

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Reinis Āzis

Doktora studiju programmas
“Vides zinātne” doktorants

MALKS SVAIGA GAISA EIROPAS ZAĻAJAM KURSAM: ENERGOEFEKTIVITĀTE UN KLIMATA NEITRALITĀTES FAKTORI

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji
profesore *Dr. habil. sc. ing.*
Dagnija Blumberga

profesore *Dr. sc. ing.*
Andra Blumberga

RTU Izdevniecība
Rīga 2021

Āzis R. Malks svaiga gaisa Eiropas zaļajam kursam: energoefektivitāte un klimata neitralitātes faktori. Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga: RTU Izdevniecība, 2021. – 59 lpp.

Iespiests saskaņā ar Promocijas padomes “RTU P-19” 2021. gada 26. augusta lēmumu, protokols Nr. 145.

Doktora darbu finansē Latvijas Republikas Ekonomikas ministrija projekta “Energoefektivitātes rīcībpolitikas novērtējums un analīze” ietvaros, projekta Nr. VPP-EM-EE-2018/1-0004.



<https://doi.org/10.7250/9789934226816>
ISBN 978-9934-22-681-6 (pdf)

**PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI
RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ**

Promocijas darbs zinātnes doktora grāda (*Ph. D.*) iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2021. gada 28. oktobrī plkst. 14.00 Rīgas Tehniskās universitātes Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātē, Āzenes ielā 12 k-1, 115. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Ritvars Sudārs
Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Latvija

Lect. Dr. sc. ing. Edmunds Teirumnieks
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Latvija

Lect. Dr. sc. (tech) Timo Laukkanen
Ålto Universitāte, Somija

APSTIPRINĀJUMS

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

Reinis Āzis (paraksts)
Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, 4 nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 36 attēli, 10 tabulas, kopā 175 lappuses. Literatūras sarakstā ir 142 nosaukumi.

Saturs

Ievads	5
Darba aktualitāte	6
Darba mērķis un uzdevumi	7
Zinātniskā novitāte	8
Hipotēze	9
Praktiskā nozīme	9
Zinātniskā darba aprobācija	10
Darba struktūra	10
1. Literatūras pārskats	14
1.1. Plašāka teorētiskā situācija	14
1.2. Eiropas zaļā kursa mērķi un vietējā diskusija	15
1.3. Literatūras pārskata secinājums: pētniecības metožu saistība ar klimata neitralitātes mērķiem	19
2. Metodoloģija	21
2.1. Daudzkritēriju lēmumu analīze	21
2.2. Dekompozīcijas analīze	22
2.3. Uz teoriju balstīta analīze	25
2.4. Sistēmdinamika	27
3. Rezultāti	31
3.1. SEG emisiju indikatora novērtējums un salīdzinājums ar citām valstīm	31
3.2. Latvijas apstrādes rūpniecības energoefektivitātes rādītāji	33
3.3. Latvijas energoefektivitātes politika un faktori tās veiksmīgai īstenošanai	37
3.4. Bioekonomikas nozares loma ceļā uz klimata neitralitāti (energoefektivitāte un ekonomika)	46
Diskusijas un secinājumi	49
Literatūras saraksts	54

Ievads

Promocijas darba rakstīšanas laikā pasaulē norit fundamentālas strukturālas pārmaiņas Covid-19 radītās pandēmijas izraisīto seku ietekmē, un jānovērtē arī plašās iespējas, kas sekos izraisītajam satricinājumam.

Jau 2018. gadā Eiropas Komisija paziņoja par savu nodomu līdz 2050. gadam Eiropas Savienībai (ES) panākt klimata neitralitāti. Lai gan ES līmenī Eiropas Komisija ir noteikusi gan stratēģiskus mērķus, gan saderīgu operatīvo taktiku (ieviešanas politiku), tostarp Eiropas zaļais kurss un ES klimata pasākumu plāns 2030. gadam, šis uzdevums būs ļoti izaicinošs. Saskaņā ar Starptautiskās Enerģētikas aģentūras datiem vairāk nekā 50 % tehnoloģiju, kas būs vajadzīgas, lai sasniegtu klimata neitralitātes mērķi līdz 2050. gadam, būs tehnoloģijas, kas vēl nav izgudrotas. Turklāt nekad pasaules vēsturē ekonomikas izaugsmi nav izdevies atdalīt no energoresursu patēriņa pieauguma. Vēl jo vairāk, liela daļa ES dalībvalstu un to tradicionālās rūpniecības nozares ir relatīvi vāji sagatavotas. Paralēli valda arīdzan profesionāla vienprātība par energoefektīvu, optimālu un ilgtspējīgu projektu trūkumu Eiropā, neraugoties uz plaši pieejamo “zaļo” finansējumu. Tomēr ceļš pretim klimata neitralitātei piedāvā mūsu paaudzē neredzētu iespēju.

Klimata neitralitātes pārejas sarežģītība ļaus izmantot intelektuālos un finanšu resursus saskaņoti un tādā mērogā, kāds iepriekš nav pieredzēts. Eiropas zaļā kursa pamatā ir ne tikai energoefektivitāte, bet arī nozīmīga “zaļā” finansējuma mehānisma struktūra, kas papildināta ar vērienīgām ieguldījumu stratēģijām pētniecībā un attīstībā. Turklāt ES Atveseļošanas un noturības mehānisms, kas izveidots, lai pārvarētu pandēmijas izraisīto ekonomisko krīzi, ir pirmais no visiem ES makrolīmeņa politikas virzieniem, kur ir atzīmēti mērķi klimata jomā un kur ieguldījumi ārpus klimata neitralitātes un digitalizācijas virzieniem ir plānoti proporcionāli ierobežotā apjomā. Arī patērētāju līmenī klimata neitralitāte iegūst arvien nozīmīgāku lomu, un potenciāli pieaugošās fosilā kurināmā cenas liks ražošanas nozarei kļūt energoefektīvākai – vai nu lai virzītos pretim klimata neitralitātei, vai lai saglabātu izmaksu konkurētspēju.

Lai sasniegtu nospraustos mērķus virzībā pretim klimata neitralitātei, zinātniskajai izpētei vēl joprojām ir jāatbild uz vairākiem jautājumiem, lai klimata neitralitāti būtu iespējams apskatīt vienkopus:

strukturāli, izmērāmi, dinamiski un uz nākotni orientēti. Šāds strukturāls skatījums vienkopus ir fundamentāls klimata neitralitātes sasniegšanai un ir atzīstams par akadēmisku novitāti, un ir šī promocijas darba pamatā.

Promocijas darba ietvaros ir (I) veikta klimata neitralitātes faktoru padziļināta salīdzinošā novērtēšana, (II) veikta ražošanas nozares energopatēriņa strukturālo izmaiņu analīze, (III) veikta savstarpēji saistīto politikas un inženiertehnisko energoefektivitātes ieviešanas risinājumu analīze un (IV) veikts pārejas uz ilgtspējīgu ekonomiku inženiertehniskis un makroekonomisks novērtējums, lai izveidotu ceļvedi klimata neitralitātes mērķu sasniegšanai. Jautājuma sarežģītība prasa vairāku akadēmisko dimensiju un metodoloģiju pieeju. Promocijas darba ietvaros izpēte ir koncentrēta uz dažādiem enerģijas patērētāju un tirgus dalībnieku līmeņiem, izmantojot četras būtiskākās akadēmiskās metodes. Veiktā daudzpakāpju analīze savukārt ļauj radīt arī praktiskas nozīmes inženiertehniskos modeļus apvienojumā ar padziļinātu akadēmisku izpratni par šķēršļiem, kas kavē pāreju uz klimata neitralitāti.

Darba aktualitāte

Darba ietvaros aplūkotās jomas, kā arī dažādu līmeņu analīze nodrošina darba aktualitāti. Pirmkārt, Eiropas zaļais kurss un ES klimata pasākumu plāns 2030. gadam šobrīd ir priekšplānā gan akadēmiskajās, gan profesionālajās debatēs saistībā ar klimata pārmaiņām un energoefektivitāti. Otrkārt, darba ietvaros ir attīstītas dažādas jaunas koncepcijas energoefektivitātes un klimata neitralitātes debašu ietvaros, piemēram, (I) siltumnīcefekta gāzu (SEG) faktors, (II) energointensitātes izvērtējums pēc horizontāliem faktoriem, nevis tradicionālām nozarēm. Vēl vairāk, pētījuma rezultātā izstrādāti arī akadēmiskie modeļi un secinājumi, kas attiecināmi uz vairākiem vietējā un globālā enerģijas tirgus dalībniekiem, saistībā ar energoefektivitātes un klimata neitralitātes ieviešanu. Tāpat laikā, kad starptautiski noris diskusijas par finansējuma avotiem klimata neitralitātes sasniegšanai, darbā izveidots matemātiskis un inženiertehniskis modelis klimata pārmaiņu risinājumu finansēšanai, pamatojoties uz ieņēmumiem, ko nesīs klimata neitrālo tehnoloģiju virzīšana tirgū.

Darbs arī skaidri ataino energoefektivitātes nozīmi gan pārejā uz klimata neitralitāti, gan enerģētikas sistēmas pārveidē. Paralēli pētījuma ietvaros arī detalizētāk aplūkota bioekonomikas nozīme, un tas, kā veikt klimata neitralitātes veicināšanas pasākumus, ne tikai lai uzlabotu sistēmu energoefektivitāti, bet arī sniegtu papildu pozitīvu ieguldījumu citās tautsaimniecības jomās, tostarp veselības aprūpē un izglītībā.

Darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir (I) attīstīt indikatorus un izvērtēt dažādus faktorus, kas ļauj enerģētikas sistēmai un ekonomikai (tostarp ekonomikas apakšnozarēm, uzņēmumiem, kā arī individuālajiem enerģijas patērētājiem) censties sasniegt klimata neitralitāti, un (II) izvērtēt bioekonomikas jomas nozīmi un tās neparedzētu ārējo ietekmi uz enerģētikas sistēmu un ekonomiku, kas varētu būt saistīta ar pāreju uz klimata neitralitāti.

