i>The Status Quo of the EU Transport Sector: Cross-Country Indicator-Based Comparison and Policy Evaluation.</i>
Enerģētikas sektors	4.	<i>From Targets to Action: Analyzing the Viability of REPowerEU in Achieving Energy Sustainability.</i>
	5.	<i>Transitioning to Clean Energy: A Comprehensive Analysis of Renewable Electricity Generation in the EU-27.</i>
	6.	<i>How Independent is the Energy Sector in the EU?</i>
Pašvaldības energosistēma	7.	<i>Realizing Renewable Energy Storage Potential in Municipalities: Identifying the Factors that Matter.</i>
	8.	<i>Energy Transition Reality Check: Are Municipalities Meeting the Mark?</i>
	9.	<i>What Drives Energy Storage Deployment in Local Energy Transitions? Stakeholders' perspective.</i>
Klimata un enerģētikas politika	10.	<i>Economic Growth in Contrast to GHG Emission Reduction Measures in Green Deal Context.</i>
	11.	<i>Composite Risk Index for Designing Smart Climate and Energy Policies.</i>
	12.	<i>What are the Linkages between Climate and Economy? Bibliometric Analysis.</i>

Pirmajā nodaļā aprakstīta literatūras analīze par esošo klimata un enerģētikas politiku, kas regulē enerģētikas nozares ilgtermiņa attīstību, kā arī sniegts statistiskais apkopojums par Latvijas enerģētikas sistēmas raksturojumu salīdzinājumā ar ES-27. Otrajā nodaļā aprakstītas izmantotās pētniecības metodes, iezīmējot galvenās pieejas saliktā indeksa, dekompozīcijas analīzes un kognitīvās kartēšanas metodes izstrādē. Trešajā nodaļā iekļauts rezultātu un diskusijas apraksts, kas strukturēts piecos iepriekšminētajos segmentos.

Rezultātu apraksts sākas ar analīzi par mazāk piesārņojošo sektoru – rūpniecību, tas turpinās ar padziļinātu analīzi par visvairāk piesārņojošajiem sektoriem – transportu un enerģētiku. Enerģētikas sektora rezultāti aprakstīti divās galvenajās daļās – nacionālais energosektors un valsts SEG emisiju virzītājspēku analīze kopējā ekonomikā, kam seko pašvaldību enerģētikas sistēmu rezultātu analīze. Tālāk aprakstīti būtiskākie rezultāti, kas saistīti ar pāreju uz viedajām energosistēmām, kas ietver enerģijas uzkrāšanas tehnoloģiju ieviešanu vietējās energosistēmās. Visbeidzot tiek izklāstīti būtiskākie rezultāti, kas iegūti, izmantojot izstrādāto politikas risku novērtēšanas metodi, kas identificē būtiskākos izaicinājumus klimata un enerģētikas politikas veidošanā. Promocijas darba noslēgumā apkopoti būtiskākie darba secinājumi.

1. LITERATŪRAS ANALĪZE

Enerģētiskās pārejas politika

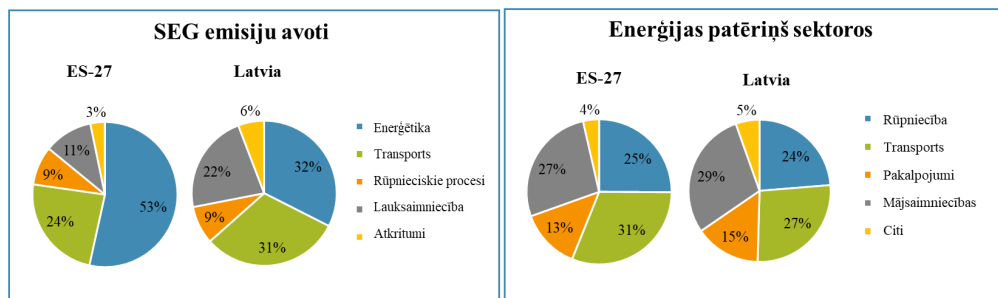
Zaļā kursa stratēģija ir izvirzījusi mērķi Eiropas Savienībai kļūt par klimatneitrālu kontinentu līdz 2050. gadam, vienlaikus apvienojot ambiciozu klimata pārmaiņu mazināšanas rīcību ar ekonomikas izaugsmes un labklājības veicināšanas aktivitātēm [9]. Enerģētikas sektors veido lielāko daļu ES siltumnīcefekta gāzu emisiju [1], tāpēc šo ambiciozo klimata mērķu sasniegšana prasīs proaktīvu pasākumu īstenošanu, kas vērsti uz dekarbonizāciju un energoefektivitātes uzlabošanu enerģētikas nozarē [7]. Šajā kontekstā Eiropas Parlaments ir paziņojis, ka ES Atjaunojamās enerģijas direktīva tiks pastiprināta un ir plānots palielināt saistošo atjaunojamās enerģijas mērķi no 32 % līdz vismaz 42,5–45 % līdz 2030. gadam, gandrīz divkāršojot AER īpatsvaru ES enerģijas patēriņā, salīdzinot ar 2022. gadu [10]. Nākotnē, attīstoties viedajām enerģētikas sistēmām, ievērojami pieaugs galalietotāju enerģijas patēriņa elektrifikācija, jo tiek prognozēts, ka elektroenerģijas pieprasījums ES līdz 2050. gadam pieaugs vismaz par 32 %, salīdzinot ar pašreizējo līmeni [11]. Šo pārmaiņu virzīs arvien plašāka tādu elektroierīču kā siltumsūkņi un dzesēšanas sistēmas izmantošana, kā arī centieni dekarbonizēt transportu [12]. Papildus tam *REPowerEU* iniciatīva, kuras mērķis ir panākt pilnīgu ES neatkarību no Krievijas energoresursiem kā dabasgāzes, naftas un ogļēm, uzsver steidzamu nepieciešamību ES dalībvalstīm tuvākajos gados strauji paplašināt savas AER ražošanas jaudas [13].

Pāreja uz šiem mainīgajiem enerģijas avotiem prasa lielāku elastību un rada papildu sarežģītumus enerģētikas sistēmas infrastruktūrā. Daļa no šīs sarežģītības slēpjas atjaunojamās enerģijas nepastāvīgajā raksturā. Lai gan atjaunojamās enerģijas ražošana ir būtiska, tā ne vienmēr sakrīt ar augstākā pieprasījuma periodiem, tādējādi radot spiedienu uz elektroapgādes sistēmām svārstību dēļ. Saules un vēja enerģijas neparedzamība var izraisīt enerģijas pārpalikumu vai trūkumu. Efektīva papildu enerģijas uzglabāšana laikā, kad pieprasījums ir zems, un tās izlaišana nepieciešamības gadījumā ir būtiska. Enerģijas uzglabāšanas tehnoloģiju izmantošana ir ievērojami palielinājusies visā pasaulē, pateicoties tās galvenajai lomai tīkla pārvaldībā. Šī sistēma nodrošina rezerves enerģiju, lielāku elastību un veicina emisiju samazināšanu.

Enerģētikas pāreja ES liek pārveidot un pielāgot visu enerģētikas sistēmas infrastruktūru. Valstu enerģētikas sistēmas piedzīvo pāreju no lielām, centralizētām fosilā kurināmā elektrostacijām uz decentralizētām, mazākām atjaunojamās enerģijas ražošanas stacijām [14]. Decentralizācija ir veicinājusi pašvaldību aktīvāku iesaisti enerģētikas plānošanā un nozares dekarbonizācijā, lai sasniegtu valstu un globālos klimatneitralitātes mērķus [15]. Viedās energosistēmas decentralizētās struktūras rezultātā pašvaldības ir kļuvušas par galveno reģionālās klimatneitralitātes stūrakmeni. Pašvaldību komunālie uzņēmumi uzņemas arvien lielāku atbildību un piedalās reģionālās enerģētikas infrastruktūras attīstībā [15]. Pašvaldības darbojas gan kā enerģijas patērētāji, gan kā enerģētikas plānotāji, pakalpojumu sniedzēji un konsultanti enerģijas galalietotāju grupām [15], [16]. Pašvaldībām pieder un tās pārvalda reģionālās enerģētikas infrastruktūras objektus, kas ir atjaunojamās enerģijas ražošanas izklaidētā rakstura un enerģētikas nozares decentralizētās struktūras dēļ.

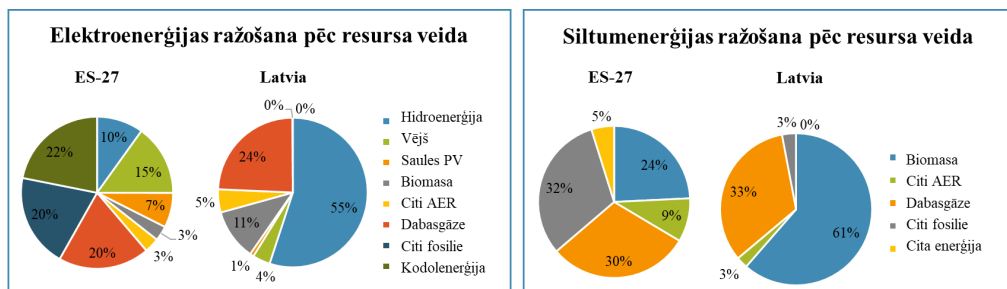
Vispārīgais enerģētikas sektora raksturojums ES un Latvijā

Enerģētikas sektors, ieskaitot transportu, ir galvenais SEG emisiju avots gan ES-27, gan Latvijā, 2022. gadā veidojot attiecīgi 77 % un 63 % no kopējām SEG emisijām (1.1. att.). Transporta, mājsaimniecību un rūpniecības sektori veidoja lielāko daļu no kopējā enerģijas galapatēriņa gan ES-27, gan Latvijā. ES-27 transporta sektors veidoja lielāko īpatsvaru (31 %), savukārt Latvijā – mājsaimniecības (29 %). Rūpniecība ir trešais lielākais enerģijas patērētājs gan ES-27, gan Latvijā [17].



1.1. att. SEG emisijas un enerģijas patēriņš sektoru sadalījumā ES un Latvijā 2022. gadā [18], [17].

ES-27 valstīs AER 2022. gadā veidoja 38 % no kopējās elektroenerģijas ražošanas, kur lielākais īpatsvars bija vēja enerģijai (15 %) un hidroenerģijai (10 %) (1.2. att.). Saules PV veidoja 7 %, savukārt biomasas un citi AER, tostarp biogāze, ģeotermālā, paisuma un viļņu enerģija, kopumā veidoja 3 %, savukārt kodolenerģija – 22 %. Fosilie kurināmie, ieskaitot dabasgāzi un citus avotus, veidoja 20 % no kopējās elektroenerģijas ražošanas [18]. 2022. gadā Latvijas elektroenerģijas ražošana bija mazāk diversificēta, tās dominējošo daļu veidoja hidroenerģija – 55 %. Biomasas veidoja 11 %, vēja un saules PV – 5 %, citi AER – 5 %. Dabasgāze veidoja 24 %, kopējo AER īpatsvaru veidojot 76 % apmērā.



1.2. att. Bruto elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošana pēc resursa ES un Latvijā 2022. gadā [17].

Siltumenerģijas sektors joprojām ir mazāk dekarbonizēts, salīdzinot ar elektroenerģijas ražošanu. ES-27 valstīs fosilie kurināmie 2022. gadā veidoja 62 % no kopējās bruto siltumenerģijas ražošanas, kur dabasgāze veidoja 30 %, citi fosilie kurināmie – 32 %. Liela nozīme bija biomasai, veidojot 24 %, savukārt citi AER, tostarp ģeotermālā un saules termālā enerģija, veidoja 9 %. Latvijā 2022. gadā bruto siltumenerģijas ražošanā dominēja biomasas, kas veidoja 61 % no kopējā apjoma. Siltuma ražošanai plaši tika izmantotas koksnes granulas, šķelda un citi koksnes produkti. Dabasgāze bija otrs lielākais siltuma ražošanas avots Latvijā [17].

2. METODIKA

2.1. Saliktais indekss

Kopējā saliktā ilgtspējas indeksa aprēķināšanas procedūra ietver sešus būtiskākos soļus: (1) indikatoru izvēle un grupēšana; (2) indikatoru ietekmes novērtēšana; (3) datu normalizācija atbilstoši 2.1.–2.2. vienādojumam; (4) indikatoru nozīmīguma noteikšana, piemērojot novērtējuma svarus; (5) indikatoru apvienošana atbilstoši 2.3.–2.4. vienādojumam; (6) līmeņatzīmes izstrāde, izmantojot indeksa vidējās svērtās vērtības.

$$I_N^+ = \frac{I_{\text{act}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}, \quad (2.1)$$

$$I_N^- = I - \frac{I_{\text{act}} - I_{\text{min}}}{I_{\text{max}} - I_{\text{min}}}, \quad (2.2)$$

$$I_D = \sum w \times I_N^+ + \sum w \times I_N^-, \quad (2.3)$$

$$CI = \sum w \times I_D, \quad (2.4)$$

kur

I_N^+ un I_N^- – pozitīvās un negatīvās ietekmes normalizētie rādītāji;

I_{act} – faktiskā rādītāja vērtība;

I_{max} un I_{min} – maksimālā un minimālā rādītāja vērtība;

I_D – konkrētās dimensijas apakšindekss;

w – rādītāja noteiktā svara vērtība;

CI – saliktais galaindeks.

Šajā darbā saliktā indeksa metodoloģija tika izmantota, lai izstrādātu indeksus vairākos apakšlīmeņos. 2.1. tabulā apkopoti izstrādātie saliktie indeksi un izmantoto metožu raksturojums.

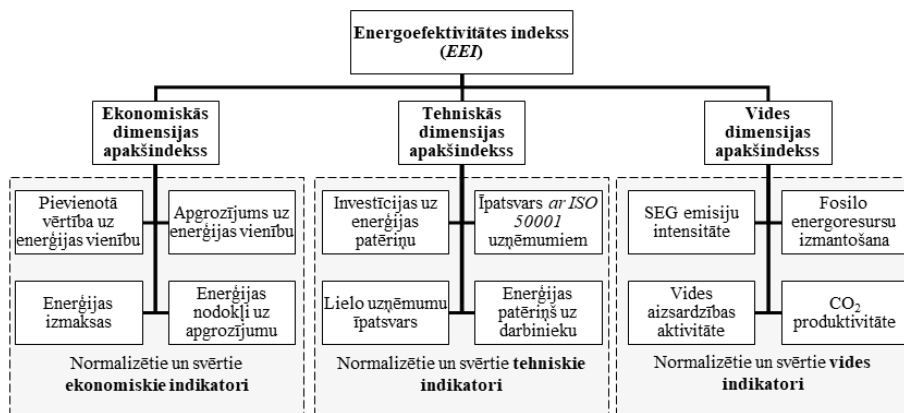
2.1. tabula

Kopsavilkums ar izstrādātajiem saliktajiem indeksiem

Līmenis	Saliktais indekss	Gads	Salīdzinājums	Dimensijas	Indikatori	Metode	Svars
Rūpniecība	Rūpniecības energoefektivitātes indekss	2017	Sektoru starpā	3	12	Kvantitatīva	Vienāds
Transports	Transporta ilgtspējas indekss	2017	Valstu starpā	4	15	Kvantitatīva	Vienāds
Nacionālā energosistēma	Enerģētikas ilgtspējas indekss	2019	Valstu starpā	n/a	6	Kvantitatīva	Vienāds
Pašvaldības energosistēma	Pašvaldības enerģijas pārejas indekss	2022	Pašvaldību starpā	4	9	Jaukta	Vienāds
Enerģijas uzkrāšana	PESTLE saliktais indekss	2023	Tehnoloģiju starpā	6	19	Jaukta	Ekspertu
Politika	Politikas risku indekss	2021	Politiku starpā	6	24	Jaukta	Vienāds

Rūpniecības energoefektivitātes indekss

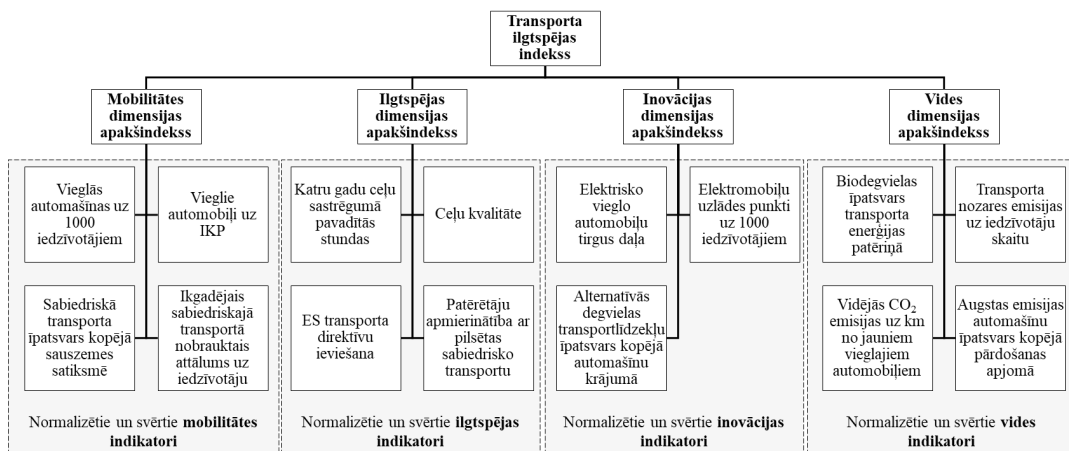
Rūpniecības energoefektivitātes indekss tika izstrādāts, lai analizētu enerģētikas ilgtspējas līmeni 18 Latvijas rūpniecības apakšsektoros 2017. gadā. Izstrādātais saliktais indekss ietvēra 12 dažādus indikatorus, kas tika sagrupēti trīs galvenajās energoefektivitātes dimensijās – ekonomiskajā, tehniskajā un vides (2.1. att.).



2.1. att. Rūpniecības energoefektivitātes indeksa indikatori un klasifikācija.

Transporta ilgtspējas saliktais indekss

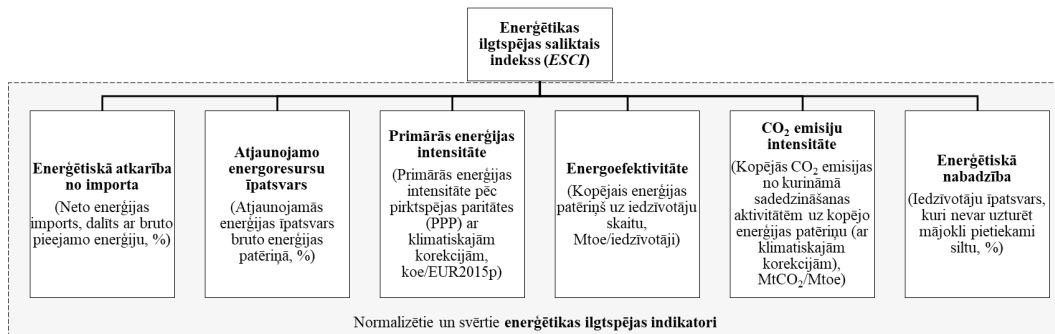
Transporta ilgtspējas indekss tika izstrādāts, lai novērtētu transporta sektora kopējo ilgtspējas līmeni visās ES dalībvalstīs (izņemot Maltu) un Apvienotajā Karalistē, izmantojot saliktā ilgtspējas indeksa metodi starpvalstu salīdzinājumam. Valstis tika salīdzinātas, izmantojot 15 transporta ilgtspējas indikatorus, kas grupēti četrās dimensijās (mobilitāte, ilgtspēja, inovācijas un vide), balstoties pieejamajos 2017. gada datos (2.2. att.).



2.2. att. Transporta ilgtspējas indeksa indikatori un klasifikācija.

Enerģētikas ilgtspējas indekss

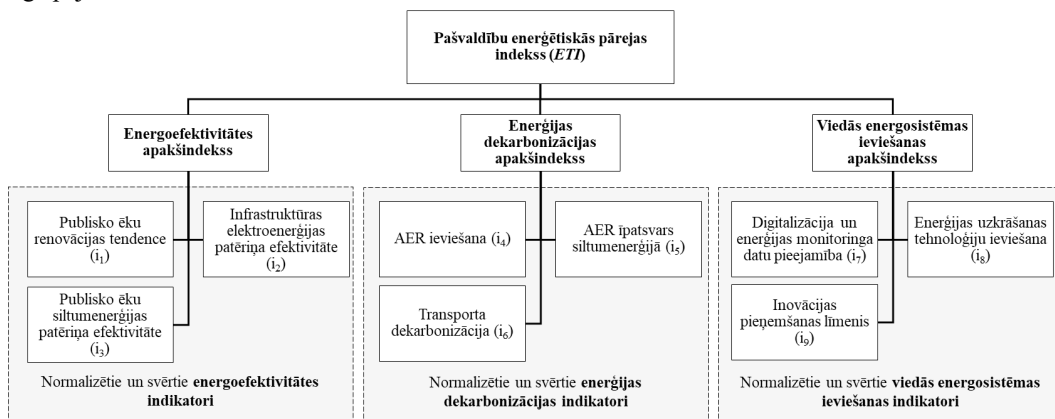
Enerģijas ilgtspējas saliktais indekss (*ESCI*) tika izveidots, lai salīdzinātu dažādus enerģijas ilgtspējas līmeņus 27 ES dalībvalstīs. Izveidotais saliktais indekss ietvēra sešus rādītājus, kas raksturo enerģijas ilgtspējas komponentes – enerģijas importa atkarību, AER īpatsvaru, primārās enerģijas intensitāti, energoefektivitāti, CO₂ emisiju intensitāti un enerģētisko nabadzību. 2.3. attēlā redzami izvēlētie enerģijas ilgtspējas saliktā indeksa rādītāji. Dati tika izvēlēti par 2019. gadu.



2.3. att. Enerģētikas ilgtspējas indeksa (*ESCI*) indikatori.

Pašvaldību enerģētiskās pārejas indekss

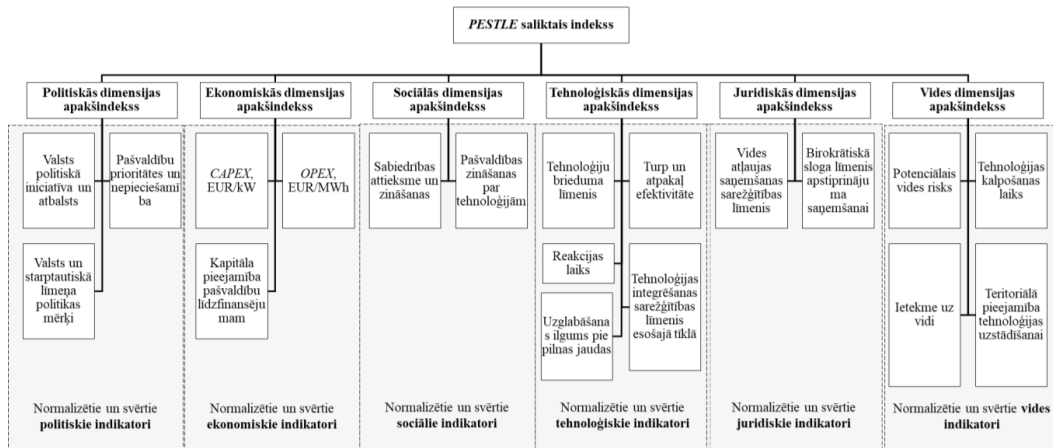
Pašvaldību enerģētiskās pārejas indekss (*ETI*) tika izstrādāts, ietverot deviņus indikatorus, kas tika grupēti trīs galvenajās dimensijās – energoefektivitātes, enerģijas dekarbonizācijas un viedās enerģijas sistēmas ieviešanas dimensijā (2.4. att.). Tika analizētas piecas Baltijas jūras reģiona pašvaldības – Gulbenes pašvaldība (Latvija), Tukuma pašvaldība (Latvija), Taurages pašvaldība (Lietuva), Tomelillas pašvaldība (Zviedrija) un Veihervos pašvaldība (Polija), novērtējot to enerģētiskās pārejas ilgtspēju.



2.4. att. Pašvaldību enerģētiskās pārejas indeksa indikatori un klasifikācija.

Enerģijas uzkrāšanas tehnoloģiju *PESTLE* saliktais indekss

Lai novērtētu faktoros, kas ietekmē dažādu AER uzkrāšanas tehnoloģiju ieviešanu pašvaldību kontekstā, tika lietots *PESTLE* konceptuālais ietvars. Tehnoloģiju salīdzināšanai, pamatojoties uz *PESTLE* analīzes rādītājiem, tika izmantota saliktā indeksa metode, lai kvantificētu un izmērītu katrai tehnoloģijai ietekmējošos faktoros. *PESTLE* salikto indeksu indikatori redzami 2.5. attēlā.



2.5. att. Enerģijas uzkrāšanas tehnoloģiju *PESTLE* indeksa indikatori un klasifikācija.

Izstrādātais modelis tika aprobēts gadījuma izpētē Gulbenes pašvaldībā, kur tika salīdzinātas četras alternatīvas enerģijas uzglabāšanas tehnoloģijas – litija jonu baterijas elektroenerģijas uzglabāšanai, siltumenerģijas uzglabāšana (karstā ūdens akumulācijas tvertnes), enerģijas uzglabāšana ūdeņraža veidā un enerģijas uzglabāšana biometāna veidā. Lai aprēķinātu *PESTLE* salikto indeksu, tika izmantoti ekspertu svāra koeficienti. Veicot pašvaldības pārstāvju aptaujas, tika noteiktas ietekmes svāru vērtības katrai *PESTLE* dimensijai: politiskajai dimensijai – 0,32, ekonomiskajai – 0,27, sociālajai – 0,13, tehnoloģiskajai – 0,10, juridiskajai – 0,08, vides – 0,09.

Politikas risku indekss

Riska matricas konceptuālais ietvars kopā ar salikto indeksu metodoloģiju tika izmantots, lai izveidotu politisko risku indeksu, kas ietver 24 riska rādītājus, grupētos sešās galvenajās riska kategorijās, kā redzams 2.6. attēlā. Riska matricas ietvars apvieno divas galvenās komponentes: (1) riska rašanās varbūtību vai iespējamību; (2) seku ietekmes būtiskumu, kas radīsies riska iestāšanās rezultātā [19]. Riska vērtējums tiek aprēķināts kā riska iespējamības un seku būtiskuma vērtējumu reizinājums, kā parādīts 2.5. vienādojumā. Iegūtie riska vērtējumi tika normalizēti, svērti un apkopoti.

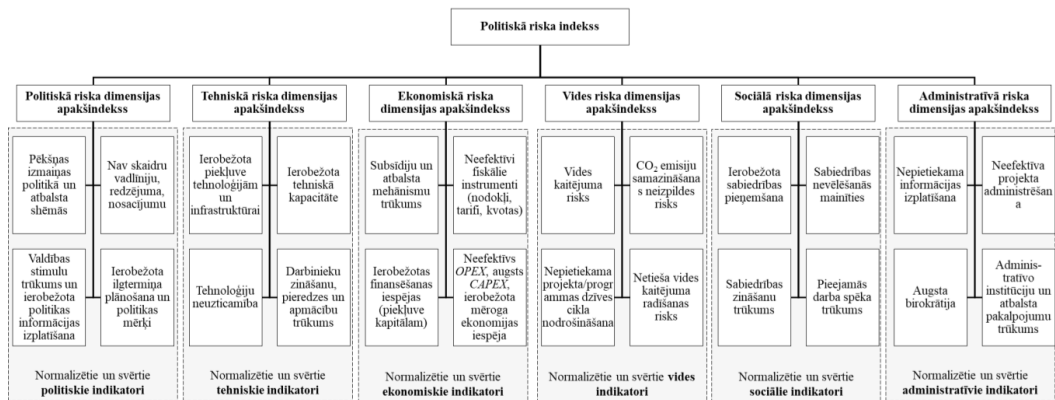
$$R_i = R_{\text{likelihood}} \times R_{\text{consequence}}, \quad (2.5)$$

kur

R_i – riska vērtējums;

$R_{\text{likelihood}}$ – vērtējums riska varbūtībai;

$R_{\text{consequence}}$ – vērtējums riska seku būtiskumam.



2.6. att. Politikas risku indeksa indikatori un klasifikācija.

Modelis tika lietots, lai novērtētu piecus klimata politikas instrumentus: vēja enerģijas parka izbūvi (1. gadījuma izpēte); energoefektivitātes monitoringa sistēmas programmu (2. gadījuma izpēte); klimata finanšu instrumentu (3. gadījuma izpēte); decentralizētās enerģijas ģenerācijas attīstību (4. gadījuma izpēte); centralizētās enerģijas ģenerācijas attīstību (5. gadījuma izpēte). Pieci enerģētikas eksperti izvērtēja katru gadījuma izpēti un piešķīra attiecīgos vērtējumus.

2.2. Dekompozīcijas analīze

Šajā pētījumā tika izmantota logaritmiskās vidējās Divisijas indeksa (*LMDI*) dekompozīcijas analīzes aditīvā pieeja, lai izpētītu galvenos CO₂ un siltumnīcefekta gāzu emisiju izmaiņu virzītājspēkus dažādos sektoros (rūpniecībā, transportā, enerģētikā un kopējā ekonomikā), atjaunojamo energoresursu elektroenerģijas ražošanu un neto enerģijas importu noteiktā laika posmā. 2.2. tabulā sniegts pārskats par izstrādātajām *LMDI* analīzēm.

2.2. tabula

Kopsavilkums ar izstrādātajām *LMDI* dekompozīcijas analīzēm

Līmenis	Mērāmais rādītājs (Y)	Ietekmes faktori (X _n)	Gadi	Salīdzinājums (i)
Rūpniecība	Rūpniecības ar enerģiju saistītās CO ₂ emisijas	Aktivitāte, strukturālais, energointensitāte, kurināmā sadalījums, emisiju intensitāte	1995–2019	Sarp sektoriem
Transports	SEG emisijas no kurināmā sadedzināšanas transportā	Emisiju intensitāte, AER pāreja, energointensitāte, ekonomiskā izaugsme, populācijas pieaugums	2010–2019	Sarp valstīm
Nacionālā enerģētika	CO ₂ emisijas no kurināmā sadedzināšanas	Emisiju intensitāte, energointensitāte, ekonomiskā izaugsme, populācijas pieaugums	2015–2019	Sarp valstīm
Nacionālā AER	Bruto saražotā elektroenerģija no AER	AER īpatsvars, energointensitāte, AER kapacitātes produktivitāte, AER ieviešana uz iedzīvotāju, populācijas pieaugums	2012–2021	Sarp valstīm Sarp tehnoloģijām
Energo-neatkarība	Neto energoresursu importi	Energoatkarība, energoefektivitāte, ekonomiskā izaugsme, populācijas pieaugums	1995–2020	Sarp valstīm
Ekonomika: Kaya	Kopējās SEG emisijas	Emisiju intensitāte, energointensitāte, ekonomiskā izaugsme, populācijas pieaugums	2010–2019 Prognoze 2030	Sarp valstīm

Pētāmā rādītāja (Y) izmaiņas noteiktā laika periodā tiek izteiktas kā daudzu skaidrojošu faktoru (X_n) rezultāts, kā norādīts 2.6. vienādojumā (2.6), kas iegūts no [20].

$$Y = X_1 \times X_2 \times X_3 \times \dots \times X_n, \quad (2.6)$$

kur

Y – indikators, kas tiek analizēts,

X_n – ietekmes faktori, kas ietekmē izmaiņas indikatorā Y .

Kopējā rādītāja Y izmaiņas no sākotnējā gada 0 līdz gadam T , tāpēc Y bāzes gadā $Y^0 = \sum_i X_1^0 X_2^0 X_3^0 X_n^0$ un $Y^T = \sum_i X_1^T X_2^T X_3^T X_n^T$. Rādītāja Y izmaiņas starp gadu 0 un gadu T tiek noteiktas, izmantojot *LMDI* I aditīvās dekompozīcijas analīzes tehniku, kā norādīts 2.7. vienādojumā.

$$\Delta Y = Y^T - Y^0 = \Delta Y_{X1} + \Delta Y_{X2} + \Delta Y_{X3} + \Delta Y_{Xn}, \quad (2.7)$$

kur

ΔY_{Xn} – efekts uz Y no izmaiņām ietekmes faktorā X_n .

Katrs efekts tiek tālāk izteikts, izmantojot 2.8. vienādojumu.

$$\Delta Y_{Xn} = \sum_i \frac{Y^T - Y^0}{\ln Y - \ln Y^0} \ln \frac{X_{n1}^T}{X_{n1}^0}, \quad (2.8)$$

kur

Y^T – indikatora vērtība nākotnes gadā T ,

Y^0 – indikatora vērtība sākotnējā gadā,

i – pētāmais subjekts (piemēram, valsts, sektors, tehnoloģija).

Rūpniecības sektors

Kopējās ar enerģiju saistītās CO_2 emisijas rūpniecībā tika noteiktas kā visu rūpniecības apakšsektoru (saskaņā ar *NACE* 2. redakcijas nomenklatūru) ar enerģiju saistīto CO_2 emisiju summa. CO_2 emisijas rūpniecībā tika noteiktas atbilstoši dekompozīcijas 2.9. vienādojumam.

$$C = \sum_{ij} C_{ij} = \sum_{ij} Q \frac{Q_i E_i}{Q_i E_i} \frac{C_{ij}}{E_{ij}} = \sum_i Q S_i I_i F_{ij} M_{ij}, \quad (2.9)$$

kur

C – kopējās agregētās ar enerģiju saistītās CO_2 emisijas;

Q – kopējie ražošanas apjomi, izteikti kā kopējā pievienotā vērtība;

E – kopējais enerģijas patēriņš;

S_i – rūpniecības ražošanas aktivitāte;

I_i – energointensitāte;

F_{ij} – kurināmā sadalījums;

M_{ij} – emisiju faktors.

Apzīmējums i apzīmē apakšsektora atbilstošo vērtību; tā neesamība norāda kopējo rūpniecības vērtību. Apzīmējums j apzīmē enerģijas produkta veidu kopējā enerģijas bilancē. Tālākā dekompozīcijas analīze tika veikta, pamatojoties uz 2.7.–2.8. vienādojumu.

Transporta sektors

LMDI dekompozīcijas analīze tika piemērota, lai novērtētu kopējās SEG emisiju izmaiņas transporta sektorā, ko nosaka emisiju intensitātes efekts, AER pārejas efekts, enerģijas intensitātes efekts, ekonomiskās izaugsmes efekts, iedzīvotāju skaita pieauguma efekts. Tas tika noteikts 28 ES valstīs, izmantojot dekompozīcijas 2.10. vienādojumu, kas izstrādāts, balstoties [21], [22].

$$GHG = \sum_i GHG_i = \sum_i \frac{GHG}{FFC} \cdot \frac{FFC}{TEC} \cdot \frac{TEC}{GDP} \cdot \frac{GDP}{POP} \cdot POP = \sum_i EM_i \cdot RES_i \cdot EN_i \cdot GDP_i \cdot POP_i, \quad (2.10)$$

kur

GHG – SEG emisijas no kurināmā sadedzināšanas transporta sektorā;

FFC – fosilās enerģijas patēriņš transporta sektorā;

TEC – kopējais enerģijas patēriņš transporta sektorā;

GDP – iekšzemes kopprodukts;

POP – iedzīvotāju skaits;

i – konkrētā valsts.

Turklāt katrs rādītājs tika izteikts kā faktors, kas veicina SEG emisiju izmaiņas, un turpmākie dekompozīcijas analīzes aprēķini tika veikti, balstoties 2.7.–2.8. vienādojumā. Visiem izvēlētajiem *LMDI* rādītājiem tika izmantoti dati par 2010.–2019. gadu.

Nacionālais enerģētikas sektors

LMDI dekompozīcijas analīzes metode tika izmantota, lai analizētu, kā kopējās CO₂ emisijas no kurināmā sadedzināšanas ir mainījušās no 2015. līdz 2019. gadam visās ES-27 valstīs. Kopējās ar enerģiju saistītās CO₂ emisiju izmaiņas tika skaidrotas, nosakot četrus galvenos faktoros – emisiju intensitāti, enerģijas intensitāti, ekonomisko izaugsmi un iedzīvotāju skaita pieaugumu – atbilstoši 2.11. vienādojumam, balstoties [23]. Turpmākā dekompozīcijas analīze un aprēķini tika veikti, pamatojoties uz 2.7.–2.8. vienādojumu.

$$CO_2 = \sum_i CO_{2i} = \sum_i \frac{CO_2}{En} \cdot \frac{En}{GDP} \cdot \frac{GDP}{POP} \cdot POP, \quad (2.11)$$

kur

CO₂ – CO₂ emisijas konkrētajā laika posmā;

En – enerģijas patēriņš periodā;

GDP – perioda iekšzemes kopprodukts;

POP – iedzīvotāju skaits periodā;

i – konkrētā valsts.

Atjaunojamās elektroenerģijas ģenerācija

LMDI dekompozīcijas analīze tika izmantota, lai pētītu izmaiņas bruto elektroenerģijas ražošanas apjomos no AER 10 gadu laikā – no 2012. līdz 2021. gadam. *LMDI* analīzē izmaiņas elektroenerģijas ražošanā no AER gadu gaitā, tika noteiktas pamatojoties uz pieciem būtiskākajiem faktoriem. 2.12. vienādojums atspoguļo sakarību starp *LMDI* faktoriem, kas nosaka izmaiņas kopējā no AER

saražotās enerģijas apjomā, pielāgots, balstoties [24] un [25]. Papildu analīze tika veikta, lai izpētītu, kā vēja un saules PV uzstādītās kapacitātes veicina kopējo AER pieaugumu. Lai detalizētāk analizētu elektroenerģijas ražošanas izmaiņas no vēja un saules PV, tika izmantots 2.13. un 2.14. vienādojums. Izmaiņas no AER saražotajā elektroenerģijā tālāk tika noteiktas, analizējot izmaiņas katrā *LMDI* faktorā, un turpmākā dekompozīcijas analīze tika veikta, balstoties 2.7.–2.8. vienādojumā.

$$RES = \sum_i RES_i = \sum_i \frac{RES}{EN} \frac{EN}{GDP} \frac{GDP}{RCAP} \frac{RCAP}{POP} POP = \sum_i RSH_i EI_i RPR_i RD_i POP_i, \quad (2.12)$$

$$W = \sum_i W_i = \sum_i \frac{W}{RES} \frac{RES}{EN} \frac{EN}{GDP} \frac{GDP}{WCAP} \frac{WCAP}{POP} POP = \sum_i WSH_i RSH_i EI_i WPR_i WD_i POP_i, \quad (2.13)$$

$$PV = \sum_i PV_i = \sum_i \frac{PV}{RES} \frac{RES}{EN} \frac{EN}{GDP} \frac{GDP}{PVCAP} \frac{PVCAP}{POP} POP = \sum_i PVSH_i RSH_i EI_i PVPR_i PVD_i POP_i, \quad (2.14)$$

kur

RES – bruto saražotā elektroenerģija no atjaunojamajiem energoresursiem;

W – bruto saražotā elektroenerģija no vēja;

PV – bruto saražotā elektroenerģija no saules PV;

EN – kopējā bruto saražotā elektroenerģija;

GDP – iekšzemes kopprodukts;

POP – kopējais iedzīvotāju skaits;

EI – energointensitātes efekts;

RCAP, *WCAP*, *PVCAP* – elektroenerģijas saražotās kapacitātes no AER, vēja un saules PV;

RSH, *WSH*, *PVSH* – AER, vēja un saules PV īpatsvara efekts;

RPR, *WPR*, *PVPR* – AER, vēja un saules PV kapacitātes produktivitātes efekts;

RD, *WD*, *PVD* – AER, vēja, saules PV ieviešana uz iedzīvotāju skaitu.