Lai sasniegtu virsmērķi, tika izvirzīti šādi uzdevumi:

- 1) novērtēt SEG emisiju indikatoru un salīdzināt ar citām ES dalībvalstīm;
- 2) analizēt Latvijas apstrādes rūpniecības vēsturiskos un pašreizējos energoefektivitātes rādītājus, kā arī noteikt tās lomu zaļā kursa mērķu sasniegšanā;
- 3) izvērtēt Latvijas energoefektivitātes politiku un noteikt iespējamus faktorus tās sekmīgai īstenošanai nākotnē;
- 4) radīt politikas veidošanas analīzes instrumentu energoefektivitātes jomā un validēt to, atsaucoties uz konkrētu energoefektivitātes politikas īstenošanas instrumentu;
- 5) novērtēt bioekonomikas nozares lomu attiecībā uz vispārējām enerģētikas un ekonomikas pārmaiņām, kā arī klimata neitralitāti;
- 6) novērtēt dažādu faktoru *ex-post* un *ex-ante* ietekmi, proti, enerģijas patērētāju uzvedību, tehnoloģisko jauninājumu, vispārējās energosistēmas pārveides un SEG emisiju samazināšanas iespēju lomu, attiecībā uz klimata neitralitāti un no tās izrietošajām ekonomiskajām pārmaiņām.

Zinātniskā novitāte

Pētniecības jauninājums ir klimata neitralitātes īstenošanas salīdzinošā analīze četros atšķirīgos, tomēr savstarpēji saistītos līmeņos: (I) globālajā un valsts; (II) ekonomikas apakšnozarū, liekot uzsvāru uz enerģētiku, rūpniecību un bioekonomiku; (III) uzņēmēju un energoefektivitātes politikas ieviešanu, kā arī (IV) individuālo enerģijas patēriņu līmenī. Pētniecības gaitā izstrādāti unikāli ilgtspējas indikatori, energoefektivitātes un bioekonomikas modeļi un pielāgotas energoefektivitātes metodes.

Pirmkārt, izmantojot *TOPSIS* metodi, ir izstrādāts SEG emisiju efektivitātes indikators, lai ievērojami uzlabotu dažādu ES dalībvalstu SEG emisiju ietekmes analītisko novērtējumu pretstatā tradicionālajam oglekļa emisiju vērtējumam. Otrkārt, izmantojot dekompozīcijas analīzes metodi, tika analītiski pierādīts, ka pašreizējie energoefektivitātes pasākumi ir nepietiekami, lai nošķirtu ražošanas nozares ekonomisko izaugsmi no energoresursu patēriņa pieauguma. Treškārt, tika izmantota uz teoriju balstīta analīze un sistēmdinamikas metode, lai veiktu padziļinātu ES un Latvijas energoefektivitātes politikas īstenošanas novērtējumu. Ir pierādījies, ka energoefektivitātes pienākuma shēmas (EPS) īstenošanas rezultātā ar informatīvajiem pasākumiem ir nodrošināti 95 % no valsts kopējiem energoresursu patēriņa ietaupījumiem, tādējādi ievērojami ierobežojot EPS lomu un norādot uz politikas pasākumu trūkumiem. Ceturtkārt, sistēmdinamikas modelēšana tika izmantota diviem uzdevumiem – energoefektivitātes īstenošanas instrumenta izveidei un tautsaimniecības modeļa izstrādei, lai noteiktu bioekonomikas lomu virzībā uz klimata neitralitāti. Lai gan EPS instrumentam kā tādām ir unikāla akadēmiska nozīme, lai dinamiski modelētu pāreju uz EPS veiksmīgu darbību (kas, galu galā, noved pie klimata neitralitātes), tautsaimniecības mēroga sistēmdinamiskajā modelī ir uzsvērtas gan daudzās dimensijas, kas nepieciešamas veiksmīgai pārejai uz klimata neitralitāti, gan arī papildu jomas, tostarp pētniecība un attīstība, izglītība un veselības aprūpe, kas var pastarpināti gūt labumu no pārejas uz klimata neitralitāti, ieviešot bioekonomikas jomas.

Darba visaptverošais unikālais jaunievedums ir vairāku akadēmisko metodoloģiju izmantošana vienkopus, lai noteiktu faktoros

veiksmīgai klimata neitralitātes ieviešanai, kā arī ieviešanas soļu dinamiskai precizēšanai laikā un telpā. Promocijas darba ietvaros ir izstrādāti unikāli un saderīgi klimata indikatori, novērtētas ražošanas apakšnozares un to energoresursu patēriņa faktori, kas skatīti kontekstā ar energoefektivitātes politikas ieviešanas izvērtējumu un vēlamajiem faktoriem, lai virzība uz klimata neitralitāti notiktu veiksmīgi. Paralēli, izmantojot sistēmdinamikas metodi, ir izveidoti modeļi: (I) lai precīzi noteiktu konkrēto dažādā līmeņa patērētāju energoefektivitātes soļus un potenciālos rezultātus, lai sasniegtu klimata mērķus; (II) lai novērtētu klimata neitralitātes mērķu, tostarp bioekonomikas ieviešanas, lomu tautsaimniecībā.

Hipotēze

Latvijas virzību uz klimata neitralitāti Eiropas zaļā kursa ietvaros var noteikt, izmantojot SEG emisijas faktoru, energoresursu intensitātes faktorus, energoefektivitātes direktīvas ieviešanas panākumu metodiku un nosakot bioekonomikas ieviešanas lomu tautsaimniecībā.

Praktiskā nozīme

Promocijas darbam ir iespējams nošķirt trīs būtiskus praktiskas nozīmes ieguvumus. Pirmkārt, izpētes gaitā ir izstrādāta metodoloģija, kas ļauj visaptveroši novērtēt SEG emisijas. Tas savukārt var ievērojami uzlabot SEG emisiju novērtējumu citos akadēmiskajos pētījumos un ļauj padziļināti novērtēt SEG emisiju ietekmi gan makrolīmenī, gan mikrolīmenī.

Otrkārt, izmantojot sistēmdinamikas modelēšanu, ir izstrādāts praktisks energoefektivitātes politikas novērtēšanas instruments, kas ļauj izvērtēt politikas iespējamo ietekmi uz struktūru līmeni un īstenoto pasākumu lomu dažādos patērētāju līmeņos. Ļaujot galvenajiem enerģijas tirgus dalībniekiem izveidot individuālos ceļvežus, šis instruments ir tiešs atgriezeniskās saites rīks politikas veidotājiem, sniedzot iespēju uzlabot energoefektivitātes risinājumu kvalitāti dažādos līmeņos. Turklāt praktisko nozīmi bagātina energoefektivitātes politikas novērtējums, tādējādi instrumentam sniedzot arī kontekstu, kurā to var izmantot.

Visbeidzot, ir izstrādāts arī sistēmdinamisks modelis tautsaimniecības līmenī, lai novērtētu bioekonomikas nozīmi un ietekmi, ko jaunu biotehonomikas produktu izstrāde var radīt, lai uzlabotu energoefektivitātes rādītājus ekonomikā un ekonomiku kā tādu. Diskusijas par energoefektivitāti un bioekonomiku bieži vien tiek skatītas nošķirti no plašāka līmeņa enerģētikas un ekonomikas jautājumiem. Šis pētījums sniedz jaunus praktiskus ieskatus un ieguvumus, ko šī segmenta attīstība tautsaimniecībā var sniegt plašākam tirgus dalībnieku lokam.

Zinātniskā darba aprobācija

1. Zlaugotne, B., Ievina, L., Azis, R., Baranenko, D., Blumberga, D. 2020. GHG Performance Evaluation in Green Deal Context. *Environmental and Climate Technologies* (24–1), pp. 431–441.
2. Dolge, K., Azis, R., Lund, P. D., Blumberga, D. 2021. Importance of Energy Efficiency in Manufacturing Industries for Climate and Competitiveness. *Environmental and Climate Technologies* (25–1), pp. 306–317.
3. Blumberga, A., Azis, R., Reinbergs, D., Pakere, I., Blumberga, D. 2021. The Bright and Dark Sides of Energy Efficiency Obligation Scheme: The Case of Latvia. *2021 Energies* 2021, 14, 4467. <https://doi.org/10.3390/en14154467>.
4. Azis, R., Blumberga, A., Bazbauers, G. 2017. The role of forest biotechonomy industry in the macroeconomic development model of the national economy of Latvia: a system dynamics approach. *Energy Procedia* 128 (2017), pp. 32–37.
5. Azis, R., Blumberga, A., Bazbauers, G. 2018. The role of forest biotechonomy industry in the macroeconomic development model of the national economy of Latvia: an in-depth insight and results. *Energy Procedia* 147 (2018), pp. 25–33.

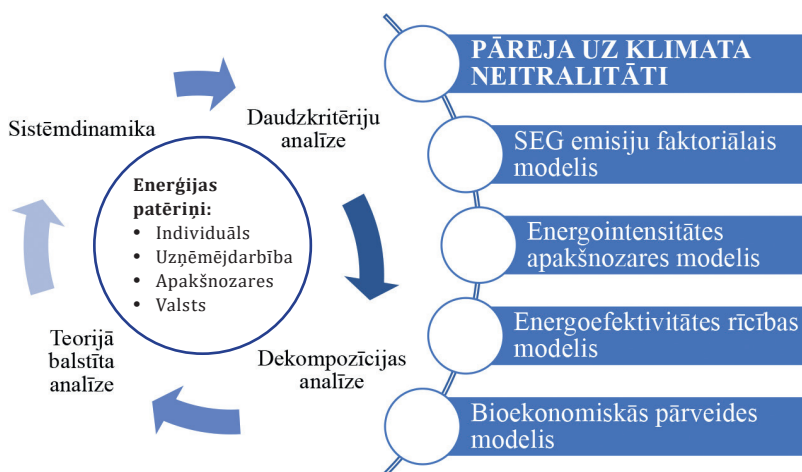
Darba struktūra

Disertācijas pamatā ir piecu zinātnisko publikāciju kopa, kur galvenā uzmanība pievērsta energoefektivitātes un klimata neitralitātes faktoru izvērtējumam un to lomai energosistēmās un

tautsaimniecībā kopumā ceļā uz klimata neitralitāti Eiropas zaļā kursa ietvaros. Promocijas darbs (I) apvieno vairākus enerģijas patērētāju slāņus un attiecīgos analīzes līmeņus; (II) ietver izstrādātas savstarpēji saistītas pētniecības metodes un (III) piedāvā daudzveidīgus energoefektivitātes un ekonomiskās pārveides modeļus, kam ir gan zinātniska, gan praktiska nozīme (1. attēls). 1. att. Promocijas darba struktūra.

Promocijas darbā sākotnēji veikts literatūras apskats, kurā izklāstīta diskusija par zaļā kursa mērķiem dažādos līmeņos, analizēta stratēģiska un operatīva taktika mērķu sasniegšanai un saistīto darbību uzlabošanai, kā arī skatīta līdz šim gūtā pieredze mērķu sasniegšanas akadēmiskajā analīzē.

Izmantojot četras pētniecības metodes – (I) daudzkritēriju analīzi; (II) dekompozīcijas analīzi; (III) uz teoriju balstītu analīzi un (IV) sistēmdinamiku –, disertācijā novērtēti dažādi energoefektivitātes sistēmas dalībnieki, līmeņi un to savstarpējā saistība, lai atklātu faktorus, kas ļauj pāriet uz patiesi klimatam neitrālu ekonomiku. Metodoloģijas lietojums un saistība ar promocijas darba



1. att. Promocijas darba struktūra.

1. tabula

Promocijas darba metožu un publikāciju pārskats

Patērētāju līmenis	Metode	Publikācijas numurs	Publikācijas nosaukums	Pārejas posms
Globāls un valsts	Daudz-kritēriju analīze	1	<i>GHG Performance Evaluation in Green Deal Context</i>	SEG emisiju faktoriālais modelis
Nozaru	Dekompozīcijas analīze	2	<i>Importance of Energy Efficiency in Manufacturing Industries for Climate and Competitiveness.</i>	Energoin-tensitātes apakšnoza-res modelis
Uzņēmējdar-bība un indi-viduālais līmenis	Teorijā balstīta analīze	3	<i>The Bright and Dark Sides of Energy Efficiency Obligation Scheme: The Case of Latvia.</i>	Ener-goefek-tivitātes rīcības modelis
	Sistēmdi-namika			
Valsts, apakšno-zare, uzņē-mējdarbība un individu-ālais līmenis	Sistēmdi-namika	4	<i>The role of forest biotechnomy indus-try in the macroeco-nomic development model of the national economy of Latvia: a system dynamics approach</i>	Bioeko-nomiskās pārveides modelis
		5	<i>The role of forest biotechnomy industry in the macroeconomic development model of the national eco-nomy of Latvia: an in-depth insight and results</i>	

analīzes līmeņiem (1. tabula) un publikācijās izmantotās metodes un iegūtie rezultāti veido promocijas darba pamata daļu.

Darba noslēgumā apspriesti pētījuma rezultāti un veikti secinājumi, lai izveidotu teorētisku ceļvedi energoefektivitātes un klimata neitralitātes īstenošanai un ar tiešajām darbības jomām nesaistītiem ieguvumiem, ko šis process varētu sniegt.

1. Literatūras pārskats

“Kad ir acīmredzams, ka mērķus nevar sasniegt, nepielāgojiet mērķus, pielāgojiet darbības.” Konfūcijs

1.1. Plašāka teorētiskā situācija

Virzību uz klimata neitralitāti nevajadzētu uzskatīt tikai par energoefektivitātes jautājumu, bet gan par daudz plašāku, tāpēc ir svarīgi noteikt konceptuālo atšķirību starp “klimata neitralitāti” un “oglekļa neitralitāti”. Lai gan pirmā ir pilnīga visu neto SEG emisiju samazināšana vienas sistēmas ietvaros [1], pēdējā ir piemērojama tikai oglekļa dioksīda neto emisijām un, iespējams, biežāk saistīta tikai ar enerģētikas nozari [2]. Tāpēc ne tikai mērķiem, bet arī darbības taktikai, lai sasniegtu klimata neitralitāti, jābūt konceptuāli atšķirīgai un jāaptver daudz plašāks sistēmā iesaistīto dalībnieku loks. Tas savukārt radītu sarežģītāku jebkādu risinājumu ieviešanu, kas būtu veiksmīgi, mēģinot panākt attiecīgās sistēmas klimata neitralitāti. Politikas veidotāji un akadēmiskās aprindas bieži vien nepievērš pietiekamu uzmanību šim faktam.

Tas ir arī radījis situāciju, ka ir diezgan daudz akadēmisko aprindu pārstāvju, kas apspriež un mēģina noteikt enerģijas sistēmdinamiku, apskatot primāri oglekļa neitralitātes konceptu. Kamēr enerģētikas un vides inženierijas pētniecību, kas vērsta uz SEG emisiju neitralitātes modelēšanu *per se*, var uzskatīt par ierobežotu. Oglekļa neitralitātes jomā pētniecību var iedalīt trīs plašās grupās, koncentrējoties uz:

- energonesēju sistēmām;
- ekonomikas apakšnozarēm;
- laika un telpas (ģeogrāfiski) sistēmām.

Attiecībā uz energonesējiem sistēmas līmeņa izpēte ir koncentrēta uz, piemēram, atjaunojamiem energoresursiem un atjaunojamo gāzi [3], ūdeņradi [4], metānu [5], elektriskajiem risinājumiem [6], kā arī dabasgāzi [7]. Attiecībā uz ekonomikas apakšnozarēm vērā ņemami piemēri saistībā ar šo promocijas darbu ir *Brand et al.* (2012) pētījums par transporta nozari Lielbritānijā [8] un citi, piemēram, koncentrēšanās uz ēkām [9]. Attiecībā uz ģeogrāfiski pamatotām sistēmām vairāki pētījumi ir vērsuši uzmanību uz pilsētām,

piemēram, energosistēmu nozīmi, pārejot uz lielpilsētu reģionu Helsinkos [10] un ģeogrāfiski tālākiem reģioniem.

Jāpiemin arī akadēmiskās aprindas, kas koncentrējas uz modelēšanu un enerģijas sistēmu apvienošanu, lai panāktu klimata neitralitāti. Vērā ņemami piemēri ir globāli apkopota enerģētikas sistēmu pārejas analīze, lai panāktu klimata neitralitāti, piemēram, (I) koncentrējoties uz ES politikas virzieniem no augšupējas pieejas [11] un makroapkopotas pieejas [12] un (II) koncentrējoties uz globālo enerģētikas sistēmu maiņu, izmantojot globālo enerģētikas un makroekonomikas diskusiju.

Turklāt, lai gan publiskajās politiskajās debatēs pēc Covid-19 pandēmijas ekonomikas atveseļošanās jau bija saistīta ar debatēm par oglekļa un klimata neitralitāti, ir novērojams konsekvences trūkums, sasaistot klimata neitralitāti un Covid-19 pārvarēšanu akadēmiskajā diskusijā zaļā kursa ietvaros. Vienu no nedaudziem nozīmīgajiem pētījumiem, kas ir šā temata pamatā, ir veicis Vācijas Ekonomisko pētījumu institūts, kur, ņemot vērā turpmāko prognozējamo elektroenerģijas pieprasījuma pieaugumu ES, ir veikta modelēšana un energosistēmu analīze, lai noteiktu iespējas, kā veidot jebkādu ekonomikas atveseļošanas stratēģiju, pamatojoties uz klimata neitralitātes centieniem [13]. Tomēr konkrētais pētījums ir koncentrēts tikai uz ekonomikas dekarbonizāciju, un, iespējams, nav novērtēta sistēmiskā politika un energoinženierijas tehnoloģijas analīzes veids. Šis pētījums mēģina aizpildīt šo robu.

1.2. Eiropas zaļā kursa mērķi un vietējā diskusija

Var apgalvot, ka Eiropas zaļais kurss kalpo kā platforma plašam normatīvo aktu klāstam, izaugsmes stratēģijām un īstenošanas taktikai dažādos līmeņos, par ko vienojušās ES dalībvalstis un ko īsteno ar Eiropas Komisijas starpniecību. Lai gan politikas spektrs ir iespaidīgs pat tik vērienīgai Eiropas līmeņa politikai, sākot ar pētniecības un attīstības ieguldījumu paketēm un beidzot ar visai tradicionāliem normatīvās politikas priekšlikumiem, lai ierobežotu SEG emisijas un izveidotu iedzīvotāju iesaistes platformas, visievērojamākais un visplašāk citētais ir Klimata politikas 2030. gada mērķa plāns [14]. Tajā iekļauts pārskatītais mērķis līdz 2030. gadam samazināt SEG emisijas par 55 % salīdzinājumā ar 1990. gadu. Turklāt līdzīga

uzmanība pievērsta arī papildu mērķiem, kam vajadzētu kalpot, lai nodrošinātu plānu un lai zaļais kurss (*Green Deal*) [15] kļūtu par “reālu darījumu” (*real deal*), tostarp vismaz 160 000 jaunu “zaļo” darbviētu radīšanai, lai atjaunojamās enerģijas īpatsvars ES enerģijas struktūrā sasniegtu 40 % un lai ES līdz 2030. gadam finansētu vienu no katriem trim klimata pārmaiņu biznesa projektiem globāli, kas nodrošinātu komerciālu inovāciju un pētniecības un attīstības projektus visā pasaulē [16]. Turklāt arī Eiropas līmeņa plāna mērķus attiecībā uz klimata neitralitāti var uzskatīt par prasīgiem instrumentiem papildus visai tradicionālajai energoefektivitātes un dekarbonizācijas politikai.

Politikas iniciatīva Latvijā, kas atbilst ES Klimata politikas 2030. gada mērķu plānam, ir Latvijas Nacionālais enerģētikas un klimata plāns 2021.–2030. gadam. Plānā ir noteikti vērienīgi mērķi, tostarp:

- samazināt SEG emisijas par 65 % līdz 2030. gadam (atskaites punkts 2017. gadā: -57 %);
- palielināt atjaunojamās enerģijas īpatsvaru transporta enerģijas patēriņā par 7 % līdz 2030. gadam (atskaites punkts 2017. gadā – 2,5 %, mērķis pārskatīts no sākotnējiem 14 % 2030. gadā);
- paaugstināt ieguldījumu daļu no IKP ar klimata neitralitāti saistītajās pētniecības un attīstības darbībās līdz 2 % līdz 2030. gadam (atskaites punkts 2017. gadā – 0,5 %, pārskatītais mērķis no sākotnējiem 3 % līdz 2020. gadam).

Plānā ir arī īpaša atsauce uz principa “piesārņotājs maksā” īstenošanu, kas ir visu turpmāko apsvērumu pamatā, un tajā ir noteikti galvenie principi un darbības taktika mērķu sasniegšanai. Plānā, iespējams, pilnībā nav ņemti vērā daudzie sarežģītie teorētiskie, ekonomiskie, inženierzinātnes, kultūras un citi aspekti, kas varētu ievērojami apgrūtināt principa ieviešanu mazākos un nenobriedušos tirgos un ekonomikās [17].