Enerģētiskā neatkarība

LMDI metode tika izmantota, lai pētītu neto enerģijas importa izmaiņas ES valstīs. Neto enerģijas importa izmaiņas tika noteiktas, balstoties četros faktoros – enerģijas atkarībā, energoefektivitātē, ekonomiskajā izaugsmei un iedzīvotāju skaita izmaiņās, kā norādīts 2.15. vienādojumā. Neto enerģijas imports tiek izteikts no enerģijas importiem, atņemot enerģijas eksportu. Turpmākā dekompozīcijas analīze tika veikta, balstoties 2.7.–2.8. vienādojumā. Visu 27 ES dalībvalstu dati par laiku no 1995. līdz 2020. gadam tika iegūti *Eurostat* datubāzē.

$$NI = \sum_i NI_i = \sum_i \frac{NI}{EN} \frac{EN}{GDP} \frac{GDP}{POP} POP = \sum_i DEP_i EE_i EC_i POP_i, \quad (2.15)$$

kur

NI – neto importētie energoresursi;

EN – bruto pieejamā enerģija;

GDP – iekšzemes kopprodukts;

POP – iedzīvotāju skaits;

DEP – enerģijas importa atkarība;

EE – energoefektivitāte;

EC – ekonomiskā izaugsme;

i – konkrētā valsts.

Kaya identitāte

LMDI dekompozīcijas analīzes metode kombinācijā ar *Kaya* identitātes vienādojumu tika izmantota, lai izskaidrotu SEG emisiju izmaiņas ekonomikā, nosakot četrus galvenos ietekmes faktorus – emisiju intensitāti, enerģijas intensitāti, ekonomisko izaugsmi un iedzīvotāju skaita pieaugumu, kā norādīts 2.16. vienādojumā, balstoties [23]. Analīze tika veikta 10 gadu periodam – no 2010. līdz 2019. gadam – visām ES-28 valstīm (ieskaitot Apvienoto Karalisti).

$$GHG = \sum_i GHG_i = \sum_i \frac{GHG}{En} \frac{En}{GDP} \frac{GDP}{POP} POP = \sum_i EMI_i ENI_i GDP_i POP_i, \quad (2.16)$$

kur

GHG – siltumnīcefekta gāzu emisijas konkrētā periodā;

En – enerģijas patēriņš periodā;

GDP – iekšzemes kopprodukts periodā;

POP – iedzīvotāju skaits periodā;

EMI – emisiju intensitāte;

ENI – energointensitāte.

Turpmākā dekompozīcijas analīze tika veikta, balstoties 2.7.–2.8. vienādojumā. Ja tiek pieņemts, ka α , β , δ , ε ir faktoru izaugsmes tempi, proti, emisiju intensitātes, enerģijas intensitātes, ekonomiskās izaugsmes un iedzīvotāju skaita izmaiņas, tad nākotnes vērtības katram faktoram var prognozēt, izmantojot 2.17. vienādojumu. Tāda pati attiecība ir spēkā arī pārējiem faktoriem.

$$EMI^T = EMI^0 \cdot (1 + \alpha) \quad (2.17)$$

Balstoties *Kaya* identitātes pamatprincipos, kā atspoguļots 2.16. vienādojumā, un to apvienojot ar 2.17. vienādojumu, prognozētās SEG emisijas iegūtas, izmantojot 2.18. vienādojumu.

$$GHG^T = GHG^0 \cdot (1 + \alpha) \cdot (1 + \beta) \cdot (1 + \delta) \cdot (1 + \varepsilon) \quad (2.18)$$

Turklāt iegūtie rezultāti tiek izskaidroti ar sakarību, kas atspoguļota 2.19.–2.20. vienādojumā.

$$\Delta EMI = z \cdot (1 + \alpha) \quad (2.19)$$

$$z = \frac{GHG^0 \cdot [(1+\alpha) \cdot (1+\beta) \cdot (1+\delta) \cdot (1+\varepsilon) - 1]}{\ln[(1+\alpha) \cdot (1+\beta) \cdot (1+\delta) \cdot (1+\varepsilon) - 1]} \quad (2.20)$$

Tāda pati attiecība ir spēkā arī pārējiem faktoriem. Lai iegūtu 2.21. vienādojumu, 2.19.–2.20. vienādojums tiek ievietots 2.16. vienādojumā.

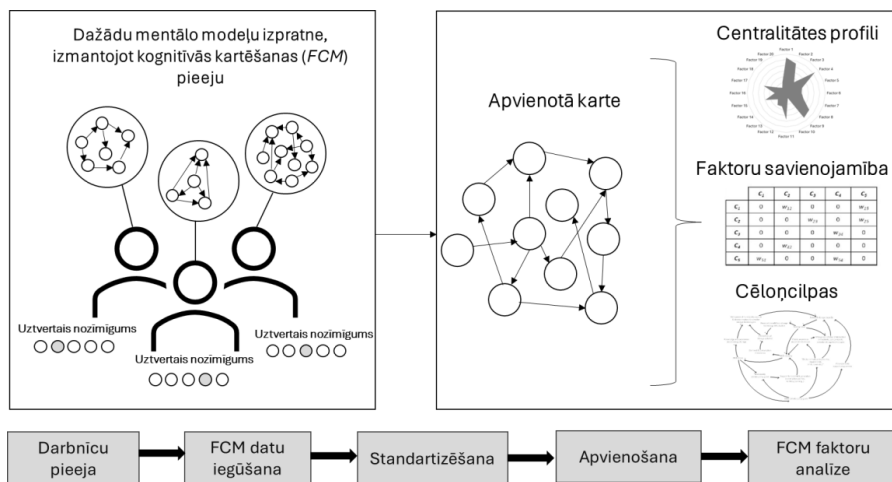
$$GHG^T = GHG^0 + z \cdot (1 + \alpha) + z \cdot (1 + \beta) + z \cdot (1 + \delta) + z \cdot (1 + \varepsilon) \quad (2.21)$$

Nākotnes SEG emisiju vērtības var prognozēt, izmantojot 2.21. vai 2.24. vienādojumu, ja katram faktoram (*EMI*, *ENI*, *GDP*, *POP*) tiek noteikti izaugsmes tempi. Gada pieauguma temps tiek noteikts, izmantojot eksponenciālu izlīdzināšanas prognozi, balstoties vēsturiskajos datos par 2010.–2019. gadu.

Prognoze tiek veikta periodam no 2020. līdz 2030. gada, ņemot vērā trīs galvenos prognozes scenārijus: (1) esošie pasākumi (bāzes vērtības); (2) papildu pasākumi (zemākā 95 % ticamības intervāla robeža); (3) bizness kā ierasts (augstākā 95 % ticamības intervāla robeža).

2.3. Kognitīvās kartēšanas metode

Lai analizētu dažādu ieinteresēto pušu mentālos modeļus attiecībā uz viņu uztverto dažādu faktoru nozīmīgumu, kas ietekmē enerģijas uzkrāšanas ieviešanu pašvaldībās, tika izmantota kognitīvās kartēšanas metodoloģija (FCM). Šajā pētījumā izmantotā ieinteresēto pušu kognitīvās kartēšanas pieeja tika īstenota atbilstoši soļiem, kas redzami 2.7. attēlā.



2.7. att. Kognitīvās kartēšanas pieejas metodoloģiskais atspoguļojums.

Vispirms tika izstrādāta un ieviesta metodoloģiska pieeja mentālo modeļu datu vākšanai, lai iegūtu mentālo modeļu datus no galvenajiem vietējās enerģijas pārejas ieinteresētajām pusēm. Tas tika darīts, organizējot divas darbnīcas. Mentālo modeļu darbnīcās iesaistītās ieinteresētās puses pārstāvēja piecas galvenās ekspertīzes grupas – pētniecības organizācijas, pašvaldību pārstāvji, enerģētikas klasteri un konsultāciju uzņēmumi, vietējie infrastruktūras nodrošinātāji un nozaru aģentūras. Individuālie mentālie modeļi tika apkopoti, standartizēti un agregēti. Lai labāk izskaidrotu individuālo kognitīvo karšu struktūru, tika izmantota kartes kondensācija un agregācija.

Lai noteiktu faktoru ietekmes būtiskumu, kas aprakstīti mentālajos modeļos, tika analizēts centralitātes rādītājs. Augstāks centralitātes vērtības rādītājs norāda faktora nozīmīgumu attiecībā pret citiem saistītajiem faktoriem. Augsts centralitātes līmenis norāda uz faktoru, caur kuru jānotiek plūsmai, lai sistēma funkcionētu pareizi. Centralitāte tika aprēķināta, apvienojot matricas ievades un izvades vērtības.

3. REZULTĀTI

3.1. Rūpniecības sektors

3.1.1. Rūpniecības energoefektivitātes indekss

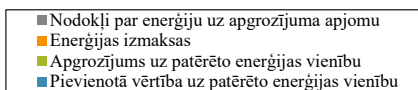
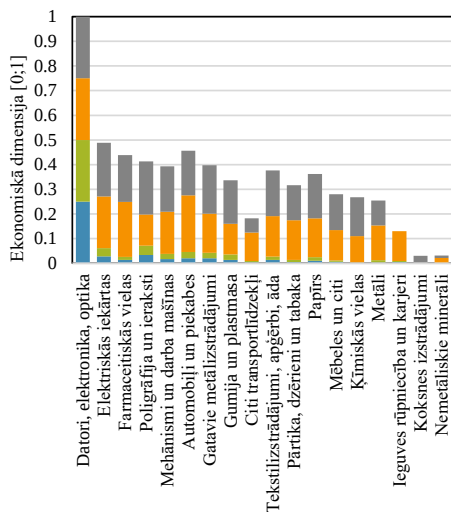
Energoefektivitātes indekss (EEI) tika izveidots, lai novērtētu energoefektivitātes sniegumu 18 būtiskākajos rūpniecības apakšsektoros Latvijā. Kopumā visi sektori uzrāda vāju energoefektivitāti, nozares vidējais EEI rādītājs ir 0,39. Vides dimensijas apakšindekss, kura vidējais rādītājs ir 0,48, ir devis vislielāko ieguldījumu kopējā EEI vērtībā. Gan ekonomiskās, gan tehniskās dimensijas apakšindeksi vidēji uzrādīja aptuveni vienādus rādītājus, sasniedzot attiecīgi 0,34 un 0,35. 3.1. attēlā redzami EEI rezultāti un dimensiju apakšindeksu rezultāti.

Pieci sektori ar augstākajiem EEI rādītājiem bija datoru, elektronisko un optisko izstrādājumu ražošana (0,70), elektrisko iekārtu ražošana (0,52), farmaceitisko izstrādājumu ražošana (0,52), poligrāfija (0,50), mehānismi un darba mašīnas (0,48). Šie pieci vadošie sektori sasniedza dominējošas vērtības katrā dimensijas apakšindeksā, kas attiecīgi veicināja augstāku kopējo EEI vērtību. Neskatoties uz šo sektoru vadošajām pozīcijām, neviens no tiem neuzrādīja spēcīgu sniegumu visās dimensijās un attiecīgajos rādītājos. Tas nozīmē, ka, lai gan kāds sektors var sasniegt augstāko vērtību vienā dimensijā, tam trūkst noteiktu faktoru, lai dominētu līdzīgā līmenī citās dimensijās. Savukārt pieci sektori ar zemākajiem EEI rādītājiem bija nemetālisko minerālu izstrādājumu ražošana (0,04), koksnes un korķa izstrādājumu ražošana (0,23), ieguves rūpniecība un karjeru izstrāde (0,24), metālu ražošana (0,32), kā arī ķīmisko vielu un ķīmisko produktu ražošana (0,33).

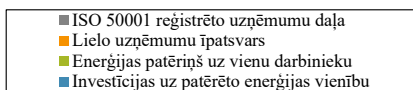
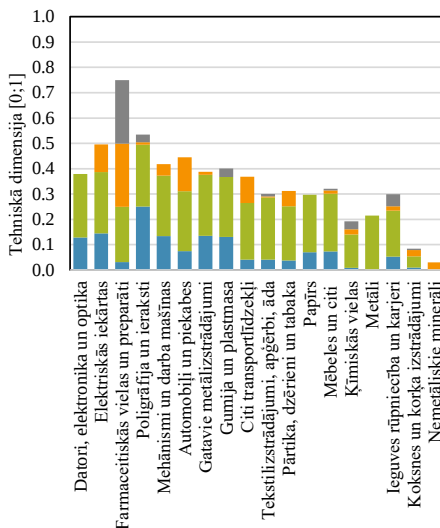
Pārējiem sektoriem tika iegūtas vidējas EEI vērtības robežās no 0,34 līdz 0,48. Datoru, elektronisko un optisko izstrādājumu ražošana sasniedza augstāko EEI rādītāju, galvenokārt pateicoties augstajām apakšindeksa vērtībām ekonomiskajā un vides dimensijā. To izskaidro šī sektora spēja ražot augstas pievienotās vērtības produktus ar salīdzinoši zemiem enerģijas resursiem. Šis sektors ir zinātnietilpīgs, jo tam ir spēcīga zinātniskā bāze un tas lielā mērā paļaujas uz cilvēkkapitālu un intelektuālo īpašumu. Tādējādi ekonomiskā vērtība, ko šis sektors rada, pārsniedz enerģijas ieguldījumus, kas nepieciešami produktu ražošanas procesā. Rezultāti liecina, ka sarežģītāku un zinātnietilpīgu vai vieglāku produktu ražošana veicina augstāku energoefektivitāti [26].

Savukārt pamatizejvielu un resursu, piemēram, nemetālisko minerālu izstrādājumu, koksnes, ieguves rūpniecības un metālizstrādājumu ražošana, ir saistīta ar zemāku energoefektivitāti, jo šīs nozares uzrādīja zemākos EEI rādītājus. Šo sektoru vājos rādītājus daļēji izskaidro nozares specifika, kas prasa lielus enerģijas un resursu ieguldījumus, piemēram, apjomīgas ražošanas iekārtas, jaudīga tehnika un konkurētspējīga darbaspēka produktivitāte, padarot šīs nozares energoietilpīgas un jutīgākas. Šajos sektoros saražoto produktu radītā ekonomiskā vērtība nav pietiekama, lai kompensētu enerģijas patēriņu, kas nepieciešams ražošanas procesā. Norādot uz iespēju uzlabot energoefektivitāti šajos sektoros. EEI lielā mērā ir atkarīgs no nozares enerģijas produktivitātes, ko mēra pēc radītās pievienotās vērtības un apgrozījuma uz patērētās enerģijas vienību. Jo lielāku ekonomisko vērtību produkts spēj radīt, jo augstāks kopējais EEI rādītājs tiek sasniegts. Ir izdevīgi ražot vairāk sekundāro produktu ar augstu pievienoto vērtību un konkurētspējas priekšrocībām pat tad, ja tas prasa noteiktu enerģijas daudzumu, taču ir mazāk izdevīgi tērēt augstu enerģijas patēriņu primārajiem produktiem ar

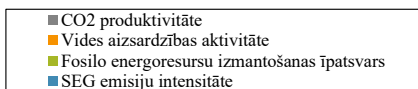
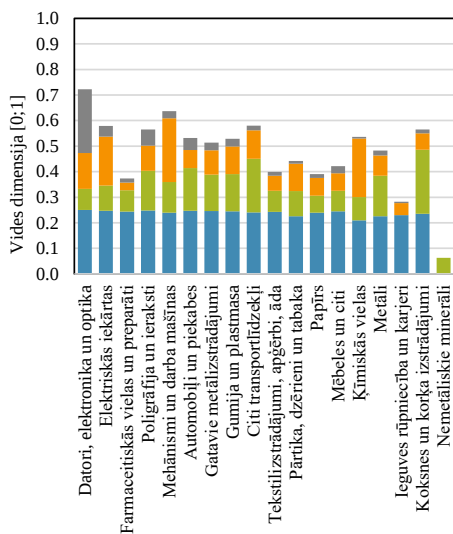
zemu pievienoto vērtību un lielu enerģijas patēriņu. Tādēļ energoefektivitāte primāri būtu jāpaaugstina energoietilpīgajos sektoros.



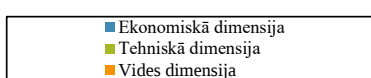
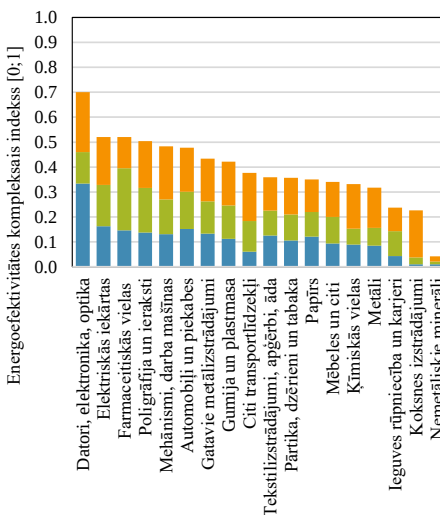
(1) Ekonomiskās dimensijas apakšindekss



(2) Tehniskās dimensijas apakšindekss



(3) Vides dimensijas apakšindekss

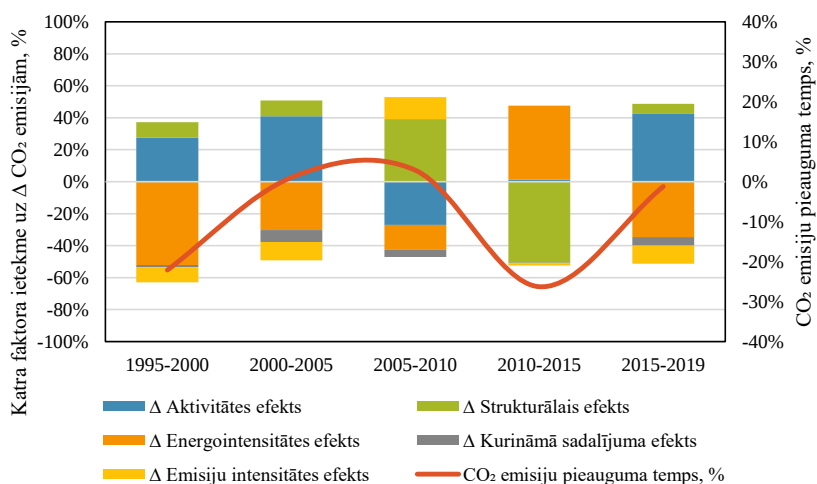


(4) Energoefektivitātes indekss

3.1. att. Ekonomiskās, tehniskās, vides dimensijas apakšindeksi un kopējā rūpniecības energoefektivitātes indeksa rezultāti Latvijas rūpniecības 18 apakšsektoros 2017. gadā.

3.1.2. Rūpniecības *LMDI* dekompozīcijas analīze

Dekompozīcijas analīze tika veikta Latvijas apstrādes rūpniecībai, lai novērtētu kopējās rūpniecības CO₂ emisiju izmaiņas no 1995. līdz 2019. gadam, ko ietekmējuši pieci būtiskākie ietekmes faktori – rūpnieciskās aktivitātes efekts, strukturālais efekts, enerģijas intensitātes efekts, kurināmā sadalījuma efekts un emisiju intensitātes efekts. Pētījuma periods tika sadalīts piecās grupās, katrai aptverot piecu gadu intervālu. 3.2. attēlā redzami *LMDI* rezultāti kombinācijā ar CO₂ pieauguma rādītājiem attiecīgajā periodā. Kopējais CO₂ pieauguma rādītājs Latvijas apstrādes rūpniecībā pētījuma periodā ir svārstījies. Stabils samazinājums tika novērots no 1995. līdz 2000. gadam un no 2010. līdz 2015. gadam, kad CO₂ pieauguma rādītāji bija attiecīgi –22 % un –26 %. Tomēr no 2000. līdz 2005. gadam, kad CO₂ pieauguma rādītāji bija attiecīgi –22 % un –26 %. Tomēr no 2000. līdz 2005. gadam (+1 %) un no 2005. līdz 2010. gadam (+3 %) CO₂ pieauguma rādītājs uzrādīja pieauguma tendenci, savukārt no 2015. līdz 2019. gadam CO₂ pieauguma rādītājs bija –1 %. CO₂ emisiju samazinājums apstrādes rūpniecībā pēdējos gados ir stagnējis, un pēdējo piecu gadu laikā uzlabojumi bijuši minimāli.