Pirmkārt, var apgalvot, ka plānā acīmredzami trūkst koordinācijas mehānismu, lai nodrošinātu pāreju uz klimata neitralitāti vietējā ekonomikā. Kā apspriests šajā sadaļā, klimata neitralitātes veicināšana būtu jāuzskata par iniciatīvu, kuras pamatā ir ievērojami vairāk jomu, nevis tikai enerģētika un energoefektivitāte. Līdz ar to arī finansēšanas mehānismiem uzņēmumu subsidēšanai vai pētniecības

un attīstības darbību finanšu instrumentiem būtu jābūt kā plāna neatņemamai sastāvdaļai. Vēl jo vairāk, instrumentiem būtu vienlaidīgi jārisina izaicinājumi vairākās ekonomikas jomās. Turklāt nu tā ir obligāta vajadzība ES pēc pandēmijas [18]. Statistikas dati liecina, ka no lieliem ārvalstu investoriem, kas darbojas Baltijas tirgū, tikai 25 % ir ieinteresēti tiešajos ilgtspējas ieguldījumos [19], tādējādi instrumentu apvienojums varētu mēģināt pārvarēt šādu modeli un papildus veicināt citu pozitīvu ārējo faktoru pieaugumu, piemēram, izveidojot “zaļās” darba vietas un iegūstot papildu finansēšanas mehānismus.

Tāpat par ārkārtīgi būtisku jebkurai ar pētniecību un attīstību saistītai darbībai būtu jāuzskata arī koordinācija un starpdisciplināra sadarbība. Var apgalvot, ka vairāk nekā 50 % tehnoloģiju, kas būs vajadzīgas, lai sasniegtu klimata neitralitātes mērķi līdz 2050. gadam, nāks no tā sauktajām “jaunajām tehnoloģijām” vai tehnoloģijām, kas vēl nav izgudrotas [20]. Tam savukārt būtu jānoved pie koordinācijas maiņas starp pētniecības un attīstības pusēm, un uzņēmumiem, pārejot no nošķirtas pieejas uz aptverošāku un strukturālāku pētniecības un attīstības vides maiņu. Turklāt pēdējo 10 gadu laikā pētniecības un attīstības izdevumu struktūra Latvijā ir bijusi stagnējoša – aptuveni 0,65 % no IKP [21], kas liecina gan par absolūto finanšu mehānismu trūkumu, gan arī par pētniecības internacionalizācijas trūkumu, kam būtu jābūt vēl vienam pamata aspektam virzienā uz klimata neitralitāti.

Otrkārt, lai gan plānā dažās jomās ir noteikti vērienīgi mērķi, tas neaptver visu enerģētikas spektru kopumā, un tajā nav skaidri pievērsta uzmanība īstenošanas fāzei un attiecīgajiem izmēramajiem rezultātiem. Attiecībā uz valsts līmeņa mērķiem īpaši izceļas Latvijas transporta nozare. Transporta sektors kopumā veido aptuveni 31 % no energoresursu patēriņa, tomēr apakšsektora mērķi ir samazināti un pat vēl vairāk – nav piedāvāts arī jauns konceptuāls ceļvedis pat samazināto mērķu sasniegšanai. Lai gan politiskā retorika ir norādījusi uz biodegvielas attīstību dažādos veidos – gan ietverot degvielas sastāva maiņu, gan piejaukumu ieviešanu –, būtiska problēma ir koordinācija starp ekonomikas, transporta un rūpniecības apakšnozarēm, kas, iespējams, arī kalpo par šķērslī turpmākajai attīstībai.

Kā vēl viens trūkums jāmin skaidra ceļveža un izmēramu rezultātu trūkums plānā kopumā. Var apgalvot, ka valdības piedāvātā

energoefektivitātes un klimata neitralitātes politika arī enerģētikas jomā lielā mērā ir koncentrējusies uz pieeju “piesārņotājs maksā”, proti, “patērētājs maksā”. Tomēr lielākā daļa retorikas ir bijusi par šādas pieejas īstenošanu lieliem privātā sektora patērētājiem saskaņā ar Energoefektivitātes likumu [22], kamēr valsts un atsevišķas ekonomikas nozares (piemēram, transports) ir atstātas neskaras. Līdzīga politikas piemērošana transporta nozarē un publiskajā jomā, piemēram, ISO 50001 tipa sertifikācija vai energoaudita plāns, varētu pavērt ceļu praktiskākiem un efektīvākiem politikas īstenošanas instrumentiem.

Treškārt, īstenošanas plāna monetārie aspekti ir vāji izstrādāti un nesniedz skaidru izpratni par to, kā pārvarēt pašreizējās problēmas. Neraugoties uz vērienīgo ES mērķi attiecībā uz katru no trim klimata neitralitātes projektiem, kas veicina klimata neitralitātes sasniegšanu visā pasaulē, finanšu struktūras trūkums un neesošais īstenošanas plāns ir būtiskākie šķēršļi. Attiecībā uz privāto un institucionālo finansējumu, kas ir saistīts ar globālo tirgu, Latvijas energoefektivitātes un klimata neitralitātes jomā trūkst uz projektiem balstītas pārstrukturēšanās. Pašlaik arī pasaules ekonomikā trūkst efektīvu, energoefektīvu un videi nekaitīgu projektu, tāpēc ir steidzami vajadzīga stratēģiska vietēja plāna izstrāde un taksonomija, lai spētu noteikt šādu projektu kritērijus un nodrošināt to finansēšanas efektivitāti. Turklāt vietējā retorikā uzsvars ir uz valsts budžetu vai ES struktūrfondiem, kurus ietekmē ne tikai sistēmisks finansējuma trūkums Latvijas ekonomikā, bet jau iepriekš minētais koordinācijas trūkums Latvijas investīciju stratēģijas ietvaros klimata neitralitātes jomā.

Latvijas pētniecības un attīstības jomā kopumā ir bijis sistēmisks korporatīvā finansējuma trūkums. Būtu jāveic strukturālas pārmaiņas, proti, jādod iespēja lielākiem uzņēmumiem ietekmēt pētniecības un attīstības vidi, un šādai pieejai vajadzētu būt daļai no valsts stratēģijas. Plaši izplatīts ir fakts, ka pētniecības iestāžu budžetu visā pasaulē galvenokārt veido 60–70 % no lielo uzņēmumu virzītās pētniecības [23]. Latvijā situācija ir apgriezta. Tam vajadzētu kalpot kā aicinājumam piešķirt pilnvaras lielajiem uzņēmumiem gan atvieglojumu, gan regulējuma formā. Lai gan atvieglojumu līmenis ir daļēji iekļauts nesen apstiprinātajā rūpniecības politikā, kas, iespējams, ir viens no pozitīvajiem aspektiem attiecīgajā tiesiskajā regulējumā,

Latvijas ekonomikas struktūra ir tāda, ka lielākā daļa lielo uzņēmumu ir valstij piederoši, tāpēc tiem ir ierobežotas iespējas veikt pētniecības un attīstības darbības. Proti, pētījuma izdevumus revīzijas iestādes salīdzinoši bieži raksturo kā “dominējošā tirgus stāvokļa izmantošanu” [24] vai iespējamu valsts līdzekļu izšķērdēšanu, tā kā inovācija ne vienmēr rezultējas tūlītējā ekonomiskā ieguvumā.

1.3. Literatūras pārskata secinājums: pētniecības metožu saistība ar klimata neitralitātes mērķiem

Kā jau apspriests iepriekš, literatūras apskats ir atklājis sarežģīto struktūru, kas būtu jāiekļauj patiešām efektīvā un uz mērķiem vērstā pārejā uz klimata neitralitāti. Pāreja, kas sastāv no vairākiem dinamiskiem un savstarpēji saistītiem pīlāriem, piemēram, energoefektivitātes, finansējuma un pētniecības un attīstības, skartu arī dažādus dalībnieku līmeņus, piemēram, ģeogrāfiskos, energosistēmu veidu un dažāda līmeņu patērētāju veidus. Šajā promocijas darbā izmantotas vairākas metodes, lai atklātu horizontālās savstarpējās attiecības, kas ir izšķirošas, lai notiktu reāli īstenojama pāreja uz klimata neitralitāti.

Pirmkārt, SEG emisiju indikatori, izmantojot daudzkritēriju analīzes metodi, liecina, ka tradicionāli uz oglekļa emisijām orientētā novērtēšanas metode attiecībā uz klimata neitralitāti kavējošām emisijām ir nepilnīga, lai rūpīgi analizētu valstu SEG rādītājus. Tāpat arī pēc Eiropas mēroga secinājumiem par klimata pārmaiņām ir konstatējams, ka nepieciešama novērtēšanas metode, kas tiktu interpretēta plašāk, tajā iekļaujot vairākus klimata pārmaiņu pārejas parametrus.

Otrkārt, darbā *Log-Mean Divisia* indeksa dekompozīcijas analīze izmantota, lai apskatītu, ka (I) rūpnieciskās ražošanas aktivitātes pieaugums patiešām ir galvenais virzītājspēks, kas attur no ražošanas enerģijas patēriņa samazinājuma vidējā termiņā, un (II) ka pieauguma fakts liecina, ka pašreizējie energoefektivitātes risinājumi nenes cerētos rezultātus un EPS uzskatāma par neefektīvu, vērtējot datus balstīto analīzi.

Treškārt, uz teoriju balstīta analīze un sistēmdinamikas piemērošana izmantota, lai padziļināti novērtētu ES un Latvijas energoefektivitātes politikas īstenošanu, proti, EPS Latvijā, un nonāktu pie

būtiskiem apsvērumiem attiecībā uz klimata neitralitātes pāreju un energoefektivitātes analītiskā instrumenta modelēšanu. Būtiski, ka EPS instrumenta izveide un teorijā balstīta analīze seko kā šķērsizvērtējums dekompozīcijas analīzei par strukturālu faktoru lomu Latvijas energoefektivitātes pasākumu īstenošanā.

Ceturtkārt, sistēmdinamikas modelēšana izmantota divās grupās – energoefektivitātes īstenošanas instrumenta izveidei, kas jau iztirzāta iepriekš, un tautsaimniecības modeļa izstrādei, lai novērtētu bioekonomikas potenciālo praktisko pienesumu tautsaimniecībai arīdzan ārpus klimata neitralitātes un energoefektivitātes faktoriem.

2. Metodoloģija

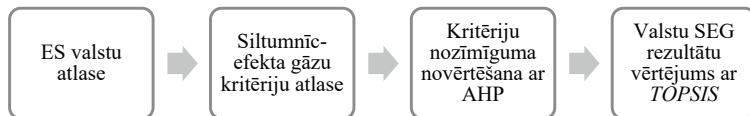
Atbilstoši disertācijas struktūrai un uzdevumiem metodoloģija un rezultātu sadaļas tiks atspoguļotas secīgi.

2.1. Daudzkritēriju lēmumu analīze

*MCD*A (*multi-criteria decision analysis* jeb daudzkritēriju lēmumu analīze) ir procesu kopums, kas ļauj atrisināt problēmas, kad ir definētas apakšproblēmas, alternatīvas un to kritēriji. Ir desmitiem metožu, kā aprēķināt vislabāko alternatīvu saskaņā ar kritēriju kopumu. Pateicoties iespējai viegli salīdzināt dažādas alternatīvas, šai promocijas darba daļai tika izvēlēta *TOPSIS* metode (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solutions (TOPSIS)* jeb līdzību un ideālā risinājuma kārtības ranžēšanas tehnika). Pamatprincips ir tāds, ka vislabākā alternatīva ir vistuvāk ideālajam risinājumam un vistālāk no negatīvā ideālā risinājuma [25]. *TOPSIS* metodē ir svarīgi definēt kritēriju vislabākās un vissliktākās vērtības. Vislabākā alternatīva ir tā, kurai ir vislielākā vērtība.

AHP (*Analytic hierarchy process* jeb analītisko hierarhijas procesu) izstrādāja Tomass L. Sātijs (*Thomas L. Saaty*), un tā ir viena no populārākajām metodēm, ko izmanto kritēriju svara noteikšanai. Izmantojot šo metodi, visus kritērijus uzskaita un pēc tam salīdzina, ņemot vērā to nozīmi (ieguldījumu mērķa sasniegšanā) [26]. Visus kritērijus salīdzina vienu ar otru, piešķirot vērtības no 1 līdz 9. Pēc aprēķinu veikšanas katram kritērijam ir nozīme, un to var izmantot, klasificējot alternatīvas.

*MCD*A vērtēšanas procesa ietvaros kopumā bija četri galvenie posmi, kas atspoguļoti 2.1. attēlā. Pirmkārt, salīdzināšanai tika izvēlētas astoņas ES valstis. Pēc tam tika izvēlēti kritēriji SEG



2.1. att. Metodoloģijas algoritms.

veikspējas novērtēšanai, kam sekoja to nozīmīguma noteikšana, izmantojot AHP. Visbeidzot, valstu SEG rādītāji tika vērtēti ar *TOPSIS* metodi.

Pamatojoties uz literatūrā sniegto informāciju, kā arī ņemot vērā pieejamos datus, SEG veikspējas novērtēšanai tika izvēlēti seši kritēriji. Pirmkārt, SEG emisijas uz vienu iedzīvotāju tika izvēlētas kā plaši izmantots rādītājs daudzos pētījumos un ES ziņojumos, turklāt tas ir arī valstu emisiju līmeņa pamatrādītājs. Otrkārt, ienākumi no vides nodokļiem tika izvēlēti kā rādītājs, kas atspoguļo vides aizsardzības kopējo lomu valsts nodokļu sistēmā, un to izsaka procentos no kopējiem nodokļu ieņēmumiem. Treškārt, mājsaimniecību enerģijas patēriņš uz vienu iedzīvotāju ir izteikts kā kg naftas ekvivalenta, un tas ļauj viegli salīdzināt iedzīvotāju enerģijas vajadzības. Ceturtkārt, IKP ieguldījumu daļa ir rādītājs, ko izmanto, lai pārraudzītu virzību uz ES ilgtspējīgas attīstības mērķiem, un tas atspoguļo ekonomikas ražīguma līmeni. Piektkārt, cieto fosilo kurināmo patēriņš ir galvenā SEG ražošanas kurināmā apjoma pamatraksturojums, un tas ir izteikts tūkstošos tonnu. Sestkārt, atjaunojamās enerģijas patēriņš ir sasniegums ceļā uz tīru enerģiju, un to izsaka kā patērētās atjaunojamās enerģijas daļu bruto enerģijas galapatēriņā.

2.2. Dekompozīcijas analīze

Dekompozīcijas analīze ir analītisks instruments, ko izmanto, lai mērītu izmaiņas enerģijas patēriņā un pārraudzītu virzību uz energoefektivitātes un klimata neitralitātes mērķu sasniegšanu. Promocijas darbā metode izmantota Latvijas apstrādes rūpniecības vēsturisko un pašreizējo energoefektivitātes rādītāju analīzei. Šo metodi apstiprina un parasti izmanto enerģētikas un vides pētījumu jomā, ko veic vairākas starptautiskas organizācijas, akadēmiskas iestādes, pētniecības centri un valstu fondi [27], piemēram, tādas starptautiski atzītas organizācijas kā Eiropas Komisija [28], Starptautiskā Enerģētikas aģentūra [29], Eiropas Komisijas Kopīgais pētniecības centrs (*JRC*), Apvienoto Nāciju Organizācijas Rūpniecības attīstības organizācija [30] un daudzas citas [31].

Indeksa sadalīšanās analīzes (ISA) pamatā ir pamatprincips, ka apkopojuma rādītāja izmaiņas nosaka rūpīgi atlasītu faktoru saraksts. Teorētiskais ISA pieejas pamatojums enerģētikas

pētījumos tika apkopots un aprakstīts pētījumā [32], kurā sniegts metodoloģiskais algoritms vispiemērotākās enerģijas sadalīšanās analīzes metodes izvēlei. Autors aplūko dažādus *Divisia* indeksa vai *Laspeyres* indeksa sadalīšanās metožu piemērošanas aspektus un īpašības. Šajā darbā ir secināts, ka salīdzinājumā ar citām ISA pieejām balasta *Divisia* indeksa (*LMDI I*) sadalīšanās metode izceļas un ir ieteicama, jo tai piemīt daudzas vēlamās īpašības, piemēram, pilnīga neizskaidrojamo faktoru atskaitīšanas iespēja, elastīga piemērojamība, visaptveroša rezultātu interpretācija un citas [33]. *LMDI I* metodes labvēlīgās īpašības ir vēl vairāk pierādītas daudzos enerģijas analīzes un klimata pārmaiņu novērtējuma pētījumos, tostarp padziļinātas energoefektivitātes progresa novērtējumā apstrādes rūpniecībā [34]–[37].

Turklāt pēdējo gadu laikā ISA metožu lietošana enerģētikas politikas veidošanas jomā ir kļuvusi dinamiskāka. *LMDI I* pieeja ir plaši parādīta gan akadēmiskajos pētījumos, gan globālajos enerģētikas novērtējuma ziņojumos [38]–[40]. Ņemot vērā *LMDI I* izmantošanas veiksmīgos piemērus un tās konkurences priekšrocības salīdzinājumā ar citām indeksa sadalīšanās metodēm, piemēram, aritmētisko vidējo *Divisia* indeksa metodi, Fišera ideālā indeksa metodi, Māršala–Edžvorta metodi [41], *LMDI I* metode tika izvēlēta kā vispiemērotākā metodi, lai sadalītu enerģijas patēriņa izmaiņas Latvijā 10 gadu laikā.

Kopējo enerģijas patēriņu apstrādes rūpniecībā nosaka kā enerģijas patēriņa summu katrā rūpniecības apakšnozarē. Ražošanas nozares apakšnozares tika izvēlēti saskaņā ar NACE 2. red. klasifikācijas nomenklatūru un apkopoti grupās pēc nozares statistikas nodaļas, kā norādīts starptautiskajā enerģijas bilances statistikā [42]. Enerģijas patēriņš rūpniecībā ir noteikts saskaņā ar vienādojumu (2.1.).

$$E = \sum_i E_i = \sum_i Q \frac{Q_i E_i}{Q_i} = \sum_i Q S_i I_i, \quad (2.1.)$$

kur

E – kopējais enerģijas patēriņš, TJ;

Q – kopējā saražotā produkcija, izteikta kā kopējā pievienotā vērtība, EUR;

S – ražošanas aktivitātes līmenis rūpniecības apakšnozarē, EUR;

I – enerģijas intensitātes līmenis rūpniecības apakšnozarē, TJ/EUR;

i – konkrētā izvēlēta rūpniecības apakšnozare.

Katra indikatora iedarbību nosaka, izmantojot *LMDI I* sadalīšanās analīzes metodi saskaņā ar vienādojumiem (2.2. un 2.3., 2.4. un 2.5.). Šajā pētījumā tika izvēlēta papildu pieeja multiplikatīvās pieejas vietā, jo pētījuma mērķis bija izmērīt absolūtas izmaiņas enerģijas patēriņā, nevis relatīvās pārmaiņas.

$$\Delta E = E^T - E^0 = \Delta E_{act} + \Delta E_{str} + \Delta E_{int} \quad (2.2.)$$

$$\Delta E_{act} = \sum_i \frac{E^T - E^0}{\ln E^T - \ln E^0} \ln \frac{Act_1^T}{Act_1^0} \quad (2.3.)$$

$$\Delta E_{str} = \sum_i \frac{E^T - E^0}{\ln E^T - \ln E^0} \ln \frac{Str_1^T}{Str_1^0} \quad (2.4.)$$

$$\Delta E_{int} = \sum_i \frac{E^T - E^0}{\ln E^T - \ln E^0} \ln \frac{Int_1^T}{Int_1^0}, \quad (2.5.)$$

kur

ΔE – izmaiņas kopējā enerģijas patēriņā, TJ;

E^T – enerģijas patēriņš nākamajā gadā, TJ;

E^0 – enerģijas patēriņš sākotnējā gadā, TJ;

Δ – rūpnieciskās aktivitātes indikators, TJ;

Δ – strukturālo izmaiņu indikators, TJ;

Δ – energointensitātes indikators, TJ.

Turklāt pieeja piedāvā vispusīgāku rezultātu interpretāciju, kas ir vēlamāk lēmumu pieņemšanas un politikas veidošanas procesā. Tāpat ar pretnostatīšanu tiek aprakstīta ietekme, ko rada izmaiņas rūpniecības apakšnozaru darbībā, strukturā un energointensitātē. Katru indikatoru savukārt izsaka vienādojumi (2.3., 2.4. un 2.5.), un tie ir aprakstīti 2.1. tabulā.