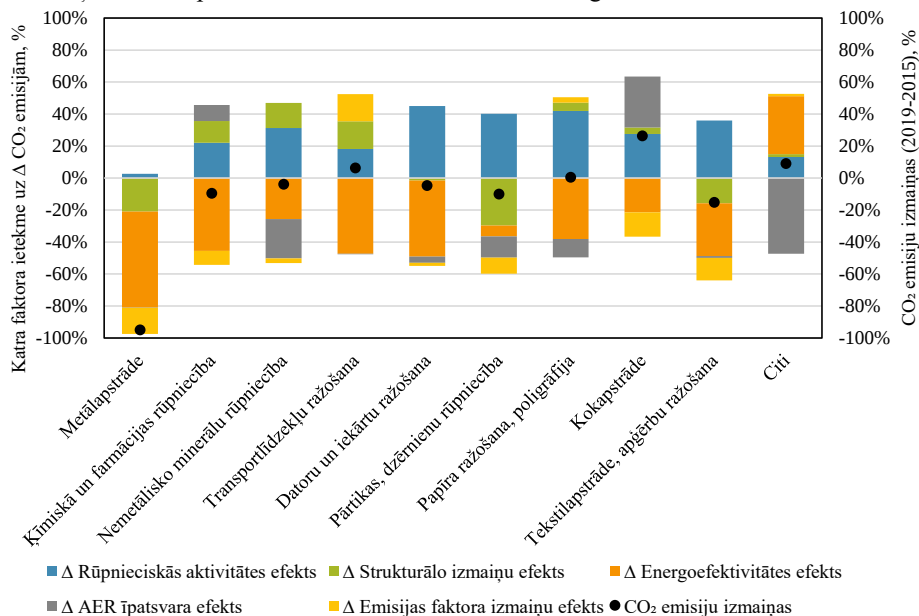


3.2. att. Agregētie dekompozīcijas analīzes rezultāti atbilstošajos laika periodos.

Desmit gadu laikā apstrādes rūpniecība piedzīvoja pāreju no viena energoietilpīga sektora (metālu ražošanas) uz citu ne mazāk energoietilpīgu sektoru (kokapstrāde). Tomēr koksnes izstrādājumu ražošanas sektora konkurētspējas priekšrocība ir augstais AER izmantošanas īpatsvars, kur koksnes atlikumi un šķelda tiek izmantotas termiskajos procesos kā CO₂ neitrāla kurināmā veids. Ja analizē perioda kopējās vērtības, izslēdzot 2013. gadu, enerģijas intensitātes efektam bija vislielākā nozīme CO₂ emisiju samazināšanā.

Kopējie dekompozīcijas rezultāti uzrāda pozitīvu tendenci dekarbonizācijas pasākumu īstenošanā, kas kopumā veicināja emisiju intensitātes samazināšanos rūpniecībā. Tomēr energoefektivitātes pasākumiem bija vairāk nekā sešas reizes lielāka ietekme uz CO₂ samazinājumu, salīdzinot ar AER pasākumiem. Galvenais rūpniecisko CO₂ emisiju pieauguma iemesls ir rūpnieciskās aktivitātes efekts, kas tiek skaidrots ar pakāpenisku rūpnieciskās ražošanas apjomu ikgadēju pieaugumu, kas attiecīgi radīja kopējā enerģijas patēriņa palielināšanos, lai kompensētu šo pieaugumu [27]. Kopumā no 2015. līdz 2019. gadam tika novērots lielāks enerģijas intensitātes samazinājums rūpniecībā, salīdzinot ar

desmitgades pirmo pusi. Daļēji energoefektivitātes aktivitātes pēdējo piecu gadu laikā var skaidrot ar uzņēmumu autonomām attīstības iniciatīvām, kur, lai palielinātu uzņēmumu konkurētspēju, pastāvīgi tiek meklēti veidi, kā samazināt enerģijas izmaksas. Tomēr otra daļa skaidrojuma slēpjas politikās, kas, iespējams, stimulēja lielāku enerģijas ietaupījumu un ambiciozāku energoefektivitātes mērķu sasniegšanu. 3.3. attēlā redzama katra efekta ietekme uz CO₂ emisiju izmaiņām un kopējām CO₂ emisiju izmaiņām katrā apakšsektorā laikā no 2015. līdz 2019. gadam.



3.3. att. CO₂ emisiju dekompozīcijas rezultāti no 2015. līdz 2019. gadam.

Kopumā 2019. gadā gandrīz visos apstrādes rūpniecības apakšsektoros tika novērots CO₂ emisiju samazinājums, salīdzinot ar 2015. gadu. Tomēr trīs sektori uzrādīja pretēju tendenci. 2019. gadā CO₂ emisijas palielinājās par 6 % transportlīdzekļu ražošanas sektorā, par 26 % – kokapstrādes sektorā un par 9 % – citos apakšsektoros, salīdzinot ar 2015. gadu. Koksnes apstrādes sektors un ķīmiskās produkcijas ražošanas sektors bija vienīgie sektori, kas uzrādīja negatīvu tendenci attiecībā uz AER īpatsvara palielināšanos. Abi sektori uzrādīja pretēju tendenci kurināmā sadalījumā, liecinot par AER īpatsvara samazināšanos kopējā enerģijas sadalījumā. Rezultāti liecina, ka, neraugoties uz nozīmīgiem energoefektivitātes uzlabojumiem šajos apakšsektoros, kopējais rūpnieciskās aktivitātes pieaugums, strukturālais efekts un kurināmā sadalījuma efekts ir neutralizējuši enerģijas intensitātes efektu. Tādējādi pašreizējie energoefektivitātes uzlabojumi nespēja kompensēt šos efektus, kas kopējo CO₂ emisiju pieaugumu veicināja daudz straujāk, nekā to spēja novērst īstenotie energoefektivitātes pasākumi.

Rūpnieciskā aktivitāte bija galvenais iemesls būtiskajam enerģijas patēriņa pieaugumam koksnes apstrādes sektorā atbilstošajā periodā. Pieaugošais pieprasījums pēc koksnes šķeldas, granulām un citiem koksnes izstrādājumiem lielākajos globālajos eksporta tirgos padarīja kokapstrādes sektoru par visstraujāk augošo Latvijas rūpniecības sektoru un izraisīja ievērojamu ražošanas apjoma ikgadēju pieaugumu pēdējās desmitgades laikā [27]. Latvijas kokapstrādes sektora eksports pēdējās desmitgades

laikā (2010–2019) pieaudzis par 82 % [28], un 2019. gadā 60 % no kopējās Latvijā saražotās koksnes produkcijas tika eksportēti. Tādējādi šīs nozares attīstību būtiski ietekmē pieprasījums starptautiskajos eksporta tirgos [29].

Ņemot vērā dekompozīcijas analīzes rezultātus, var secināt, ka kurināmā sadalījuma efekts kokapstrādes sektorā ir bijis galvenais CO₂ emisiju pieauguma veicinātājs pēdējo piecu gadu laikā. Tas norāda, ka sektors ir samazinājis AER īpatsvaru kopējā kurināmā sadalījumā, kas liecina par negatīvu tendenci. Laikā no 2014. līdz 2018. gadam tika novērots fosilās enerģijas patēriņa pieaugums koksnes apstrādes sektorā. Daļēji to var skaidrot ar kopējā pieprasījuma pieaugumu pēc koksnes izstrādājumiem, īpaši koksnes granulām un šķeldas, globālajā tirdzniecības tirgū, kas arī mudināja rūpnīcas palielināt ražošanas jaudu. Rezultātā koksnes atlikumi un šķeldas iztrūkumi, kas galvenokārt tiek izmantoti sadegšanas procesos, tika kompensēti ar dabasgāzi vai fosilo enerģiju. Tas arī palielināja kopējās CO₂ emisijas, ko radīja sektors.

Rezultāti liecina, ka sektoru dažādība būtu jāņem vērā, izstrādājot efektīvākas enerģijas un emisiju samazināšanas politikas, jo pastāv atšķirīgi stimuli starp augstas un zemas oglekļa intensitātes sektoriem. Augstas oglekļa intensitātes sektoriem, piemēram, nemetālisko minerālu ražošanai, emisiju tirdzniecības shēmas vai fiskālie instrumenti, piemēram, oglekļa nodokļi, ir efektīvi mehānismi enerģijas un oglekļa ietaupījumu sasniegšanai. Savukārt nozarēm ar zemu emisiju intensitāti, piemēram, koksnes apstrādes nozarei, kā efektīvi mehānismi energoefektivitātes un dekarbonizācijas aktivitāšu veicināšanai var tikt izmantoti finansiāli stimuli, subsīdijas un obligāciju shēmas, piemēram, obligātās ergoaudita prasības. Rūpniecības enerģētikas politikā potenciāli varētu tikt izveidotas un definētas specifiskas sektoru līmeņatzīmes un standarti.

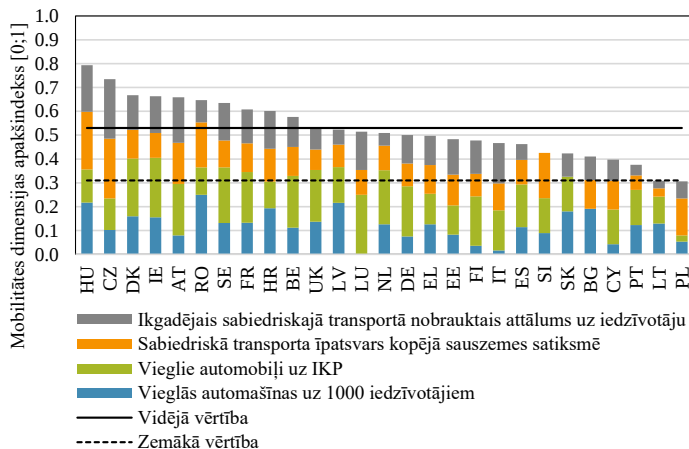
Lai nākotnē paātrinātu dekarbonizācijas tempu, būs nepieciešama plašāka tīro enerģijas tehnoloģiju ieviešana, tāpēc jāveic papildu politiskie pasākumi. Politikām vajadzētu atbalstīt gan investīcijas uzņēmumu kapitālā, kas ievieš tīrās tehnoloģijas, gan pētniecības un attīstības ieguldījumus, lai nodrošinātu inovatīvu tehnoloģiju izstrādi ilgtspējīgām enerģētikas sistēmām. Tādi mehānismi kā finansiālas subsīdijas, nodokļu atvieglojumi un papildu piekļuve kapitālam var tikt izmantoti kā efektīvi instrumenti ilgtermiņa rūpnieciskās attīstības un ilgtspējas politikas īstenošanai. Ņemot vērā Latvijas apstrādes rūpniecības augsto energoietilpību, kur galvenokārt dominē divas nozares – koksnes apstrāde un nemetālisko minerālu ražošana –, investīcijas siltuma atgūšanas tehnoloģijās varētu kļūt par vienu no galvenajiem enerģijas un oglekļa emisiju ietaupījumu virzītājspēkiem nozarē. Turklāt tādi fiskālie instrumenti kā enerģijas un oglekļa nodokļi varētu tikt izmantoti kā efektīvi līdzekļi tīro enerģijas avotu veicināšanai un apakšsektoru kopējā enerģijas sadalījuma restrukturizēšanai, kuras balstās augstu fosilā kurināmā patēriņā.

3.2. Transporta sektors

3.2.1. Transporta ilgtspējas saliktais indekss

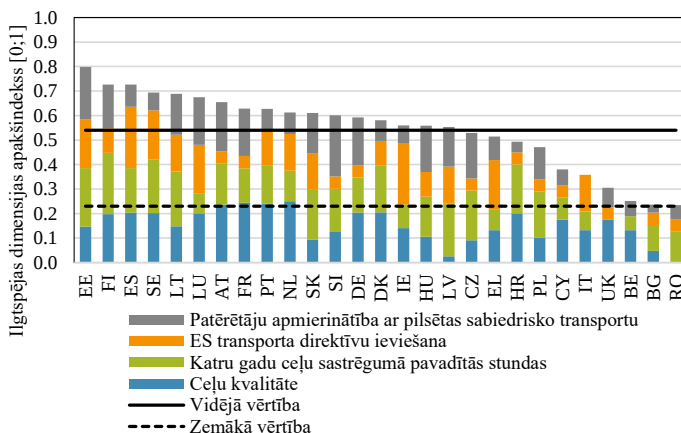
Transporta ilgtspējas saliktais indekss ietvēra 15 rādītājus, kas tika grupēti četrās dimensijās – mobilitāte, ilgtspēja, inovācijas un vide. Rezultāti atspoguļo katras valsts atrašanos kopējā rangā, salīdzinot ar vidējo vērtību un zemāko vērtību. Vidējā vērtība atspoguļo visu valstu vidējo apakšindeksa vērtību attiecīgajā dimensijā un tika aprēķināta kā visu vērtību aritmētiskais vidējais. Zemākā vērtība atspoguļo zemāko apakšindeksa vērtību starp analizētajām valstīm. 3.4. attēlā

redzamas mobilitātes dimensijas apakšindeksa vērtības. Mobilitātes dimensijas rādītāji raksturo transporta sistēmas ilgtspējas sociālekonomiskos aspektus. Augstākie mobilitātes dimensijas apakšindeksa rādītāji tika iegūti Ungārijā, kas visos dimensijā iekļautajos rādītājos uzrādīja augstus rezultātus. Rezultāti parādīja, ka sabiedriskā transporta īpatsvars kopējā sauszemes pasažieru satiksmē bija vissvarīgākais faktors, kas ietekmēja valstu klasifikāciju augstākajās (Ungārija un Čehija) un zemākajās (Lietuva un Polija) pozīcijās mobilitātes dimensijā.



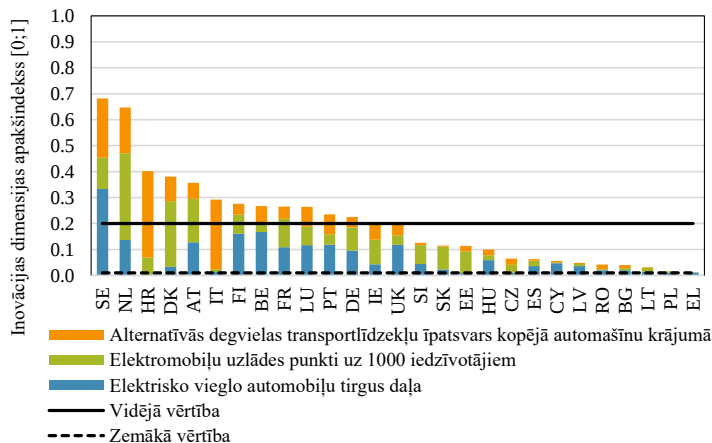
3.4. att. Mobilitātes dimensijas apakšindekss.

3.5. attēlā redzami ilgtspējas dimensijas apakšindeksi. Lielākajai daļai valstu rādītāji par patērētāju apmierinātību ar pilsētas transportu un ES transporta direktīvu īstenošanu bija vissvarīgākie, negatīvi ietekmējot kopējo ilgtspējas dimensijas vērtējumu. Tas liecina, ka valstīm būtu jāuzsver patērētāju attieksmes uzlabošana saistībā ar sabiedriskā transporta izmantošanu, kas palīdzētu sabiedrībai pāriet uz ilgtspējīgākiem pārvietošanās veidiem. Valdībām vajadzētu būt proaktīvākām, pielāgojoties ES transporta direktīvu ietvaram, kuru mērķis ir palielināt visu transporta infrastruktūru energoefektivitāti, drošību un ilgtspēju visās dalībvalstīs.



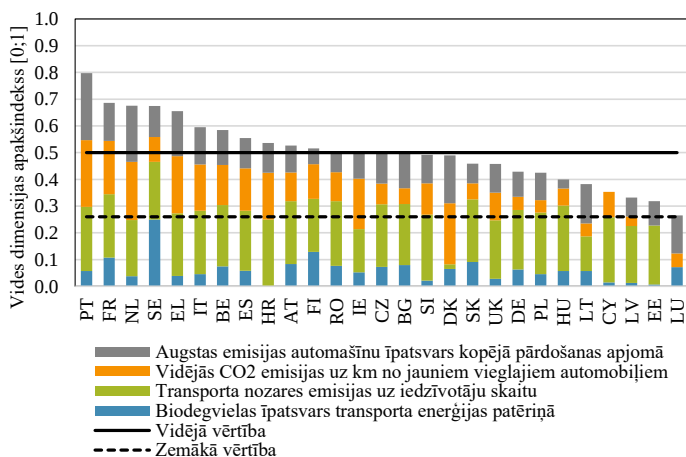
3.5. att. Ilgtspējas dimensijas apakšindekss.

3.6. attēlā redzamas inovāciju dimensijas apakšindeksa vērtības. Kā redzams, inovāciju apakšindeksa vērtības visām valstīm vidēji bija ievērojami zemākas nekā citu dimensiju apakšindeksu vērtības. Vadošās valstis, piemēram, Zviedrija un Nīderlande, uzrādīja straujāku inovāciju attīstību transporta sektorā un pāreju uz videi draudzīgākiem risinājumiem, piemēram, alternatīvas degvielas transportlīdzekļu un elektrisko automašīnu izmantošanu. Pretstatā tam lielākā daļa citu valstu tikai sāka veidot nepieciešamo infrastruktūru nefosilās degvielas transportam un ievērojami atpalika no līderiem.



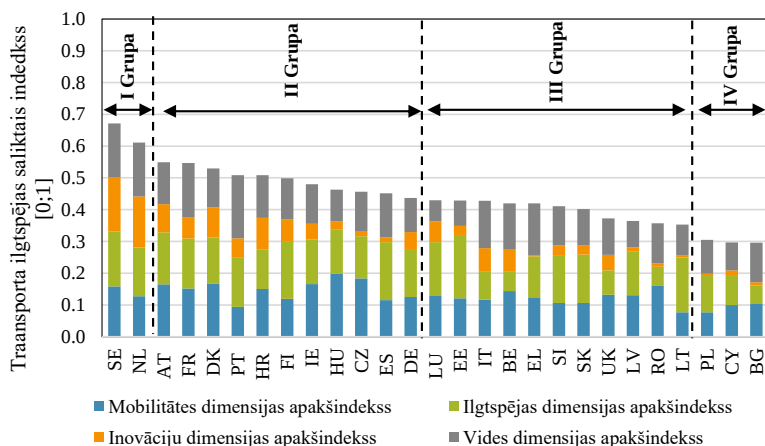
3.6. att. Inovācijas dimensijas apakšindekss.

3.7. attēlā redzami vides dimensijas apakšindeksi visām valstīm. Visās valstīs, izņemot Zviedriju, bija zemākās vērtības rādītājam par biodegvielas īpatsvaru transporta enerģijas patēriņā. Lielākajā daļā valstu joprojām pastāv neizmantots potenciāls fosilo kurināmo aizstāšanai un biodegvielas izmantošanas apjoma palielināšanai. Vairākās valstīs, tostarp Kiprā, Ungārijā, Somijā, Slovākijā, Latvijā un Igaunijā, augstu emisiju automašīnu īpatsvars kopējā pārdošanas apjomā joprojām bija ievērojams. Tas liecināja par negatīvu tendenci patērētāju uzvedībā, kas samazināja kopējo vides dimensijas apakšindeksu vērtējumu un transporta sektora ilgtspējību ilgtermiņā.



3.7. att. Vides dimensijas apakšindekss.

Transporta saliktais ilgtspējas indekss tika klasificēts četrās ilgtspējas līmeņu grupās, kā redzams 3.8. attēlā. Vadošās valstis transporta ilgtspējas jomā bija Zviedrija, Nīderlande, Austrija, Francija un Dānija. Visās šajās valstīs vienāda uzmanība tika pievērsta visiem dimensiju rādītājiem, kas palīdzēja sasniegt augstāku ilgtspējas līmeni. Kopumā visās valstīs tika konstatēts augsts neizmantotās ilgtspējas potenciāls, ko atspoguļoja saliktā ilgtspējas indeksa kopējais vērtējums. Neviena no valstīm nesasniedza augstāko iespējamo vērtējumu – 1. Pat vadošajās valstīs daudzās pozīcijās ir nepieciešami būtiskāki centieni, lai pārveidotu transporta sistēmu virzienā uz klimatneitrāliem un ilgtspējīgiem risinājumiem.



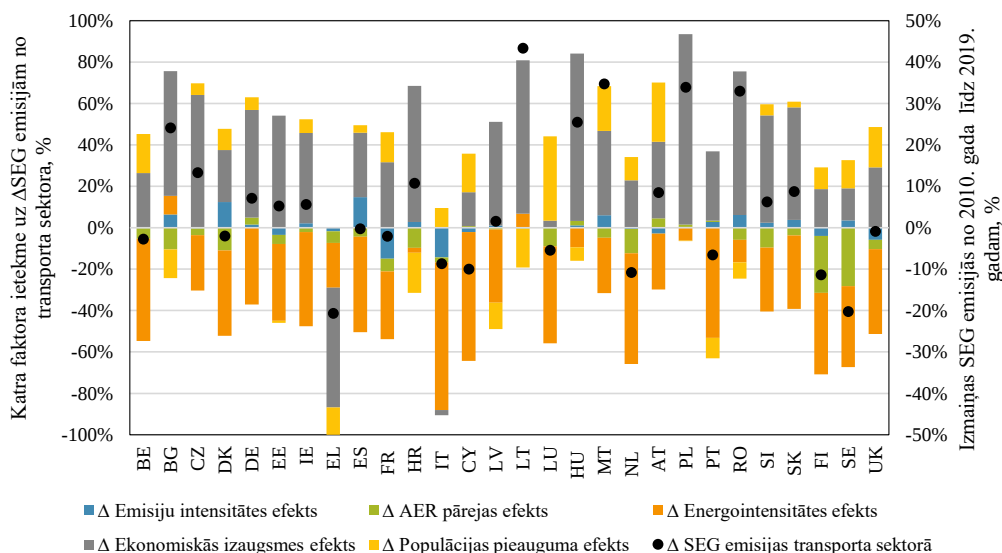
3.8. att. Transporta ilgtspējas saliktais indekss.

3.2.2. Transporta *LMDI* dekompozīcijas analīze

Lai analizētu SEG emisiju izmaiņas transporta sektorā, tika izmantota *LMDI* dekompozīcijas analīzes metode, balstoties piecos galvenajos faktoros: emisiju intensitāte; AER pāreja; enerģijas intensitāte; ekonomiskā izaugsme; iedzīvotāju skaita pieaugums. 3.9. attēlā redzami *LMDI* dekompozīcijas analīzes rezultāti SEG emisijām transporta sektorā no 2010. līdz 2019. gadam (tūkstošos tonnu CO₂ ekvivalenta) katrai valstij. Kopumā 12 no 28 valstīm desmit gadu laikā – no 2010. līdz 2019. gadam – samazināja SEG emisijas transporta sektorā, ieskaitot Grieķiju (–20,7 %), Zviedriju (–20,2 %), Somiju (–11,4 %) un Nīderlandi (–10,8 %), kas sasniedza vislielāko emisiju samazinājumu. Lielākajā daļā valstu palielinājās SEG emisijas, ko radīja transporta degvielas sadedzināšana, vislielākais pieaugums konstatēts Lietuvā (43,4 %), Polijā (34,0 %), Maltā (34,7 %), Rumānijā (33 %) un Bulgārijā (24,1 %).

Latvijā kopējās SEG emisijas, ko rada transporta degvielas sadedzināšana, no 2010. līdz 2019. gadam pieauga par 1,6 %. Kopš 2012. gada transporta SEG emisijas Latvijā pieauga galvenokārt pieaugošās ekonomiskās izaugsmes dēļ, taču kopš 2017. gada tika novērots emisiju samazinājums. AER pārejas ietekme Latvijas transporta sektorā sāka dominēt tikai 2017. gadā. Kopš 2012. gada Latvijas transporta sektorā enerģijas intensitāte ir samazinājusies ļoti nelielā apmērā, kas nozīmē, ka transporta energoefektivitātē netika novēroti būtiski uzlabojumi. Transporta sektorā pārsvarā tika izmantoti transportlīdzekļi ar augstu īpatnējo degvielas patēriņa rādītāju. Emisiju intensitātes pieaugums 2017. gadā liecināja par palielinātu privāto transportlīdzekļu izmantošanu, samazinoties

sabiedriskā transporta lietojumam, kas radīja papildu spiedienu uz Latvijas iniciatīvām SEG emisiju samazināšanai transporta sektorā. Saliktajā transporta ilgtspējas indeksā Latvija ierindojās 22. vietā ar rādītāju 0,36, kas ir ievērojami zemāks par ES vidējo vērtību. Latvijā tika novērota zema sabiedriskā transporta izmantošana, zema ceļu kvalitāte, mazāk attīstīta infrastruktūra alternatīvās degvielas transportlīdzekļiem (zems elektrisko automašīnu un biodegvielas patēriņa īpatsvars) un augsts videi piesārņojošu transportlīdzekļu īpatsvars kopējā transportlīdzekļu parkā, salīdzinot ar citām valstīm. Šie faktori kavēja lielāku SEG emisiju samazinājumu transporta sektorā.



3.9. att. LMDI dekompozīcijas analīzes rezultāti SEG emisijām transporta sektorā no 2010. līdz 2019. gadam (tūkst. tonnas CO₂ ekvivalents).

Rezultāti liecina, ka inovācijas ir būtiskākais faktors, kas atšķir Ziemeļvalstis, kuras ir līderes elektrisko un alternatīvās degvielas transportlīdzekļu ieviešanā, no Austrumeiropas un Rietumeiropas valstīm. Austrumeiropas valstis ievērojami atpaliek, un to CO₂ intensitāte un degvielas patēriņš ir gandrīz trīs reizes augstāks nekā Ziemeļvalstīs galvenokārt vecāka transportlīdzekļu parka dēļ, ko pārsvarā veido lietoti importa transportlīdzekļi, kas atspoguļo arī zemāku ienākumu līmeni. Mazāk attīstītās valstīs ar vājiem transporta ilgtspējas rādītājiem transporta politikas galvenā uzmanība tiek pievērsta esošo pasākumu veicināšanai (piemēram, zemas koncentrācijas biodegvielas izmantošana) un klimata neitralitātes mērķu īstenošanas atbildības pārcelšanai uz konkrētām grupām (piemēram, degvielas piegādātājiem), kuru finansējums lielākoties balstās ES struktūrfondos. Austrumeiropas valstīs un daļēji arī Rietumeiropas valstīs prioritāte ir palielināt institucionālo atbalstu un atzīt transporta sektora būtisko nozīmi klimata pārmaiņu mazināšanas pasākumos. Ir nepieciešama proaktīva infrastruktūras plānošana un ambiciozāku nākotnes attīstības stratēģiju izstrāde. Austrumeiropas valstīm ir kritiski svarīgi atjaunot esošo transportlīdzekļu parku, lai palielinātu energoefektivitāti transporta sektorā. Tāpēc būtu jāievieš stingrāki noteikumi, lai ierobežotu vecu un oglekļintensīvu transportlīdzekļu izmantošanu. Papildus tam gan Ziemeļvalstīm, gan Austrumeiropas valstīm būtu jāizveido mehānismi, kas veicinātu pāreju no privātajiem automobiļiem uz sabiedrisko

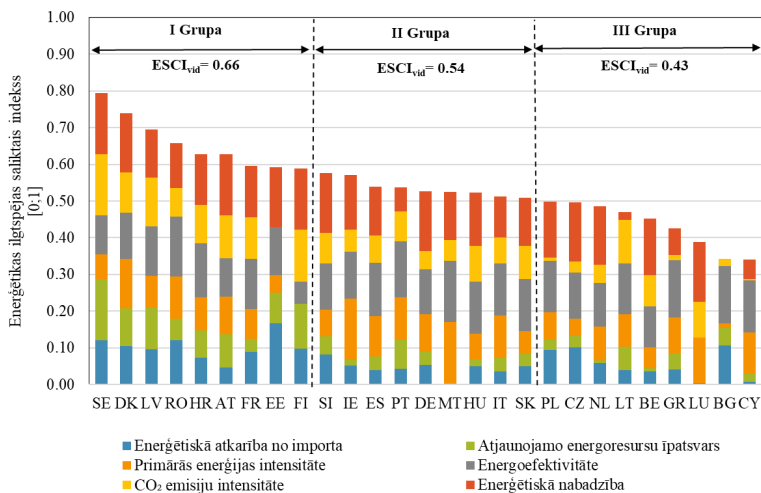
transportu. Uzvedības maiņa ir būtiska nākotnes ilgtspējīgas transporta politikas īstenošanai, kur sabiedriskais transports ir galvenais dekarbonizācijas elements.

3.3. Enerģētikas sektors

3.3.1. Nacionālā enerģētikas sektora izpēte, izmantojot salikto indeksu un *LMDI*

Lai izpētītu un salīdzinātu enerģijas ilgtspējas dažādos aspektus, tostarp enerģētisko drošību, primāro enerģijas intensitāti, atjaunojamo energoresursu īpatsvaru, energoefektivitāti, CO₂ emisiju intensitāti un enerģētisko nabadzību, tika izstrādāts enerģijas ilgtspējas saliktais indekss (*ESCI*). 3.10. attēlā redzami *ESCI* rezultāti. *ESCI* rezultāti tika sadalīti trīs galvenajās grupās – I grupa ietver valstis, kas sasniegušas *ESCI* rezultātus virs vidējā, II grupa aptver valstis, kuru vidējais *ESCI* rezultāts ir līdzvērtīgs ES vidējam rādītājam, III grupa ietver valstis, kas būtiski atpaliek enerģijas ilgtspējas jomā un kuru *ESCI* rezultāti ir zem vidējā rādītāja – 0,54.

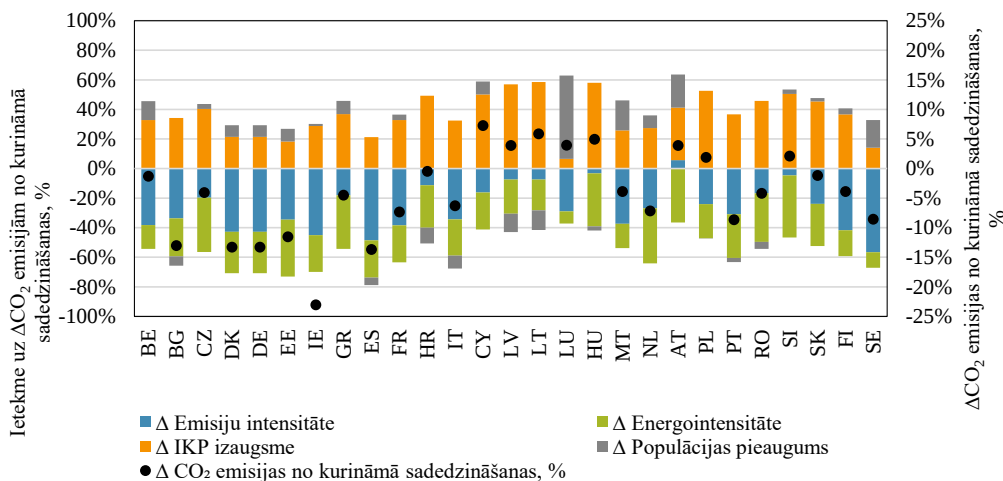
Zviedrija ar rezultātu 0,79 sasniedza augstāko *ESCI* vērtību starp visām valstīm. Tas ir saistīts ar augstām vērtībām visos rādītājos, izņemot primāro enerģijas intensitāti, kas liecina, ka Zviedrijai ir nedaudz augstāka primārā enerģijas intensitāte nekā citām ES dalībvalstīm. Dānija ieguva otro augstāko *ESCI* rezultātu – 0,74, uzrādot konsekventi pozitīvus rezultātus visos rādītājos. I grupā ietilpst arī tādas valstis kā Latvija (0,69), Rumānija (0,66), Horvātija (0,63), Austrija (0,63), Francija (0,60), Igaunija (0,59) un Somija (0,59). Neskatoties uz piederību šai grupai, katrai valstij ir atšķirīgi stiprie un vājie punkti enerģijas ilgtspējas jomā. Piemēram, Igaunijai ir viena no augstākajām enerģētiskās pašpietiekamības pakāpēm ES, ko apliecina tās zems enerģijas importa atkarības rādītājs. Tomēr atjaunojamo energoresursu īpatsvars ir ievērojami zemāks, un primārā enerģijas intensitāte ir augstāka, kas negatīvi ietekmē valsts enerģijas ilgtspēju.



3.10. att. Enerģijas ilgtspējas saliktā indeksa rezultāti ES-27 dalībvalstīs.

II grupas valstis kopumā uzrādīja ievērojami augstāku enerģijas importa atkarību, salīdzinot ar I grupas valstīm, kas negatīvi ietekmēja to kopējo *ESCI* vērtējumu. Turklāt šīm valstīm bija būtiski zemāks atjaunojamo energoresursu īpatsvars, salīdzinot ar vadošajām I grupas valstīm. III grupas

valstīm bija visvājākie rādītāji enerģētiskās nabadzības, atjaunojamo energoresursu īpatsvara un CO₂ emisiju intensitātes jomā, kas būtiski samazināja to kopējo *ESCI* vērtējumu. Valstis ar zemākajiem *ESCI* rezultātiem bija Bulgārija un Kipra (abām vērtējums – 0,34). Kopumā tika konstatēts, ka visām valstīm ir potenciāls uzlabot enerģijas ilgtspēju, jo neviena no tām nesasniedza maksimālo vērtējumu – 1. Papildu izpētē tika izmantota *LMDI* dekompozīcijas analīze, lai izsektu enerģētikas politikas progresu enerģijas radīto CO₂ emisiju samazināšanā no 2015. līdz 2019. gadam. 3.11. attēlā redzami *LMDI* dekompozīcijas analīzes rezultāti visām ES-27 valstīm.



3.11. att. *LMDI* rezultāti CO₂ emisijās no kurināmā sadedzināšanas no 2015. līdz 2019. gadam.

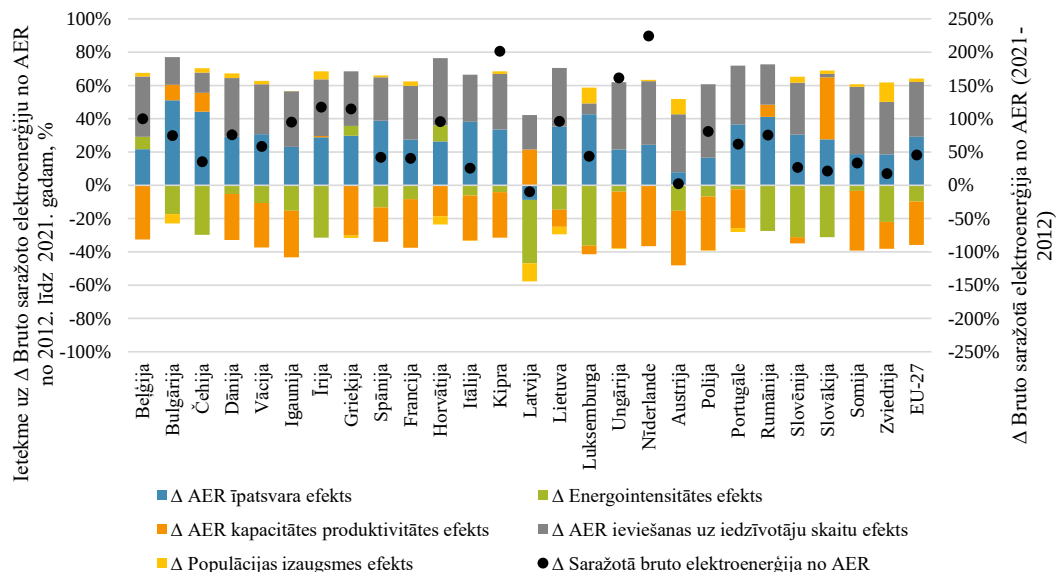
Latvijā, neskatoties uz iedzīvotāju skaita samazināšanos, nozīmīgs IKP pieaugums bija galvenais CO₂ emisiju pieauguma virzītājspēks, kas saistīts ar kurināmā sadedzināšanu. Energoefektivitātes uzlabojumi visvairāk palīdzēja kompensēt šo tendenci, taču to ietekme nebija pietiekami spēcīga. Transporta un lauksaimniecības sektori bija galvenie kopējā enerģijas radīto CO₂ emisiju pieauguma veicinātāji Latvijā.

Starptautu salīdzinošā analīze, kurā apvienoti *LMDI* un *ESCI* rezultāti, atklāj satraucošus novērojumus valstīm, kas uzrāda augstas vērtības enerģijas ilgtspējas saliktajā indeksā, taču pēdējo piecu gadu laikā (2015–2019) nav sasniegušas pozitīvu progresu vai pat uzrāda negatīvu tendenci CO₂ emisiju samazināšanā, piemēram, Latvija un Austrija. Abām valstīm ir ievērojami augstāks AER īpatsvars, salīdzinot ar citām valstīm, galvenokārt pateicoties vēsturiski uzstādītajām hidroelektrostacijām, kuru dēļ tās sākotnēji ierindojās starp valstīm ar augstāku AER īpatsvaru. Sākotnēji augstā pozīcija, iespējams, atturēja no aktīvākas rīcības papildu investīciju veikšanā un esošā enerģijas diversifikācijas virzienā, piemēram, izmantojot vēja enerģiju.

3.3.2. *LMDI* dekompozīcijas analīze AER elektroenerģijas ieviešanas novērtēšanā

3.12. attēlā redzami *LMDI* dekompozīcijas analīzes rezultāti ES valstīm, kas ilustrē katra *LMDI* faktora ieguldījumu bruto elektroenerģijas ražošanas izmaiņās, ko rada AER, no 2012. līdz 2021. gadam. Latvija ir vienīgā valsts, kurā bruto elektroenerģijas ražošana no atjaunojamajiem energoresursiem samazinājās par 392 GWh 2021. gadā, salīdzinot ar 2012. gadu. Šo samazinājumu lielā mērā var attiecināt uz hidroenerģijas ražošanas svārstībām, kas ir ļoti atkarīgas no laikapstākļiem.

2012. gadā Latvija piedzīvoja otru lielāko hidroenerģijas ražošanas pīķi pēdējās desmitgades laikā, ko izraisīja augsts ūdens pieplūdums Daugavas upē.



3.12. att. LMDI faktoru ietekme uz izmaiņām bruto saražotajā elektroenerģijā no AER no 2012. līdz 2021. gadam.

ES-27 galvenie bruto elektroenerģijas ražošanas no AER pieauguma veicinātāji bija AER uzstādīšanas efekts uz vienu iedzīvotāju, AER īpatsvara efekts. Tomēr negatīvi ietekmējošie faktori bija AER kapacitātes produktivitātes efekts, energointensitātes efekts, kas samazināja bruto elektroenerģijas ražošanu no AER. Elektroenerģijas ražošanas pieaugumu no AER veicināja arī iedzīvotāju skaita pieaugums, taču šī faktora ietekme nebija tik būtiska kā pārējo faktoru ietekmes. AER kapacitātes produktivitātes efekts lielākajā daļā valstu negatīvi ietekmēja bruto elektroenerģijas ražošanu no AER, izņemot Bulgāriju, Čehiju, Īriju, Latviju, Rumāniju un Slovākiju. Ekonomiskā izaugsme šajās valstīs attīstās straujāk nekā uzstādīto atjaunojamās enerģijas jaudu pieaugums, salīdzinot ar citām valstīm. 3.1. un 3.2. tabulā atspoguļoti bruto elektroenerģijas ražošanas no vēja un saules PV izmaiņu LMDI rezultāti Baltijas valstīs no 2012. līdz 2021. gadam.