Šajā pētījumā izmantotie dati iegūti *Eurostat* un Latvijas Centrālās statistikas pārvaldes (CSP) datubāzēs [42], [43]. Lai ņemtu vērā iespējamās ražošanas nozares produkcijas izlaides datu svārstības cenu izmaiņu dēļ, visi dati par apakšnozares pievienoto vērtību koriģēti saskaņā ar datiem par ražotāju cenu izmaiņām rūpniecības nozarē [43]. Tāpēc pievienotās vērtības dati atspoguļo ar 2010. bāzes gadu saistītos apjomus. Turklāt izmaiņu indekss izveidots, lai salīdzinātu iegūtos koriģētos pievienotās vērtības datus ar rūpnieciskās ražošanas apjoma indeksiem [44]. Salīdzinājums parādīja, ka

1.1. tabula

Dekompozīcijas analīzes indikatoru kvalitatīvais apraksts

Koeficients	Pieraksts	Indikators	Apraksts
Aktivitātes indikators	<i>Act</i>	Kopējā rūpnieciskā pievienotā vērtība ($\sum_i \text{EUR}_i$)	Kopējās saražotās rūpniecības produkcijas izmaiņas un ekonomiskās izaugsmes ietekme
Strukturālais indikators	<i>Str</i>	Apakšnozaru pievienotās vērtības daļa kopējā rūpniecības pievienotajā vērtībā ($\text{EUR}_{i_j} / \sum_i \text{EUR}_i$)*	Mēra strukturālo pārmaiņu ietekmi uz apstrādes rūpniecību (pāreja no vienas apakšnozares nozares uz citu)
Energointensitātes indikators	<i>In</i>	Enerģijas patēriņš uz saražotās pievienotās vērtības vienību ($\text{TJ}_i / \text{EUR}_i$)*	Mēra energointensitāti un parāda, cik efektīvi tiek patērēta enerģija, lai ražotu galaproduktu

* koriģēts atbilstoši cenu izmaiņām.

koriģētie pievienotās vērtības dati pašlaik atspoguļo vispārējo tendenci rūpnieciskās ražošanas apjoma izmaiņās.

2.3. Uz teoriju balstīta analīze

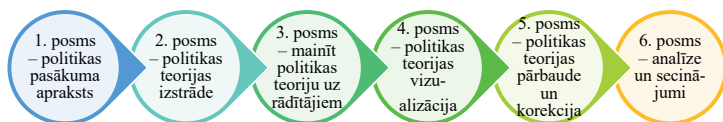
Pētījuma daļa, kas vērsta uz Latvijas energoefektivitātes politikas *ex-post* novērtējumu un, proti, EPS novērtēšanu, veikta, apvienojot teorijā balstītu politikas analīzes metodi, lai sasniegtu uzdevuma 3. mērķi, novērtējot, vai jaunā EPS var sasniegt energoefektivitātes mērķus bez iepriekšējas pieredzes ar brīvprātīgas vienošanās shēmām un citu valstu veiksmīgo EPS [45], [46] un ar labākā regulējuma programmas (LRP) pamatnostādņu kritērijiem [47]. Šai metodei ir vairākas priekšrocības, salīdzinot ar citām *ex-post* novērtēšanas metodēm. Pirmkārt, tā izvērtē visu politikas īstenošanas procesu, nekoncentrējoties tikai uz galīgo ietekmi. Otrkārt, tā ļauj izstrādāt rādītājus katram īstenošanas procesa posmam. Tas palīdz pēc iespējas plašāk novērtēt progresu un neveiksmes. Visbeidzot, tas palīdz

noteikt, vai politika ir veiksmīga vai ne, kāpēc tā ir veiksmīga vai neveiksmīga un kā to var uzlabot.

Uz teoriju balstīta politikas analīzes metode ir paredzēta, lai sistemātiski novērtētu visus politikas īstenošanas procesa posmus, veiksmes un neveiksmes faktorus un ietekmi, piemēram, mērķa sasniegšanu, enerģijas ietaupījuma ietekmi un rentabilitāti. Šīs novērtēšanas metodes pamatā ir politikas teorija. Tā ir pieeja, lai aprakstītu, kā tiek strukturēts politikas pasākums energoefektivitātes mērķu sasniegšanai. Šīs metodes dažādās darbības ir parādītas 2.2. attēlā.

Pirmkārt, ir uzskaitīti visi īstenošanas procesa posmi. Tie ir atspoguļoti kā cēloņsakarība starp dažādiem īstenošanas posmiem. Katram solim ir definēti rādītāji, lai noteiktu cēloņsakarību starp cēloņiem un ietekmi un to, vai izmaiņas ir notikušas politikas pasākuma īstenošanas dēļ. Var izmantot gan kvantitatīvos, gan kvalitatīvos rādītājus. Tad katrā politikas teorijas posmā ir noteikti politikas īstenošanas galvenie veiksmes un neveiksmes faktori. Visbeidzot, attiecībā uz citiem politikas instrumentiem ir jāsaprot, vai un kā tie pastiprina vai līdzsvaro politikas pasākuma īstenošanu. Ja politikas veidotāji jau pirms politikas pasākuma īstenošanas ir skaidri pauduši, kā paredzēts to īstenot, ir pieejama skaidra teorija. Ja šāds apraksts nav pieejams, politikas teorija ir netieša, un vērtētājiem tā ir jāsagatavo. Teorijā balstītais politikas novērtējums ir parādīts kā plūsmas diagramma.

Politikas teorijas validācija veikta, izmantojot jauktas metodes, kurās kombinētas kvantitatīvās un kvalitatīvās metodes. Tikai kvantitatīvie dati nesniedz pilnīgu ieskatu un vispusīgu izpratni par cēloņsakarību mehānismiem, tādēļ izmantota arī kvalitatīva metode, lai noteiktu būtiskus aspektus no EEOS pušu viedokļa un lai noteiktu skaitļos neizsakāmus faktorus, kas ļauj izskaidrot politikas



2.2. att. Uz teoriju balstītās politiskās analīzes metode promocijas darbā.

pasākuma veiksmi un neveiksmi. Šī pieeja nodrošina datu triangulāciju un var ierobežot neobjektivitāti, kas saistīta ar jebkuras atsevišķas metodes piemērošanu.

2.4. Sistēmdinamika

Visā pētījumā sistēmdinamiskās modelēšanas piemērošana bija divējāda, pirmkārt, veidojot politikas novērtēšanas instrumentu (4. uzdevums), otrkārt, novērtējot bioekonomikas lomu saistībā ar klimata neitralitāti un vispārējām ekonomikas pārmaiņām.

Sistēmdinamika kā novērtēšanas metode, kurā analizētas ne tikai attiecīgās sistēmas ievades un izlaides plūsmas, bet arī iekļauti atgriezeniskās saites nodrošināšanas mehānismi, tika izstrādāta 20. gadsimta piecdesmito gadu beigās un sešdesmito gadu sākumā Masačūsetsas Tehnoloģiju institūtā. Pamatā metode ir vērsta uz aģentiem vai vadītājiem kā informācijas pārveidotājiem, kuri interpretē jaunu informāciju vai atgriezenisko saiti par notiekošo procesu un pārveido to atbilstīgās turpmākās darbībās [48]. Attiecībā uz konkrētu promocijas darbu par vienu no metodes aizsācējiem būtu jāuzskata Dž. V. Foresters (*Jay W. Forrester*) ar pētījumu par modelēšanu valstu ekonomikās, pirmo reizi sniedzot padziļinātu pārskatu par makrolīmeņa sistēmdinamiskās modelēšanas pieeju [49].

Jebkura sistēma nav pilnībā balstīta uz statiskās darbības un informācijas atgriezeniskās saites mehānismiem, bet drīzāk ir sarežģīta, daudzdimensionāla, dinamiska un savstarpēji savienota sistēma [50], kurā aģentu lēmumi tiek pieņemti pastāvīgi un vairākos punktos un informācija, kas saņemta par jebkuru procesu, var ietekmēt jebkuru lēmumu, kas pieņemts visā sistēmā. Ir četri galvenie sistēmdinamikas komponenti: (I) krājumi un plūsmas; (II) atgriezeniskā saite; (III) laika kavējumi un (IV) attiecināšanas kļūdas un nepatiesa mācīšanās.

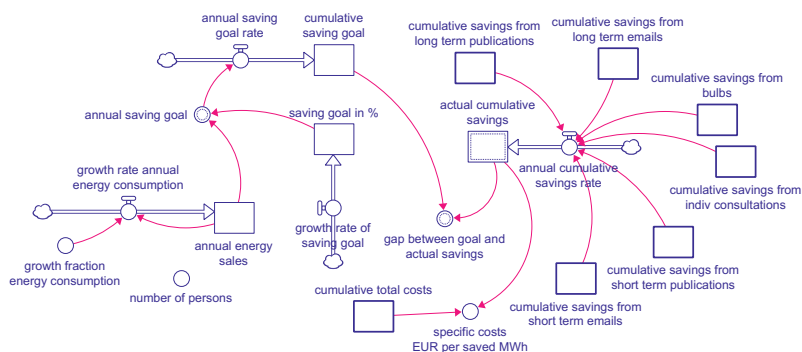
EPS sistēmdinamikas modelis

EPS modelis ietver vairākus apakšmoduļus, kas izstrādāti, pamatojoties uz energoefektivitātes katalogu. Šajā pētījumā izstrādāti apakšmodeļi populārākajiem pasākumiem, kas izmantoti EPS sākuma un pirmajā fāzē Latvijā: vienreizējām vai publikācijām

plašsaziņas līdzekļos, vienreizējiem informatīvajiem e-pastiem, e-pasta kampaņām, plašsaziņas līdzekļu kampaņām, kā arī individuālajām konsultācijām. Informācija par enerģijas taupīšanu, izmantojot kādu konkrētu energoefektīvu tehnoloģiju, uzskatāma par informatīvo pasākumu daļu. Jebkuru energoefektivitātes tehnoloģiju iegāde tieši no EPS pusēm, piemēram, spuldzes šajā modelī netiek ņemta vērā, jo izmaksas par spuldzēm 100 % apmērā sedz patērētāji un tās nav iekļautas EPS dalībnieku izmaksās. Tomēr modelim ir vispārīgs apakšmodelis jebkurai energoefektivitātes tehnoloģijai, un šis apakšmodulis ir viegli atjaunināms ar jebkuru energoefektivitātes katalogā iekļauto tehnoloģiju.

Modelis ir izstrādāts, lai palīdzētu gan EPS dalībniekiem, gan politikas veidotājiem noteikt, kuras darbības veikt, ja laika gaitā mainās dažādi parametri. Matemātiskā modeļa krājumu un plūsmu struktūra tiek papildināta ar brīvas piekļuves interneta bāzes datiem, un modeli kā simulācijas rīku var izmantot jebkura EPS puse vai politikas veidotāji. Instrumentu var izmantot arī kā interaktīvu mācību vidi.