3.1. tabula

Bruto elektroenerģijas ražošanas no vēja enerģijas izmaiņu LMDI rezultāti no 2012. līdz 2021. gadam, GWh

	Igaunija	Latvija	Lietuva
Δ Vēja īpatsvars	-193	31	195
Δ AER īpatsvars	845	5	442
Δ Energointensitāte	-551	-38	-140
Δ Vēja kapacitātes produktivitāte	-1289	-4	-544
Δ Vēja ieviešana uz iedzīvotāju skaitu	1484	45	939
Δ Populācijas pieaugums	4	-11	-69
Δ Bruto saražotā elektroenerģija no vēja	299	27	822

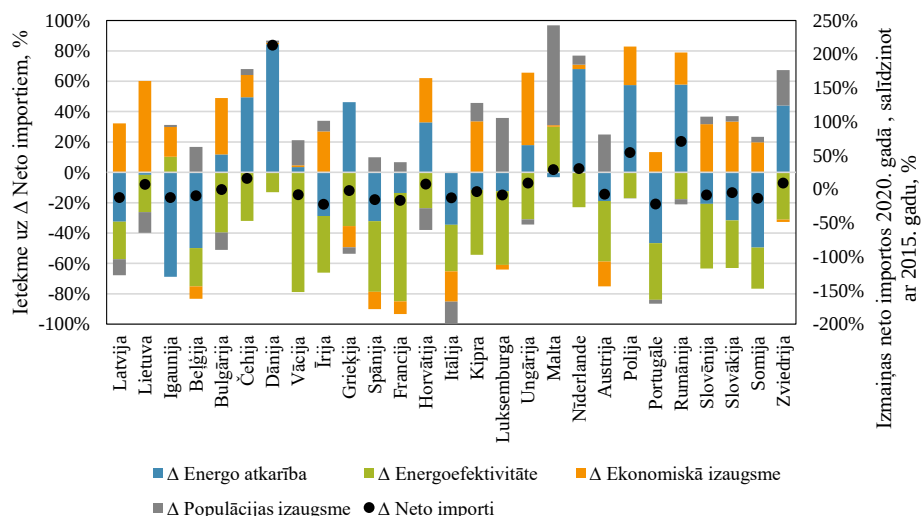
Bruto elektroenerģijas ražošanas no saules PV izmaiņu *LMDI* rezultāti no 2012. līdz 2021. gadam, GWh

	Igaunija	Latvija	Lietuva
Δ Saules PV īpatsvars	309	7	155
Δ AER īpatsvars	50	1	29
Δ Energointensitāte	-31	-1	-18
Δ Saules PV kapacitātes produktivitāte	-338	-7	-162
Δ Saules PV ieviešana uz iedzīvotāju skaitu	363	7	189
Δ Populācijas pieaugums	1	0	-4
Δ Bruto saražotā elektroenerģija no saules PV	354	7	189

Salīdzinot ar citām Baltijas valstīm, Latvijas progress vēja un saules PV jaudu paplašināšanās ir bijis ievērojami lēnāks. Pretstatā tam Lietuva un Igaunija, kas sākotnēji bija zemākās pozīcijās attiecībā uz AER īpatsvaru elektroenerģijas ražošanā, ir demonstrējušas proaktīvus centienus palielināt vēja un saules PV jaudas. Latvija vairāk paļāvusies uz hidroelektrostacijām atjaunojamās enerģijas ražošanai. Šī atšķirīgā pieeja ir radījusi atšķirīgus atjaunojamās enerģijas jaudu paplašināšanas rezultātus starp Baltijas valstīm. Latvijas vēsturiskā paļaušanās uz esošajām tehnoloģijām, piemēram, hidroenerģiju, potenciāli kavējusi turpmāko AER izaugsmi. Vēja un saules jaudu pieaugums 10 gadu laikā Latvijā bija tik pieticīgs, ka tas nespēja kompensēt hidroenerģijas ražošanas mainīgo raksturu.

3.3.3. *LMDI* dekompozīcijas analīze enerģijas importu novērtējumam

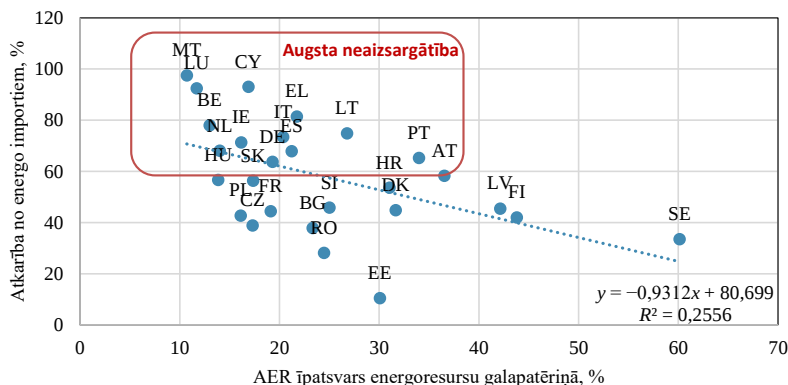
Lai izpētītu neto enerģijas importa izmaiņas ES-27, tika izmantota *LMDI* dekompozīcijas analīze. 3.13. attēlā redzama *LMDI* dekompozīcijas analīzes faktoru ietekme uz neto enerģijas importa izmaiņām ES-27 no 2015. līdz 2020. gadam, kā arī procentuālās izmaiņas kopējā neto enerģijas importā šajā periodā.



3.13. att. *LMDI* katra faktora ietekme uz to Δ Neto importos ES-27 no 2015. līdz 2020. gadam.

Rezultāti liecina, ka lielākā daļa ES-27 valstu no 2015. līdz 2020. gadam spēja samazināt savu neto enerģijas importu, izņemot deviņas valstis, kurās tika novērots importa pieaugums. Valstis ar vislielāko neto enerģijas importa pieaugumu bija Dānija (+213,3 %), Rumānija (+70,8 %), Polija (+54,0 %), Nīderlande (+30,6 %) un Malta (+28,8 %). Mazākus pieaugumus neto enerģijas importā reģistrēja Čehija (+15,9 %), Ungārija (+9,1 %), Zviedrija (+9,0 %), Horvātija (+7,5 %) un Lietuva (+6,9 %). Visas šīs valstis, izņemot Maltu un Lietuvu, uzrādīja arī būtisku enerģijas importa atkarības pieaugumu. Savukārt dažas valstis veiksmīgi samazināja savu atkarību no importētās enerģijas no 2015. līdz 2020. gadam. Pie šīm valstīm pieder Latvija, Igaunija, Beļģija, Spānija, Francija, Itālija, Kipra, Luksemburga, Austrija, Portugāle, Slovēnija, Slovākija un Somija.

Dabasgāzes un naftas produktu piegāde ir galvenais stūrakmens enerģētiskās neatkarības stiprināšanai gandrīz visās ES valstīs. 2020. gadā dabasgāze veidoja gandrīz ceturto daļu (23,7 %) no bruto pieejamās enerģijas ES ar importa atkarību 83,6 %. ES dabasgāze galvenokārt tiek izmantota centralizētās apkures sistēmās un elektroenerģijas ražošanā. 2020. gadā Krievija bija galvenais ES dabasgāzes tirdzniecības partneris, un pēdējās desmitgades laikā ES atkarība no dabasgāzes importa pieauga no 71,6 % 2011. gadā līdz 83,6 % 2020. gadā [30], [31]. Valstīs, kurās dabasgāzes īpatsvars kopējā enerģijas maisījumā ir augsts, piemēram, Itālijā (40 %), Nīderlandē (38 %), Ungārijā (34 %), Īrijā (33 %), Horvātijā (30 %), Vācijā (26 %) un Lietuvā (25 %), kur 2020. gadā dabasgāzes īpatsvars bruto pieejamajā enerģijā ir augstāks nekā ES vidējais rādītājs (24 %), ir nepieciešama nopietna enerģētikas sistēmas restrukturizācija [32]. Lai parādītu katras ES-27 valsts pozīciju enerģijas importa atkarības līmeņa un atjaunojamo energoresursu īpatsvara kopējā enerģijas patēriņā ziņā, tika veikta korelācijas analīze. 3.14. attēlā redzama sakarība starp AER īpatsvaru bruto enerģijas galapatēriņā un enerģijas importa atkarību 2020. gadā visām ES-27 valstīm.



3.14. att. Sakarība starp atjaunojamo energoresursu īpatsvaru bruto enerģijas galapatēriņā un enerģijas importa atkarību 2020. gadā ES-27 valstīs.

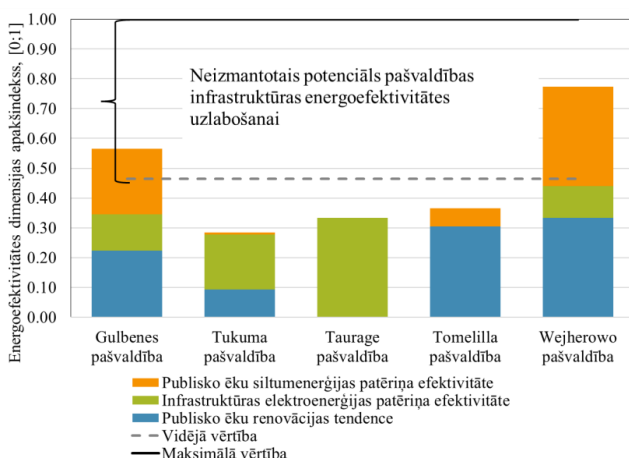
Rezultāti liecina, ka vairākās valstīs ar augstu enerģijas importa atkarību atjaunojamo energoresursu īpatsvars ir zemāks, salīdzinot ar citām valstīm. Šī valstu grupa ir īpaši jutīga gan pret ģeopolitisko situāciju, gan klimata pārmaiņu sekām. Augstai neaizsargātības grupai pieder Beļģija, Grieķija, Lietuva, Itālija, Īrija, Nīderlande, Spānija, Vācija, Malta, Kipra un Luksemburga. Savukārt Zviedrija demonstrē viskonkurētspējīgākās pozīcijas enerģētikas sistēmas dekarbonizācijas un nacionālās enerģētiskās drošības ziņā.

3.4. Pašvaldības energosistēma

3.4.1. Pašvaldības enerģētiskās pārejas indekss

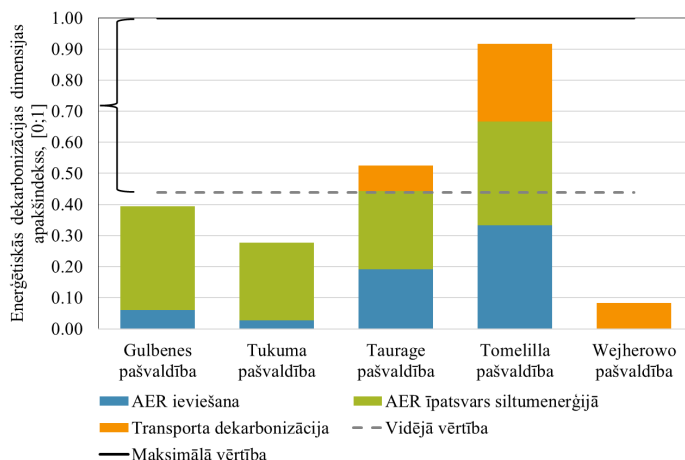
Lai analizētu un salīdzinātu piecu dažādu Baltijas jūras reģiona pašvaldību – Gulbenes (Latvija), Tukuma (Latvija), Taurages (Lietuva), Tomelillas (Zviedrija) un Veiherovas (Polija) – enerģētikas sistēmu ilgtspēju, tika izveidots pašvaldību enerģētiskās pārejas indekss (*ETT*). Rezultāti tika grupēti un aprakstīti, pamatojoties uz katras dimensijas apakšindeksa un kopējā pašvaldību enerģētiskās pārejas indeksa vērtībām.

3.15. attēlā redzami energoefektivitātes dimensijas apakšindeksa rezultāti. Šajā dimensijā izvēlētajām pašvaldībām tika analizēti trīs galvenie rādītāji: pašvaldības ēku renovācijas tendence, kas norāda renovēto pašvaldības ēku kopējās platības īpatsvaru no kopējās apkures platības (%); infrastruktūras elektroenerģijas patēriņa efektivitāte, ko mēra kā pašvaldības elektroenerģijas patēriņu uz vienu iedzīvotāju (kWh/iedzīvotājs); pašvaldības ēku siltumenerģijas patēriņa efektivitāte, kas atspoguļo vidējo siltumenerģijas patēriņu pašvaldības ēkās (kWh/m²). Energoefektivitātes dimensijas apakšindeksa vērtības svārstījās no 0,77 (augstākā vērtība, Veiherova) līdz 0,28 (zemākā vērtība, Tukums), ar vidējo līmeņatzīmes vērtību 0,46.



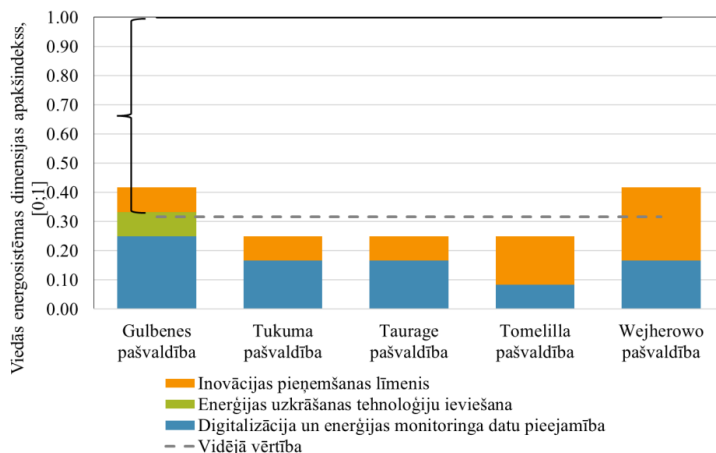
3.15. att. Energoefektivitātes dimensijas apakšindeksa rezultāti.

3.16. attēlā redzami enerģijas dekarbonizācijas dimensijas apakšindeksa rezultāti. Šīs dimensijas raksturošanai izvēlētajām pašvaldībām tika analizēti trīs galvenie rādītāji: AER jaudu ieviešana (uzstādīto pašvaldības AER elektrostaciju jauda MW uz vienu iedzīvotāju); AER siltumenerģijas īpatsvars (atjaunojamās enerģijas resursu saražotās siltumenerģijas īpatsvars, %); transporta dekarbonizācija (elektriskā un alternatīvās degvielas transporta īpatsvars, %). Enerģijas dekarbonizācijas dimensijas apakšindeksa vērtības uzrādīja visplašāko rezultātu diapazonu starp pašvaldībām, kur augstākā vērtība bija 0,92 (Tomelillas pašvaldība), zemākā – 0,08 (Veiherovas pašvaldība).



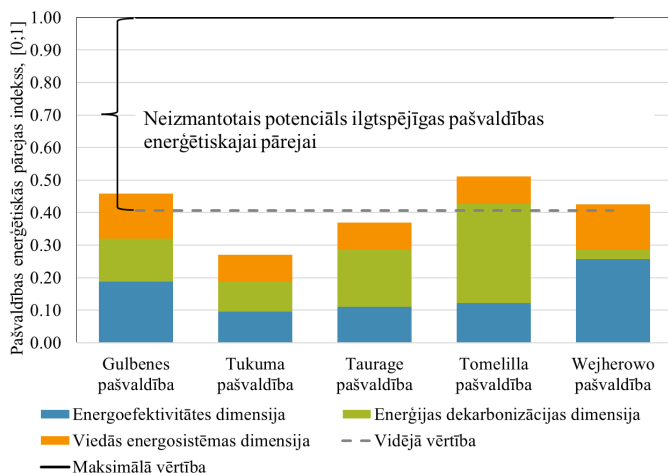
3.16. att. Enerģijas dekarbonizācijas dimensijas apakšindeksa rezultāti.

3.17. attēlā redzami viedo enerģijas sistēmu dimensijas apakšindeksa rezultāti. Šīs dimensijas raksturošanai tika izmantoti trīs galvenie kvalitatīvās novērtēšanas rādītāji: digitalizācija un enerģijas monitoringa datu pieejamība (datu kvalitātes līmenis un enerģijas datu vākšanas sarežģītība); enerģijas uzglabāšanas tehnoloģiju ieviešana (esošo AER uzglabāšanas tehnoloģiju uzstādīšana); inovāciju pieņemšanas līmenis (inovāciju, piemēram, ūdeņraža un tā atvasinājumu, adaptācijas novērtējums). Viedo enerģijas sistēmu dimensijas apakšindeksa rezultāti (vidējā līmeņatzīmes vērtība – 0,32) bija ievērojami zemāki nekā citās dimensijās, liecinot par lielāku neizmantoto potenciālu. Vērtības svārstījās no 0,42, kas bija augstākās (Gulbenes un Veikshero pašvaldībās), līdz 0,25, kas bija zemākās (Tukuma, Taurages un Tomelillas pašvaldībās).



3.17. att. Viedās energosistēmas dimensijas apakšindeksa rezultāti.

3.18. attēlā redzami pašvaldību kopējie enerģētiskās pārejas indeksa (ETI) rezultāti. Visās pašvaldībās tika konstatēts būtisks neizmantotais potenciāls ilgtspējīgai pašvaldību enerģētikas pārejai, ņemot vērā maksimālo indeksa vērtību, kas ir vienāda ar 1.



3.18. att. Pašvaldību enerģētiskās pārejas indeksa (ETI) rezultāti.

Rezultāti izceļ vairākus izaicinājumus, kas saistīti ar pašvaldību enerģētisko pāreju. Transporta dekarbonizācija ir būtisks izaicinājums lielākajā daļā pašvaldību, kurās atjaunojamās enerģijas īpatsvars ir zems. Rezultāti liecina, ka visās pašvaldībās ir ievērojams neizmantotais potenciāls AER elektrostaciju uzstādīšanai, ņemot vērā to, ka elektroenerģijas pārpalikumus varētu apvienot ar integrētiem enerģijas uzglabāšanas risinājumiem vai izmantot ūdeņraža ražošanai. Lielākā daļa pašvaldību joprojām ir atturīgas pret inovācijām, piemēram, ūdeņraža un tā atvasinājumu izmantošanu. Joprojām pastāv būtiska nenoteiktība, kas ietekmē pašvaldību pārliecību lēmumu pieņemšanā par ūdeņraža izmantošanas potenciālu. Būtiska problēma dažās pašvaldībās joprojām ir zemā energoefektivitāte. Pašvaldību ēku renovācijas temps un siltuma patēriņš varētu ievērojami uzlaboties, aktīvi ieguldot energoefektivitātes pasākumos.

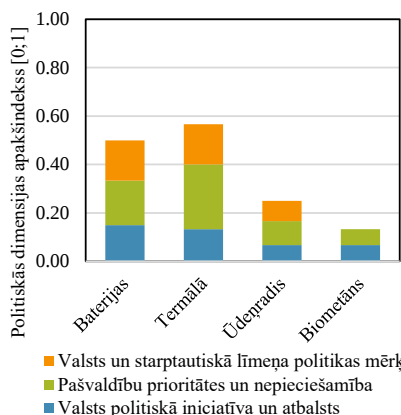
3.4.2. Enerģijas uzglabāšanas risinājumi vietējās enerģosistēmās, izmantojot *PESTLE*

Lai novērtētu un salīdzinātu izvēlētajās atjaunojamās enerģijas uzglabāšanas alternatīvas pašvaldību kontekstā, tika izmantoti 19 rādītāji, kas tika grupēti sešās galvenajās dimensijās – politiskajā, ekonomiskajā, sociālajā, tehnoloģiskajā, juridiskajā un vides. Rezultāti vispirms attēlo dimensiju apakšindeksu vērtības (3.19. att.), pēc tam apakšindeksu rezultāti tika apvienoti *PESTLE* saliktajā indeksā, kas redzams 3.20. attēlā.

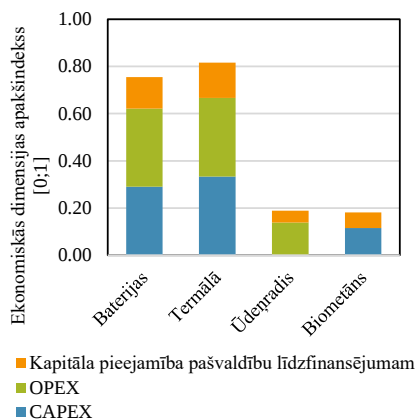
Politiskās dimensijas analīze liecina, ka galvenie faktori, kas ietekmē enerģijas uzglabāšanas tehnoloģiju potenciālo ieviešanu, ir politiskās iniciatīvas un valsts atbalsts, mērķtiecīga politika nacionālā un starptautiskā līmenī, kā arī konkrētu pašvaldību prioritāšu un vajadzību identificēšana. Pašlaik prioritāte valdības līmenī ir siltumenerģijas uzglabāšana un bateriju integrācija, kā rezultātā pastāv nacionālas finansēšanas programmas, kas atbalsta šādas infrastruktūras attīstību pašvaldībās. Tomēr nav skaidras politikas fokusa vai atbalsta ūdeņraža vai biometāna sistēmu ieviešanas paātrināšanai pašvaldībās.

Ekonomiskās dimensijas analīze liecina, ka siltumenerģijas uzglabāšana un baterijas pašlaik ir visrentablākās alternatīvas, jo tām ir zemākās specifiskās kapitāla investīciju izmaksas (EUR/kW) un ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksas (EUR/kWh), salīdzinot ar ūdeņradi un biometānu, kuriem

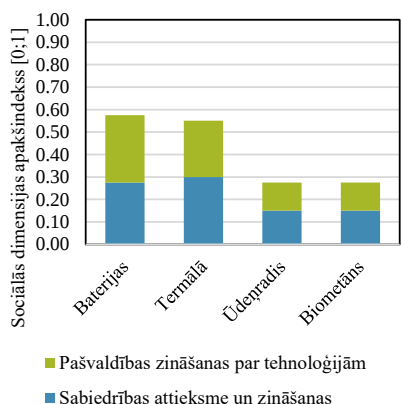
nepieciešami augsti ieguldījumi nepieciešamās infrastruktūras izveidē. Turklāt kapitāla pieejamība pašvaldību līdzfinansējuma ziņā baterijām un siltumenerģijas uzglabāšanai ir daudz augstāka, jo sākotnējās investīciju izmaksas ir zemākas.



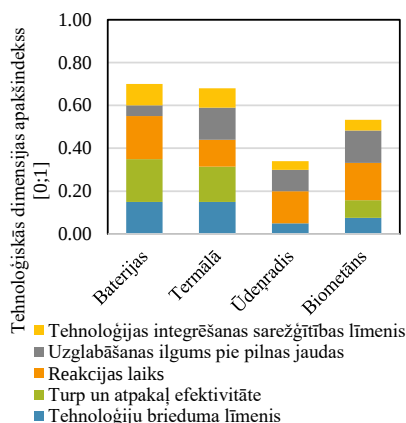
(a) Politiskās dimensijas apakšindekss



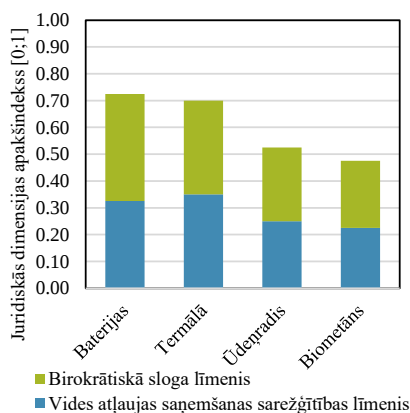
(b) Ekonomiskās dimensijas apakšindekss



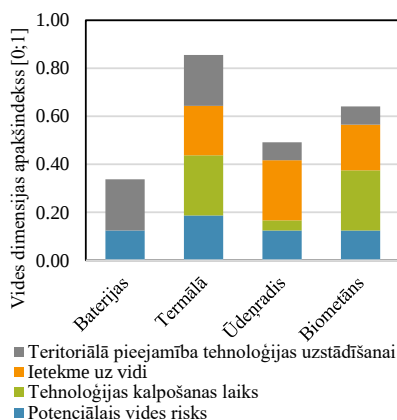
(c) Sociālās dimensijas apakšindekss



(d) Tehnoloģiskās dimensijas apakšindekss



(e) Juridiskās dimensijas apakšindekss

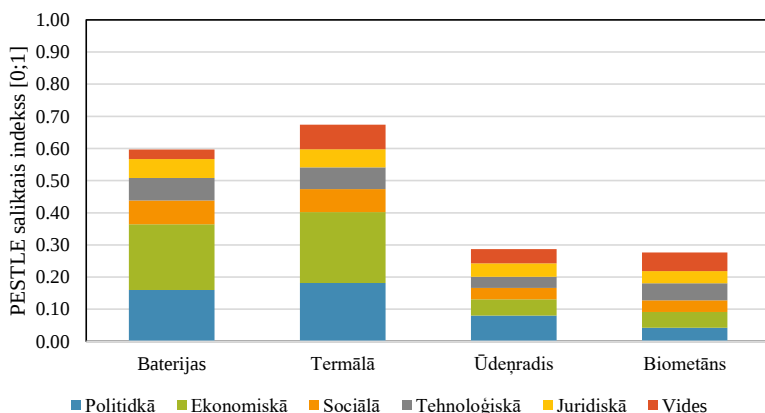


(f) Vides dimensijas apakšindekss

3.19. att. PESTLE dimensiju apakšindeksi.

Sociālās dimensijas analīze liecina, ka gan sabiedrības, gan pašvaldības attieksme un zināšanas par izvēlētajām tehnoloģijām ir daudz pozitīvākas attiecībā uz siltumenerģijas uzglabāšanu un baterijām. Tas skaidrojams ar to, ka šīs tehnoloģijas jau ir labi zināmas un izmantotas. Pretēji tam, ūdeņraža un biometāna izmantošanas iespējas sabiedrībā un pašvaldībās tiek uztvertas ar skepsi. Joprojām pastāv daudz nezināmā par šīm tehnoloģijām, un pašvaldībām trūkst nepieciešamo prasmju un zināšanu, lai pilnībā izprastu, kā šīs sistēmas darbojas un kā tās varētu tikt integrētas pašvaldības enerģētikas sistēmā.

Tehnoloģiskās dimensijas rezultāti liecina, ka baterijas un siltumenerģijas uzglabāšanas risinājumi šobrīd ir ar augstāku ieviešanas potenciālu, salīdzinot ar ūdeņraža un biometāna uzglabāšanu. Tas galvenokārt saistīts ar šo tehnoloģiju augstāku brieduma pakāpi, lielāku efektivitāti un zemāku sarežģītību, integrējot tās esošajā tīklā. Lai gan baterijas uzrāda visātrāko reakcijas laiku, salīdzinot ar citām alternatīvām, to uzglabāšanas ilgums pie pilnas jaudas ir ievērojami zemāks nekā siltumenerģijas uzglabāšanai, ūdeņradim un biometānam.



3.20. att. *PESTLE* saliktā indeksa rezultāti.

Juridiskajā dimensijā tika izvērtēta sarežģītība, kas saistīta ar vides atļaujas iegūšanu, un birokrātijas pakāpe pašvaldības atļaujas saņemšanai visām četrām alternatīvajām tehnoloģijām. Rezultāti liecināja, ka ūdeņraža un biometāna tehnoloģiju apstiprināšanas process būtu ievērojami sarežģītāks, ņemot vērā šo tehnoloģiju drošības riskus un daudzās neskaidrības, kas potenciāli varētu aizkavēt to ieviešanu pašvaldībās.

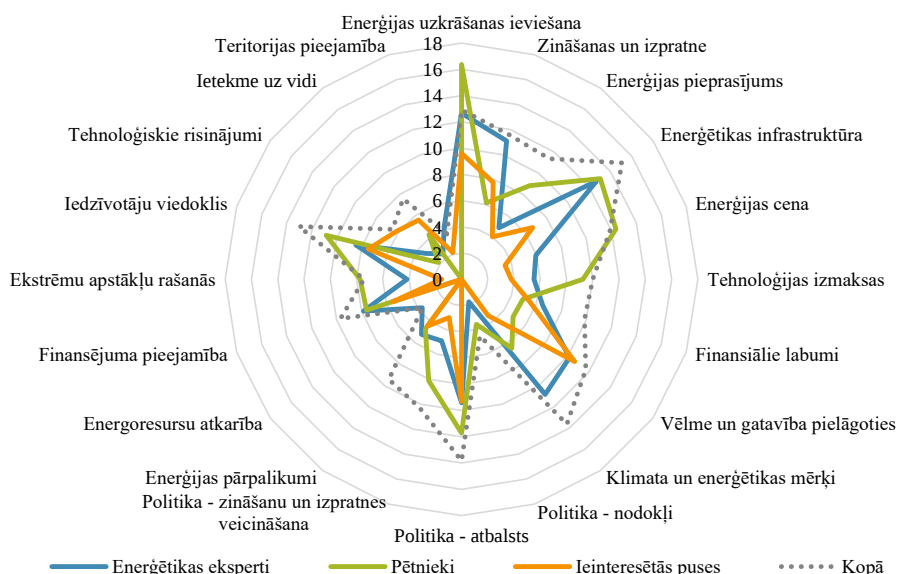
Vides dimensijas rezultāti liecināja, ka baterijām ir vislielākā potenciālā ietekme uz vidi, salīdzinot ar citām alternatīvām. Tas galvenokārt saistīts ar litija jonu resursu, tā ieguve ir ļoti energoietilpīga, un litija jonu bateriju utilizācija ir saistīta ar vairākiem ilgtspējas jautājumiem. Turklāt baterijām ir īsākais kalpošanas laiks, salīdzinot ar citām alternatīvām, kas prasa biežāku tehnisko komponentu nomaiņu un negatīvi ietekmē resursu efektivitāti.

Kopējie *PESTLE* saliktā indeksa rezultāti rāda, ka siltumenerģijas uzglabāšana sasniedza augstāko indeksa vērtību – 0,67, kam sekoja baterijas ar 0,60, ūdeņradis ar 0,29 un biometāns ar 0,28. Siltumenerģijas uzglabāšana un litija jonu baterijas ir pašvaldībām Latvijā ar augstāko ieviešanas potenciālu enerģijas uzglabāšanai, ņemot vērā to izmaksu efektivitāti, tehnoloģisko briedumu un augstāku sabiedrības pieņemamību, pieejamo valsts finansējuma programmas atbalstu. Savukārt ūdeņraža un biometāna sistēmas saskaras ar būtiskiem ekonomiskiem, juridiskiem un sociāliem

izaicinājumiem, tostarp augstām investīciju izmaksām, birokrātiskām problēmām un ierobežotu atpazīstamību, kas padara to integrāciju mazāk reālu pašreizējos apstākļos, lai gan nākotnē situācija varētu mainīties.

3.4.3. Ieinteresēto pušu perspektīvas, izmantojot kognitīvās kartēšanas metodi

Lai analizētu dažādu ieinteresēto pušu mentālos modeļus un to uztverto nozīmīgumu dažādiem faktoriem, kas ietekmē enerģijas uzglabāšanas ieviešanu pašvaldībās, tika izmantota kognitīvās kartēšanas metodoloģija. Rezultāti atklāja būtiskas atšķirības starp enerģētikas ekspertu, pētnieku un ieinteresēto pušu grupu izveidotajiem mentālajiem modeļiem. Lai noteiktu kategorijas, kurām ir vislielākā ietekme uz enerģijas uzglabāšanas ieviešanu vietējā enerģētikas sistēmā, tika aprēķināts centralitātes rādītājs katrai kategorijai. 3.21. attēlā redzams centralitātes profils katrai grupai – enerģētikas ekspertiem, pētniekiem un vietējās enerģētiskās pārejas ieinteresētajām pusēm.



3.21. att. Centralitātes profili definētajām kategorijām.

Enerģētikas ekspertu mentālajos modeļos viscentrālākās kategorijas bija enerģētikas infrastruktūra un enerģijas uzglabāšanas ieviešana, zināšanas, pieredze un izpratne, klimata un enerģētikas mērķi, kā arī gatavība un vēlme pielāgoties. Arī pētniekiem viscentrālākās kategorijas bija enerģētikas infrastruktūra un enerģijas uzglabāšanas ieviešana, bet tās kā nozīmīgi elementi papildināja enerģijas cena un atbalsta politikas. Savukārt vietējās enerģētiskās pārejas ieinteresētajām pusēm viscentrālākās kategorijas bija gatavība un vēlme pielāgoties, enerģijas uzglabāšanas ieviešana, atbalsta politikas, zināšanas, pieredze un izpratne, kā arī iedzīvotāju viedoklis. Kopumā pašvaldības un vietējās enerģētiskās pārejas ieinteresētās puses lielāku uzmanību pievērš zināšanu, vadības gribas un valdības atbalsta pasākumu lomai, ko tās uzskata par galvenajiem rīcības virzītājiem. Pašreizējie izaicinājumi ir saistīti ar zināšanu trūkumu un nepietiekamu gatavību pielāgoties jaunajiem risinājumiem, ko varētu novērst ar atbilstošām politikām, kas atbalstītu vietējo pašvaldību pāreju. Līdzīgi arī enerģētikas eksperti atzina, ka zināšanas, pieredze un izpratne ir viens no svarīgākajiem faktoriem, kas ietekmē

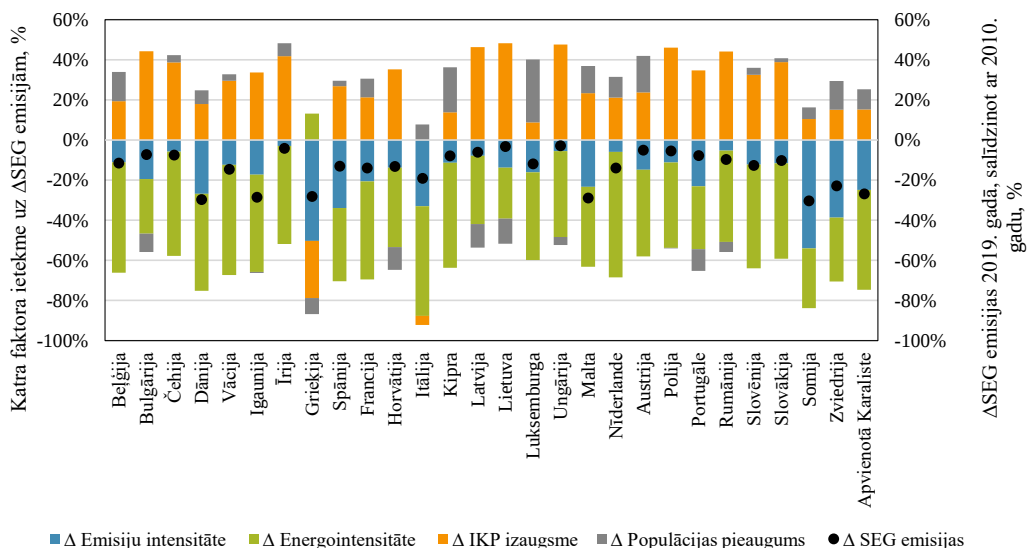
enerģijas uzglabāšanas ieviešanu vietējās enerģētikas infrastruktūrās. Savukārt pētnieki kā galvenos pārmaiņu veicinātājus vairāk uzsvēra enerģijas cenu un atbalsta politikas.

Lai gan faktori dažādās grupās atšķiras, atbalsta shēmas, piemēram, subsīdijas un izpratnes veicināšanas kampaņas, izceļas kā centrālais fokuss visās ieinteresēto pušu grupās. Mentālo modeļu analīze atklāja, ka pašvaldības uztver un risina izaicinājumus lineārā veidā, nespējot paredzēt svarīgas savstarpējās saiknes starp dažādiem faktoriem. Pretstatā tam, enerģētikas eksperti domā atgriezenisko saikņu un kopējo sistēmas prasību ietvaros. Pētījums atklāj nepieciešamību pēc kopīgas izpratnes platformas, kas veicinātu zināšanu apmaiņu. Izpratnes uzlabošana par dažādo ieinteresēto pušu uztverēm un prasībām, kas saistītas ar atjaunojamās enerģijas uzglabāšanas infrastruktūras ieviešanu, var ievērojami ietekmēt iesaisti politikas veidošanā un investīciju aktivitātēs. Ir būtiski veidot mērķtiecīgu komunikāciju ar pašvaldībām, uzsverot enerģijas uzglabāšanas ieguvumus, piemēram, uzlabotu sistēmas neatkarību un potenciālās enerģijas izmaksu ietaupījumus ilgtermiņā. Šāda pieeja var pozitīvi ietekmēt sabiedrības viedokli un veicināt veiksmīgu enerģijas politikas leģitimitāti. Turklāt rezultāti uzsvē nepieciešamību pēc tiešākas un vienkāršākas komunikācijas ar pašvaldībām.

3.5. Klimata un enerģētikas politika

3.5.1. *Kaya* identitāte SEG emisiju analīzei un prognozēšanai

Lai analizētu galvenos faktorus, kas ietekmējuši SEG emisiju izmaiņas ES-28 (ieskaitot Apvienoto Karalisti) valstu vidū, tika izmatota *Kaya* identitātes metode kopā ar *LMDI* dekompozīcijas analīzi. Pētījuma periods aptver 10 gadus – no 2010. līdz 2019. gadam – un sniedz ieskatu par progresu, kas panākts, īstenojot Zaļā kursa mērķus. 3.22. attēlā redzami šīs analīzes rezultāti, norādot galvenos faktorus, kas ietekmējuši SEG emisiju samazināšanos vai pieaugumu pētītajā periodā, kā arī izvērtējot valstu paveikto klimata mērķu sasniegšanā.

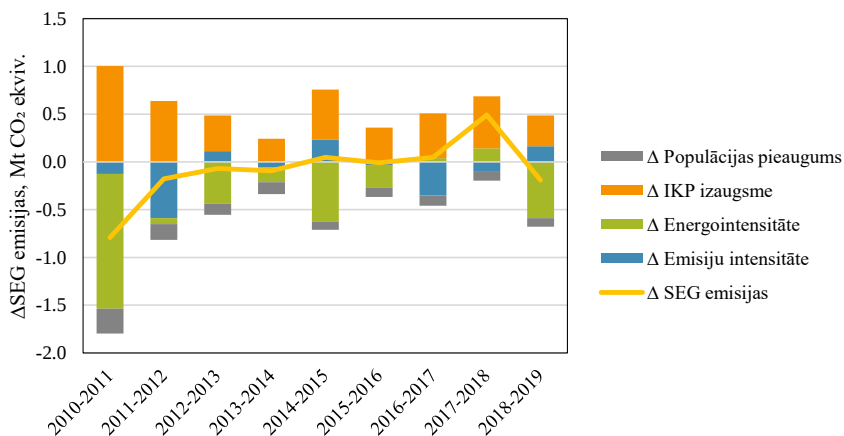


3.22. att. *Kaya* identitātes dekompozīcijas analīzes rezultāti ES-28 valstīs.

Visas ES-28 valstis pēdējās desmitgades laikā spēja samazināt SEG emisiju apjomus, salīdzinot 2019. gada emisiju līmeni ar 2010. gadu. Vislielākās izmaiņas SEG emisijās tika novērotas Dānijā (– 30 %), Somijā (–30 %) un Igaunijā (–29 %), kas uzrāda vislielāko progresu SEG emisiju samazināšanā. Savukārt Lietuva (–3 %), Ungārija (–3 %) un Īrija (–4 %) uzrādīja vismazāko emisiju samazinājumu, salīdzinot ar citām valstīm. Absolūtā izteiksmē lielākais SEG emisiju samazinājums tika sasniegts Apvienotajā Karalistē (–164 Mt CO₂ ekv.) un Vācijā (–137 Mt CO₂ ekv.), kas atspoguļo emisiju samazinājumu attiecīgi par 27 % un 15 %.

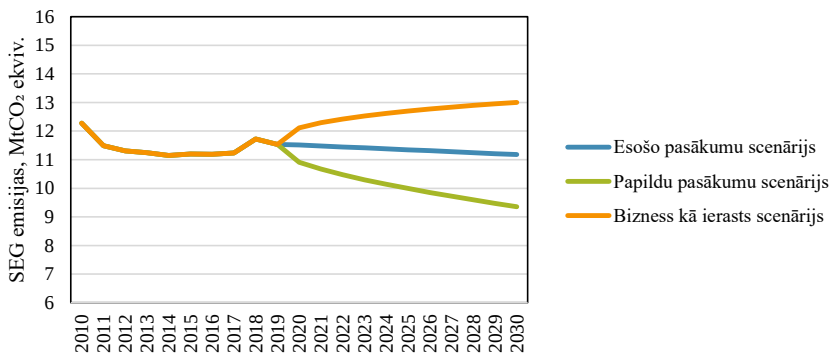
Latvijā (3.23. att.) 10 gadu periodā – no 2010. līdz 2019. gadam – SEG emisijas kopumā samazinājās par 0,74 miljoniem tonnu CO₂ ekvivalenta. Absolūtās SEG emisiju samazināšanas galvenais iemesls bija enerģijas intensitātes būtisks samazinājums (–3,33). Papildu emisiju samazinājumu veicināja emisiju intensitātes samazinājums (–0,76) un iedzīvotāju skaita samazinājums (–1,14). Energoefektivitātes pasākumi Latvijā tika atzīti par visefektīvākajiem SEG emisiju samazināšanas virzītājiem. Faktiski energoefektivitātes pasākumi ietekmēja emisiju samazinājumu vairāk nekā četras reizes spēcīgāk nekā uzlabojumi emisiju intensitātē.