Modeļa struktūra (sk. 2.3. attēlu) ir veidota kā mērķa meklēšana: modelis meklē visrentablāko risinājumu, lai novērstu plaisu starp tiesību aktos EPS dalībniekiem noteikto ietaupījumu mērķi un faktiskajiem ietaupījumiem, ko rada modelis. Optimizācijas mērķa funkcija tiek definēta kā kumulatīvo kopējo izmaksu samazināšana salīdzinājumā ar kumulatīvo enerģijas ietaupījumu (EUR/MWh). Atkarīgais



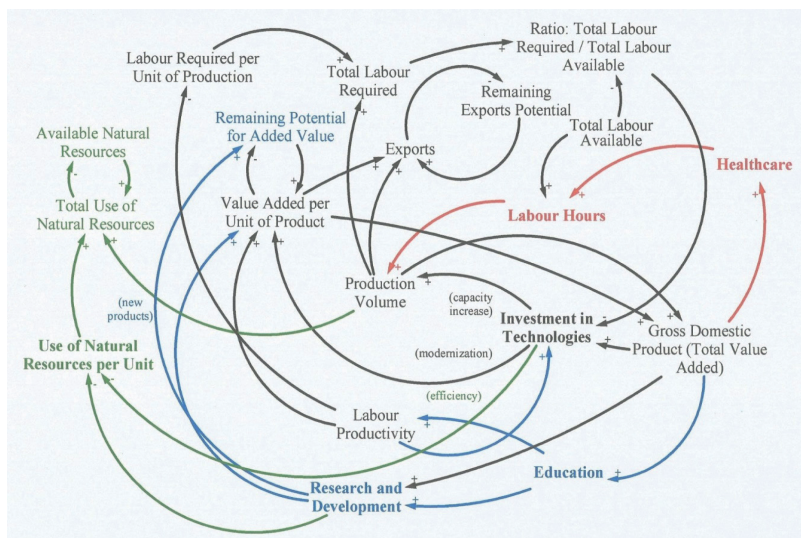
2.3. att. EPS apakšmodeļa krājumu un plūsmu struktūra (ekrānšāviņš).

parametrs ir dažādu informatīvo un izglītojošo pasākumu mērķauditorijas lielums.

Modeļa validācija veikta gan attiecībā uz struktūru, gan uzvedību [51]. Konstruktijas validācijas testi ietvēra tiešās konstrukcijas testus un uz struktūru orientētus rīcības testus. Uzvedības testi veikti pēc konstrukcijas testu pabeigšanas.

Bioekonomikas sistēmdinamikas modelis

Tāda modeļa izveide, kas dažādus biotehonomiskos meža nozares parametrus apvieno atsevišķos mainīgos lielumos (un makroekonomiskās attīstības kontekstā), bija iespējama, pateicoties iepriekšējiem pētījumiem, kas veikti Rīgas Tehniskajā universitātē par mikrolīmeņa biotehonomisko mežsaimniecības segmenta modelēšanu (sk. Blumberga *et al.* (2016)). Lai gan iepriekšējos pētījumos tika skaidri izklāstīti šīs pētniecības vides inženierijas aspekti, promocijas darbā mēģināts pievērst uzmanību arī būtiskiem jauniem



2.4. att. Makrolīmeņa attīstības un vides, veselības aprūpes un izglītības cēloņsakarību konceptuālā diagramma (ekrānšāviņš).

vides jomas aspektiem. Viens no šādiem aspektiem ir tradicionālo nozaru enerģētiskās intensitātes salīdzināšana un to salīdzināšana ar potenciālajām nākotnes nozarēm, tostarp ar bioekonomikas apakšnozari biotehonomiju.

Apakšnozaļas dinamiskā problēma būtu jāuzskata par vispārēju Latvijas ekonomikas izaugsmes stagnācijas problēmu – 1,5 % līdz 2,5 % no vidējā rādītāja, no kā rodas spiediens uz dažādiem makrolīmeņa segmentiem, kas izriet no definētās dinamiskās problēmas, tostarp energoefektivitātes ieviešanas trūkuma. Vēl viens promocijas darbā aplūkots dinamiskās problēmas aspekts ir tas, ka makroekonomikas mēroga modelēšanā nav iekļauti būtiski dinamiskās atgriezeniskās saites mehānismi. Īpaši tas saistīts ar izglītības (tostarp pētniecības) un veselības aprūpes nozarēm, ko bieži uzskata par centrālajām ekonomiskajā izaugsme, bet tām ir virkne ierobežojumu. Šādi atgriezeniskās saites mehānismi dinamiskos makrolīmeņa modeļos nav iekļauti plaši, lai gan ir skaidrs, ka šiem aspektiem ir centrāla ietekme uz ražošanas izlaides izmaiņām.

Konkrēta modeļa izveide (sk. 2.4. attēlu), kur atainota bioekonomikas un klimata neitralitātes ieviešanas makroekonomiskā loma, ļauj iegūt rezultātus, kur analizēta klimata pārmaiņu pozitīvā moneitārā ietekme uz tautsaimniecību kopumā, šādi arī atspoguļojot ieguvumus ārpus energoefektivitātes rādītājiem.

3. Rezultāti

3.1. SEG emisiju indikatora novērtējums un salīdzinājums ar citām valstīm

Vispirms promocijas darbā veikts ES dalībvalstu SEG emisiju rādītāju novērtējums. Statistikas dati par katras valsts rādītāju vērtībām iegūti *Eurostat* datubāzē laika posmam no 2005. gada līdz 2015. gadam. Dati tika normalizēti, izmantojot *MIN-MAX* normalizēšanu. *TOPSIS* izmantotie dati ir redzami 3.1. tabulā.

TOPSIS analīzes rezultāti liecina, ka vislabākais SEG sniegums ir Zviedrijai, kuras koeficients ir 0,644 (sk. 3.2. tabulu). Rezultāti nav pārsteidzoši, jo šai valstij ir bijis augsts sniegums arī citos pētījumos, kuros novērtēti ilgtspējības un vides rādītāji (piemēram, [52] un [53]), kā arī tai ir viens no zemākajiem SEG emisiju rādītājiem uz vienu iedzīvotāju, bet atjaunojamās enerģijas īpatsvars ir viens no augstākajiem. Citos rādītājos Zviedrijai ir vidējs rezultāts, izņemot cietā fosilā kurināmā patēriņu, kur tā ieņem otro sliktāko vietu. Tomēr jāatzīmē, ka cietā fosilā kurināmā patēriņš ir absolūta vērtība, tāpēc Zviedrijas sliktos rezultātus šajā rādītājā varētu izskaidrot ar tās iedzīvotāju skaitu un ražošanas nozares lielumu vai citiem faktoriem, kas saistīti ar resursu absolūto patēriņu.

Par spīti visaugstākajām SEG emisijām uz vienu iedzīvotāju, Īrija ieņem otro labāko vietu SEG snieguma novērtējumā (sk. 3.2. tabulu). Īrijas salīdzinoši labo sniegumu var izskaidrot ar tās ārkārtīgi augsto rezultātu ienākumu no vides nodokļiem parametrā, kas bija otrs svarīgākais kritērijs, kā arī ievērojami zemo cieto fosilo kurināmo patēriņu.

Tikmēr Latvija uzrādīja viszemāko SEG emisiju indikatora sniegumu. Galvenais iemesls tam varētu būt ievērojami augstais māj-saimniecību energopatēriņš uz vienu iedzīvotāju, kur Latvija ieņem vissliktāko pozīciju. Relatīvi nozīmīga loma ir arī cieto fosilo kurināmo patēriņam, savukārt pārējās rādītāju vērtības ir vidējas.

Tomēr ir svarīgi ņemt vērā, ka novērtējumu veic, izmantojot vidējās vērtības laika posmā no 2005. gada līdz 2015. gadam, tāpēc rādītāju vērtību attīstības tendences netiek ņemtas vērā. Piemēram, ieņēmumu no vides nodokļiem rādītāja vērtība Latvijai ir zemāka

3.1. tabula

TOPSIS metodoloģijas ievades dati

		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
		Dānija	Igaunija	Īrija	Latvija	Lietuva	Slovēnija	Somija	Zviedrija
C1	Siltum- nīcefekta gāzu (SEG) emisijas uz vienu iedzīvotāju	0,481	0,613	0,760	0,602	0,472	0,559	0,741	0,517
C2	Ieņēmumi no vides nodokļiem	0,282	0,500	0,797	0,494	0,273	0,527	0,614	0,565
C3	Mājsaim- niecību energo- resursu patēriņš uz vienu iedzīvotāju	0,552	0,432	0,575	0,632	0,615	0,558	0,411	0,573
C4	Investīcijas no IKP	0,420	0,470	0,442	0,419	0,355	0,412	0,466	0,319
C5	Cietā fosilā kurināmā patēriņš	0,475	0,469	0,382	0,615	0,484	0,696	0,435	0,612
C6	Atjau- nojamās enerģijas patēriņš	0,434	0,530	0,465	0,445	0,388	0,549	0,421	0,539

3.2. tabula

Aprēķinātie valstu SEG emisiju faktori

Dānija	Igaunija	Īrija	Latvija	Lietuva	Slovēnija	Somija	Zviedrija
A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
0,463	0,497	0,538	0,424	0,457	0,499	0,481	0,644

nekā Īrijai, savukārt 2015. gadā Latvijas daļa vides nodokļos bija 3,52 % no IKP, bet Īrijas daļa – 1,88 %.

Negaidīti Dānija uzrāda trešo sliktāko rādītāju SEG rezultātu rangā. Dānijai ir vidējas vērtības lielākajai daļai kritēriju, tomēr rezultāts varētu būt samazinājies vides nodokļu ienākumu zemās daļas dēļ.

Rezultāti liecina, ka Igaunijā un Slovēnijā SEG rādītāji ir gandrīz vienādi. Abām valstīm ir līdzīgas vērtības lielākajā daļā rādītāju. Savukārt Slovēnijā ir augstāks māsaimniecību enerģijas patēriņš un cieto fosilo kurināmo patēriņš, kamēr Igaunijā ir otrs zemākais māsaimniecību enerģijas patēriņš uz vienu iedzīvotāju.

Veiktajā SEG novērtējumā Lietuva uzrāda otro sliktāko rezultātu, sasniedzot tikai mazliet augstāku koeficientu nekā Latvija. Šis rezultāts ir nedaudz pārsteidzošs, ņemot vērā, ka Lietuvai bija vislabākais SEG emisiju rādītājs uz vienu iedzīvotāju, kas ir ļoti būtisks rādītājs. Tomēr vissliktākie Lietuvas rezultāti attiecībā uz ienākumu daļu no vides nodokļiem un atjaunojamās enerģijas patēriņu varētu iemesls zemajiem kopējiem SEG emisiju faktora rādītājiem.