Latvijā lielāku SEG emisiju samazinājumu būtiski ierobežoja pieaugošā ekonomiskā aktivitāte, kur IKP pieaugums (+4,48) veicināja SEG emisiju pieaugumu un ievērojami kavēja kopējo emisiju samazināšanas tempu. Gados, kad IKP pieaugums bija būtisks, piemēram, 2015., 2017. un 2018. gadā, nepietiekami pasākumi enerģijas un emisiju intensitātes uzlabošanai izraisīja SEG emisiju pieaugumu. Gadu griezumā analizējot dekompozīcijas faktoru izmaiņu dinamiku, konstatēts, ka laikā no 2013. līdz 2016. gadam, kad kopējais hidroenerģijas ģenerētās enerģijas apjoms samazinājās par vairāk nekā trešdaļu, salīdzinot ar 2012. gadu, emisiju intensitātes faktors būtiski pieauga, liecinot par īpatnējo SEG emisiju pieaugumu. Pretēja tendence novērojama 2017. gadā, kad hidroelektrostacijas ģenerēja rekordlielu hidroenerģijas apjomu. Tas izraisīja nozīmīgu emisiju intensitātes samazinājumu šajā gadā. Ņemot vērā hidroenerģijas lielo īpatsvaru Latvijas kopējā enerģijas bilanci, var secināt, ka hidroenerģijas ģenerācijas apjoma svārstības neapšaubāmi ietekmē kopējo emisiju intensitāti. Šāda atkarība uzsver nepieciešamību pēc enerģijas avotu dažādošanas un stabilākas emisiju samazināšanas stratēģijas.



3.23. att. Kaya identitātes dekompozīcija Latvijā.

Lai prognozētu nākotnes SEG emisiju izmaiņu trajektorijas Latvijā (3.24. att.), tika izmantoti *LMDI* dekompozīcijas analīzes rezultāti. Esošo pasākumu scenārijā prognozēts, ka Latvija līdz 2030. gadam emitēs 11,2 miljonus tonnu CO₂ ekvivalenta (Mt CO₂-ekviv.). Ņemot vērā to, ka Latvija ir paziņojusi savu SEG emisiju mērķi – 9,2 Mt CO₂-ekviv. līdz 2030. gadam, prognozētās vērtības liecina, ka pašreizējie SEG emisiju samazināšanas pasākumi nav pietiekami, lai sasniegtu mērķi. Prognozes rāda, ka Latvijai būs jāpieliek ievērojamas pūles, lai sasniegtu izvirzīto mērķi. Turklāt tiek lēsts, ka, ja netiks ieviesti jauni klimata politikas pasākumi un Latvijas ekonomika darbosies pēc principa “business kā ierasts”, kopējās SEG emisijas līdz 2030. gadam pieaugs par 13 %, salīdzinot ar 2019. gada līmeni. Šie rezultāti uzsvēr nepieciešamību pēc papildu politikas pasākumiem un pastiprinātiem centieniem emisiju samazināšanā, lai nodrošinātu Latvijas klimatneitralitātes mērķu sasniegšanu.



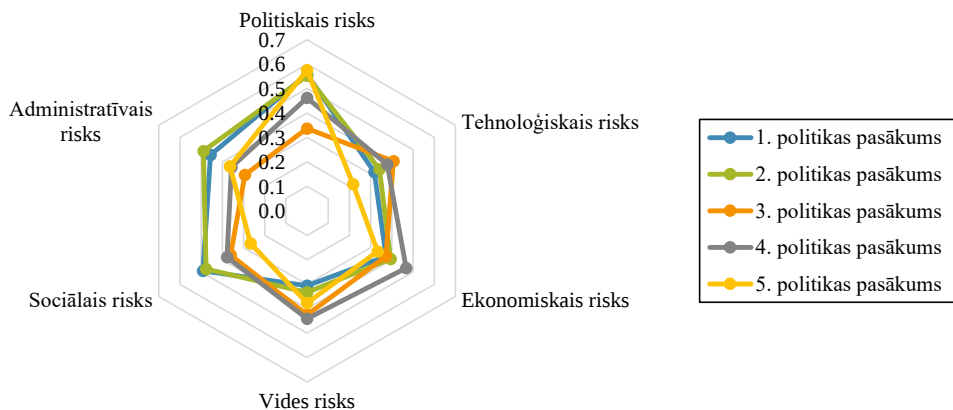
3.24. att. SEG emisiju prognozes Latvijai.

Latvijas SEG emisiju prognozes liecina, ka pašreizējās klimata politikas nav pietiekamas, lai sasniegtu 2030. gada SEG emisiju samazināšanas mērķus, kas noteikti Nacionālajā enerģētikas un klimata plānā (NEKP). Tāpēc nepieciešams ieviest papildu pasākumus, lai stiprinātu SEG emisiju samazināšanu visos resursu patēriņa sektoros. Pašreizējo nacionālo klimata politiku un mērķu trūkums attiecībā uz konkrētiem nozares mērķiem var būt viens no galvenajiem faktoriem, kas kavē lielāku oglekļa emisiju samazināšanu. Lai izveidotu efektīvāku ilgtermiņa enerģētikas un klimata politiku, ir svarīgi noteikt specifiskus mērķus un saistības katrai nozarei atsevišķi, tostarp transporta, rūpniecības, pakalpojumu, lauksaimniecības un mājāsaimniecību sektoriem. Šāda pieeja ļautu precīzāk mērķēt pasākumus un uzlabotu ilgtermiņa politikas efektivitāti emisiju samazināšanā, kā arī veicinātu Latvijas mērķu sasniegšanu ceļā uz klimatneitralitāti.

3.5.2. Politikas risku novērtēšanas modelis

Latvijas klimata un enerģētikas politikas analīzē tika izmantota riska matricas pieeja, apvienojot to ar saliktā indeksa metodoloģiju, lai izveidotu politikas riska indeksu. Šis indekss tika veidots no 24 riska indikatoriem, kas tika grupēti sešās galvenajās riska kategorijās – politiskais, tehniskais, ekonomiskais, vides, sociālais un administratīvais. Modeļa efektivitāte tika validēta piecās gadījuma izpētēs, analizējot dažādus Latvijas klimata un enerģētikas politikas instrumentus. Pirmajā gadījuma izpētē tika veikta *ex ante* novērtēšana vēja enerģijas parka būvniecības projektam. Otrajā gadījuma izpētē tika analizēta *ex post* novērtēšana Energoefektivitātes monitoringa sistēmas programmai, kas ir politikas instruments, ko Latvijas Republikas Ekonomikas ministrija izveidoja 2017. gadā. Trešajā

gadījuma izpētē tika vērtēts *ex post* klimata pārmaiņu finanšu instrumenta (KPFI) programmas efektivitāte. Šī Latvijas valsts budžeta programma darbojās no 2009. līdz 2015. gadam, un to administrēja Latvijas Republikas Vides aizsardzības un reģionālās attīstības ministrija. Ceturtajā un piektajā gadījuma izpētē tika apskatīti teorētiskie *ex ante* izaicinājumi, kas saistīti ar decentralizētas vai centralizētas enerģijas sistēmas attīstību. 3.25. attēlā redzams apakšindeksu vērtību salīdzinājums dažādiem analizētajiem politikas instrumentiem.



3.25. att. Risku apakšindeksu vērtības no gadījuma izpētēm.

Energoefektivitātes monitoringa sistēmas programmai (2. politikas pasākums) tika piešķirta augstākā kopējā riska indeksa vērtība – 0,43. Galvenie iemesli bija aizkavēta īstenošana, nepietiekami izstrādāta politika, neskaidras vadlīnijas un vāja ilgtermiņa vīzija. Otrā augstākā riska indeksa vērtība – 0,42 – tika sasniegta vēja enerģijas parka būvniecībai (1. politikas pasākums). To galvenokārt veicināja nepietiekama informācijas izplatīšana, zema sabiedrības pieņemšana, neskaidri regulējumi, politiskā pretestība un birokrātiskas grūtības, kas kavēja īstenošanu un paplašināšanu. Centralizētas enerģijas ražošanas attīstībai (5. politikas pasākums) sasniedza viszemāko kopējā riska indeksa vērtību – 0,36, tomēr tā saskārās ar visaugstāko politisko risku, kas izrietēja no politikas nestabilitātes un nepilnīgas ilgtermiņa plānošanas. Savukārt decentralizēta enerģijas ražošana (4. politikas pasākums) uzrādīja salīdzinoši augstāku kopējo riska indeksu – 0,41, ko galvenokārt izraisīja būtiski ekonomiskie riski, tostarp zemā efektivitāte un nepietiekami fiskālās politikas instrumenti. Otrā zemākā riska indeksa vērtība – 0,37 – tika uzrādīta klimata pārmaiņu finanšu instrumentam (3. politikas pasākums). Tomēr šis instruments saskārās ar augstāko vides riska apakšindeksu un nespēja nodrošināt savu primāro mērķi – SEG emisiju samazināšanu, kas liecina par būtisku pretrunu politikas pasākuma izstrādē un īstenošanā.

SECINĀJUMI

Promocijas darba hipotēze ir apstiprinājusies, ko apliecina izstrādāto un aprobēto metožu (saliktā indeksa, dekompozīcijas analīzes, kognitīvās kartēšanas) efektivitāte, sniedzot vērtīgus ieskus dažādos enerģētikas sistēmu līmeņos.

Vispārējie enerģētikas ilgtspējas novērtējuma rezultāti atklāj, ka Latvijas vēsturiskā paļaušanās uz hidroenerģiju ir radījusi maldīgu komforta un pašpietiekamības sajūtu, aizkavējot proaktīvākus centienus paplašināt vēja un saules enerģijas jaudas.

Sistēmas elastības uzlabošanai, ieviešot enerģijas uzkrāšanas risinājumus, būs būtiska loma, pārvēršot atjaunojamās enerģijas potenciālu realitātē. Pašlaik risinājumi ar augstāko ieviešanas potenciālu vietējās energosistēmās ir litija jonu baterijas un siltumenerģijas uzkrāšana, tomēr enerģijas uzkrāšana, ražojot ūdeņradi un biometānu, ir risinājumi, kas nākotnē potenciāli ieņems būtisku lomu.

Pašvaldības tiek uzskatītas par galvenajiem virzītājspēkiem ES ceļā uz klimatneitralitāti. Tomēr tās saskaras ar ievērojamiem izaicinājumi transporta dekarbonizācijā, atjaunojamās enerģijas jaudu paplašināšanā un energoefektivitātes uzlabošanā vietējās enerģijas sistēmās.

Pieaugošā ekonomiskā aktivitāte zemāku ienākumu valstīs bija galvenais faktors, kas vēsturiski kavēja lielāku SEG emisiju samazinājumu sasniegšanu. Baltijas valstīs pašreizējā klimata politika nav pietiekama, lai sasniegtu 2030. gada SEG emisiju samazinājuma mērķus. Esošajās politikās trūkst specifisku sektoru mērķu. Rūpniecības sektorā būtu jāņem vērā sektora neviendabība, lai izstrādātu pielāgotu politiku. Augstas intensitātes un zemas intensitātes apakšsektoriem pastāv atšķirīgi stimuli. Identificētie pasākumi transporta dekarbonizācijas veicināšanai ir: (1) sabiedriskā transporta attīstība; (2) elektrotransporta un alternatīvo degvielu infrastruktūras paplašināšana; (3) energoefektivitātes uzlabošana.

Rūpīgi izstrādāta klimata politika ir galvenais stūrakmens, lai pārvērstu ambiciozos mērķus konkrētās darbībās. Šis promocijas darbs piedāvā politikas risku novērtēšanas metodisko ietvaru, lai identificētu un risinātu kritiskās jomas enerģētikas politikā un palīdzētu izvairīties no potenciālajām neveiksmēm.

LITERATŪRAS AVOTI

- [1] European Commission, “Renewable energy targets.” Accessed: Mar. 30, 2023. [Online]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/renewable-energy/renewable-energy-directive-targets-and-rules/renewable-energy-targets_en.
- [2] European Commission, “New paper on how higher energy prices affect EU households published.” Accessed: Nov. 23, 2024. [Online]. Available: <https://ec.europa.eu/social/main.jsp?langId=en&catId=89&furtherNews=yes&newsId=10729>.
- [3] M. Hafner and G. Luciani, Eds., *The Palgrave Handbook of International Energy Economics*. Cham: Springer International Publishing, 2022. doi: 10.1007/978-3-030-86884-0.
- [4] B. Lennon, N. P. Dunphy, and E. Sanvicente, “Community acceptability and the energy transition: a citizens’ perspective,” *Energ Sustain Soc*, vol. 9, no. 1, p. 35, Dec. 2019, doi: 10.1186/s13705-019-0218-z.
- [5] E. Dogan, S. Hodžić, and T. F. Šikić, “Do energy and environmental taxes stimulate or inhibit renewable energy deployment in the European Union?,” *Renewable Energy*, vol. 202, pp. 1138–1145, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.renene.2022.11.107.
- [6] European Council, “Fit for 55.” Accessed: Jul. 20, 2023. [Online]. Available: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/>.
- [7] European Commission, “REPowerEU. Affordable, secure and sustainable energy for Europe.” Accessed: Jul. 20, 2023. [Online]. Available: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/repowereu-affordable-secure-and-sustainable-energy-europe_en.
- [8] LVĢMC Latvijas Vides ģeoloģijas un meteoroloģijas centrs, “Kopsavilkums par 2024. gada siltumnīcefekta gāzu inventarizāciju,” 2024.
- [9] European Commission, “Committing to climate-neutrality by 2050: Commission proposes European Climate Law and consults on the European Climate Pact,” 2020. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_335.
- [10] European Commission, “European Green Deal: EU agrees stronger legislation to accelerate the rollout of renewable energy.” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_2061.
- [11] Enerdata, “Electricity Forecast.” Accessed: Jul. 08, 2023. [Online]. Available: <https://eneroutlook.enerdata.net/forecast-world-electricity-consumption.html>.
- [12] M. Beccarello and G. Di Foggia, “Review and Perspectives of Key Decarbonization Drivers to 2030,” *Energies*, vol. 16, no. 3, p. 1345, Jan. 2023, doi: 10.3390/en16031345.
- [13] J. Finke, V. Bertsch, and V. Di Cosmo, “Exploring the feasibility of Europe’s renewable expansion plans based on their profitability in the market,” *Energy Policy*, vol. 177, p. 113566, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.enpol.2023.113566.
- [14] N. Maīzi and V. Mazauric, “From centralized to decentralized power systems: The shift on finitude constraints,” *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 4262–4267, Feb. 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.800.
- [15] L. Schmieder, D. Scheer, J. Gaiser, I. Jendritzki, and B. Kraus, “Municipalities as change agents? Reconsidering roles and policies in local energy sector-coupling,” *Energy Research & Social Science*, vol. 103, p. 103210, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.erss.2023.103210.
- [16] S. Gähns and J. Knoefel, “Stakeholder demands and regulatory framework for community energy storage with a focus on Germany,” *Energy Policy*, vol. 144, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2020.111678.
- [17] Eurostat, “Complete energy balances [nrg_bal_c].” [Online]. Available: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_bal_c&lang=en.
- [18] Eurostat, “Greenhouse gas emissions by source sector [env_air_gge].” Accessed: Nov. 23, 2024. [Online]. Available:

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_air_gge__custom_13795640/default/table?lang=en.

- [19] B. McMahan and A. K. Gerlak, "Climate Risk Management Climate risk assessment and cascading impacts : Risks and opportunities for an electrical utility in the U. S . Southwest," *Climate Risk Management*, vol. 29, no. June, p. 100240, 2020, doi: 10.1016/j.crm.2020.100240.
- [20] J. D. Rivera-Niquepa, D. Rojas-Lozano, P. M. De Oliveira-De Jesus, and J. M. Yusta, "Methodology for selecting assessment periods of Logarithmic Mean Divisia Index decomposition techniques," *Energy Strategy Reviews*, vol. 50, p. 101241, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.esr.2023.101241.
- [21] M. M. Hasan and W. Chongbo, "Estimating energy-related CO2 emission growth in Bangladesh: The LMDI decomposition method approach," *Energy Strategy Reviews*, vol. 32, 2020, doi: 10.1016/j.esr.2020.100565.
- [22] D. Makutėnienė, D. Perkumienė, and V. Makutėnas, "Logarithmic Mean Divisia Index Decomposition Based on Kaya Identity of GHG Emissions from Agricultural Sector in Baltic States," *Energies*, vol. 15, no. 3, 2022, doi: 10.3390/en15031195.
- [23] M. M. Hasan and W. Chongbo, "Estimating energy-related CO2 emission growth in Bangladesh: The LMDI decomposition method approach," *Energy Strategy Reviews*, vol. 32, p. 100565, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.esr.2020.100565.
- [24] V. Moutinho, A. C. Moreira, and P. M. Silva, "The driving forces of change in energy-related CO2 emissions in Eastern, Western, Northern and Southern Europe: The LMDI approach to decomposition analysis," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 50, pp. 1485–1499, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.05.072.
- [25] O. Driha, F. Cascetta, S. Nardini, and V. Bianco, "Evolution of renewable energy generation in EU27. A decomposition analysis," *Renewable Energy*, vol. 207, pp. 348–358, May 2023, doi: 10.1016/j.renene.2023.02.059.
- [26] M. J. S. Zuberi *et al.*, "A detailed review on current status of energy efficiency improvement in the Swiss industry sector," *Energy Policy*, 2020, doi: 10.1016/j.enpol.2019.111162.
- [27] B. K. Sovacool, M. Bazilian, S. Griffiths, J. Kim, A. Foley, and D. Rooney, "Decarbonizing the food and beverages industry : A critical and systematic review of developments , sociotechnical systems and policy options," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 143, no. March, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110856>.
- [28] Central Statistical Bureau of Latvia, "ATN010. Exports and imports by commodity section and by economic activity (NACE Rev.2) of the importer (thsd euro) by Flow of goods, Economic activity (NACE Rev.2), Commodity group (CN) and Time period." [Online]. Available: https://data.stat.gov.lv/pxweb/en/OSP_PUB/START__TIR__AT__ATN/ATN010/table/tableViewLayout1/.
- [29] Central Statistics Bureau of Latvia, "Entrepreneurship indicators of enterprises (SBG010)." Accessed: Feb. 10, 2020. [Online]. Available: http://data1.csb.gov.lv/pxweb/en/uzn/uzn__uzndarb/SBG010.px/.
- [30] Eurostat, "EU energy mix and import dependency," no. March 2022, pp. 1–12, 2022.
- [31] Eurostat, "Energy imports dependency [nrg_ind_id]." [Nrg_Ind_Id]. [Online]. Available: http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_ind_id&lang=en.
- [32] Eurostat, "Simplified energy balances [nrg_bal_s]." Accessed: Jul. 20, 2020. [Online]. Available: <http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/submitViewTableAction.do>.



Kristiāna Dolge ieguvusi sociālo zinātņu bakalaura grādu ekonomikā (2017) Rīgas Ekonomikas augstskolā un dubulto maģistra grādu (2021) vides zinātnēs Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) un vides inženierzinātnēs Viļņas Ģedimina tehniskajā universitātē. 2021. gadā sāka doktora studijas vides inženierzinātnēs RTU.

Vairāk nekā četrus gadus strādājusi RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūtā, pētījumus veltot enerģētikas ilgtspējas novērtēšanas metožu, klimata un enerģētikas politikas, enerģijas sistēmu pārejas izpētei. Pētījumos apskatīti energoefektivitātes, atjaunojamo energoresursu integrācijas, enerģijas uzglabāšanas risinājumu un plašāki ilgtspējas izai-
cinājumi.

Patlaban ir ilgtspējas vadītāja Swedbank ieguldījumu Pārvaldes Sabiedrībā, atbildot par ilgtspējīgas prakses ieviešanu un uzraudzību pensiju fondu ieguldījumu procesos.