3.2. Latvijas apstrādes rūpniecības energoefektivitātes rādītāji

Lai analizētu Latvijas apstrādes rūpniecības vēsturiskos un pašreizējos energoefektivitātes rādītājus, kā arī tās lomu Eiropas zaļā kursa mērķu sasniegšanā, veikta dekompozīcijas analīze. Tā ir veikta Latvijas apstrādes rūpniecībai, lai analizētu kopējās rūpniecības energoresursu patēriņa izmaiņas no 2010. gada līdz 2019. gadam. Rezultāti liecina, ka šajā laikposmā galvenais enerģijas patēriņa pieauguma virzītājspēks rūpniecībā bija visaugstākā ražošanas aktivitāte un ekonomikas izaugsme. Rezultāti iegūti, apstrādājot gan Centrālās statistikas pārvaldes (CSP) datus, gan Latvijas 2020. gada makroekonomikas pārskata [54] datus un secinājumus.

Kā liecina CSP dati par rūpnieciskās ražošanas apjoma indeksiem, apstrādes rūpniecība bija viena no straujāk augošajām nozarēm Latvijā pēdējo desmit gadu laikā [54]. Augošais pieprasījums lielākajos eksporta tirgos stimulēja strauju ražošanas apjomu pieaugumu [54]. Līdz ar to kopējais apstrādes rūpniecības enerģijas patēriņš palielinājās no 30 562 TJ (2010. gadā) līdz 34 133 TJ (2019. gadā), kas

nozīmē 12 % pieaugumu 10 gadu periodā. Trīs rūpniecības nozares, proti, koksnes izstrādājumu ražošana (20 432 TJ), nemetālisko minerālu ražošana (6797 TJ) un pārtikas, dzērienu un tabakas ražošana (3271 TJ), 2019. gadā patērēja pārliecinoši lielāko daļu jeb 89 % no kopējā ražošanas nozares enerģijas galapatēriņa [54].

Dekompozīcijas analīzes rezultāti ir apkopoti gan par ilgtermiņa (sk. 3.3. tabulu), gan īstermiņa (sk. 3.1. attēlu) vērtībām. Ilgtermiņa analīze ietver visu pētījuma periodu, kas ir no 2010. gada līdz 2019. gadam. Īstermiņa analīze ietver pēdējo piecu gadu periodu no 2015. gada līdz 2019. gadam.

Gan no ilgtermiņa, gan īstermiņa rezultātiem iespējams secināt, ka rūpniecības aktivitātes pieaugums bija galvenais faktors, kas veicināja kopējo apstrādes rūpniecības enerģijas patēriņu. Salīdzinot ar apakšnozarēm, enerģijas patēriņš desmit gadu laikā ir ievērojami palielinājies koksnes izstrādājumu ražošanas nozarē (+70 %), nemetālisko minerālu izstrādājumu ražošanas nozarē (+21 %) un nozarēs, kas nav minētas citur un ietver gumijas, plastmasas, mēbeļu un citu ražošanu (+217 %). Ievērojams enerģijas patēriņa pieaugums šajās nozarēs noteica arī kopējā rūpnieciskā enerģijas patēriņa pieaugumu. Rūpnieciskās aktivitātes koksnes ražošanas nozarē galvenokārt veicināja pieaugošais pieprasījums pēc koksnes granulām un šķeldas pasaules eksporta tirgos. Turklāt izaugsmes tempi būvniecības nozarē veicināja pieprasījumu pēc cementa un stikla ražošanas un citiem būvmateriāliem [54].

Ilgtermiņa strukturālo ietekmi veicināja divi galvenie faktori. Pirmkārt, vislielākā metāla ražotāja Latvijā [55] bankrots un iziešana no tirgus samazināja metālu ražošanas nozares īpatsvaru kopējā rūpnieciskajā enerģijas patēriņā līdz vēsturiski zemākajam līmenim. Otrkārt, koksnes apstrādes rūpniecības straujā izaugsme veicināja apstrādes rūpniecības vispārēju pārstrukturēšanu. Desmit gadu laikā apstrādes rūpniecība ir pārgājusi no vienas energoietilpīgas nozares (metālu ražošana) uz citu, ne mazāk energoietilpīgu nozari (kokapstrādi). Tomēr koksnes izstrādājumu ražošanas nozares konkurences priekšrocība ir AER izmantošanas relatīvi lielā daļa, termiskajos procesos izmantojot koksnes atliekas un šķeldu, kas ir CO₂ neitrāls kurināmais.

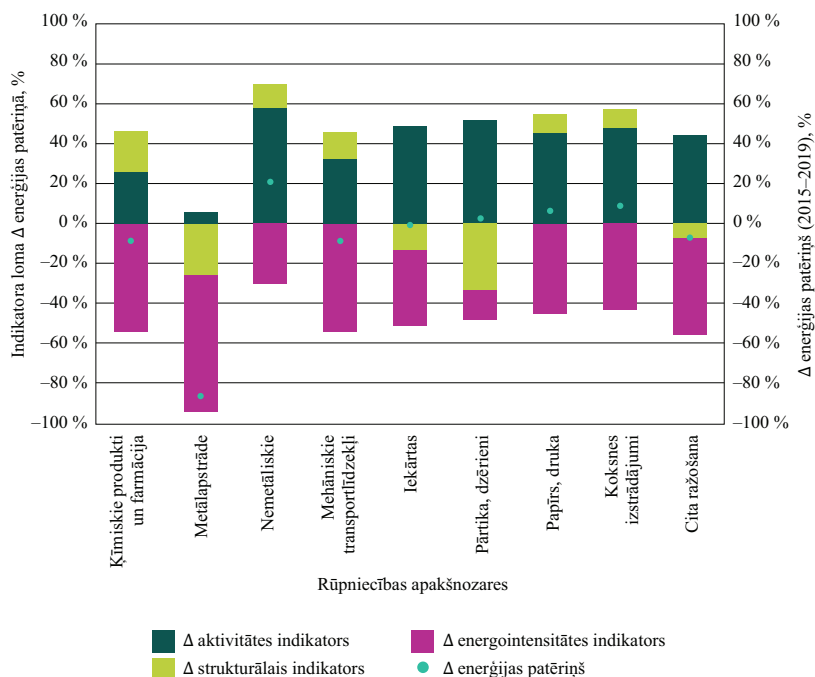
2016. gadā, kad stājās spēkā Energoefektivitātes likums, ražošanas uzņēmumiem tika izvirzīti vairāki nosacījumi [56]. Lielajiem

3.3. tabula

**Ilgtermiņa dekompozīcijas vērtības laikposmā
no 2010. gada līdz 2019. gadam**

Ražošanas apakšnozare	Δ aktivitātes indikators, TJ	Δ struktūras indikators, TJ	Δ enerģijas intensitātes indikators, TJ	Δ enerģijas patēriņš, TJ
Ķīmiskās vielas, far- maceitiskie produkti	596	-268	-602	-274
Metāli	567	-9521	3461	-5493
Nemetāliskie minerāli	3689	3124	-5652	1161
Mehāniskie transport- līdzekļi, transports	171	63	-261	-27
Mašīnas	434	238	-744	-72
Pārtika, dzē- rieni, tabaka	2067	-966	-1746	-645
Papīrs, drukāšana	145	16	-331	-170
Koksnes izstrādājumi	10243	485	-2281	8446
Tekstilma- teriāli, āda, apģērbs	239	-133	-310	-203
Citur nemi- nēta ražošana	471	201	176	848
Kopā	18622	-6762	-8290	3570

ražošanas uzņēmumiem un lielajiem elektroenerģijas patērētājiem bija pienākums ieviest sertificētu energopārvaldības sistēmu vai veikt regulārus energoauditus, kā arī īstenot vismaz trīs energoefektivitātes pasākumus ar visaugstāko norādīto energotaupības potenciālu vai ekonomisko atdevi [57]. Saskaņā ar prognozētajiem rezultātiem no valsts energoefektivitātes monitoringa sistēmas



3.1. att. Ražošanas nozaru enerģijas patēriņa dekompozīcija no 2015. gada līdz 2019. gadam.

un energoaudita programmas Latvijā [56], [57] ražošanas nozares uzņēmumi ir ziņojuši par sasniegtajiem un plānotajiem enerģijas ietaupījumiem no dažādiem energoefektivitātes pasākumiem, piemēram, apgaismojuma nomaiņas, enerģijas apsaimniekošanas uzlabojumiem, apkures un ventilācijas sistēmu, un ēku renovācijas un ieguldījumiem iekārtās. Tomēr [57] pētījumā secināts, ka sākotnēji Latvijas apstrādes rūpniecības sasniegtais enerģijas ietaupījums programmas ietvaros ir bijis pieticīgs. Tiek lēsts, ka neizmantotais energoefektivitātes potenciāls trijās lielākajās apstrādes rūpniecības apakšnozarēs – kokapstrāde, nemetālisko minerālu ražošana un pārtikas un dzērienu pārstrāde – sasniedz 862,6 GWh, ja to salīdzina ar apzinātām tehniskās energoefektivitātes iespējām līdzīgās citu valstu programmās.

Energointensitātes indikators bija galvenais virzītājspēks, kas pēdējo piecu gadu laikā veicināja enerģijas patēriņa samazināšanos visās apstrādes rūpniecības apakšnozarēs (izņemot ražošanas nozares, kas nav norādītas citur). 3.1. attēlā ilustrēta katras indikatora ietekme uz enerģijas patēriņa izmaiņām un vispārējām patēriņa izmaiņām katrā apakšnozarē laikposmā no 2015. gada līdz 2019. gadam. Rezultāti liecina, ka, neraugoties uz būtiskiem energoefektivitātes uzlabojumiem trijās lielākajās apstrādes rūpniecības apakšnozarēs, kopējais rūpnieciskās darbības pieaugums atsvēra energointensitātes efektu. Tāpēc ir iespējams secināt, ka pašreizējie energoefektivitātes uzlabojumi nav spējuši kompensēt rūpnieciskās darbības ietekmi, kas palielināja kopējo enerģijas patēriņu daudz straujāk, nekā īstenotie energoefektivitātes pasākumi tos varētu atspēkot.

3.3. Latvijas energoefektivitātes politika un faktori tās veiksmīgai īstenošanai

Latvija 2016. gadā apņēmas līdz 2020. gadam sasniegt ES vispārējo energoefektivitātes mērķi 9,85 TWh kumulatīvo enerģijas ietaupījumu. Tiesību akti paredz, ka sākotnējā (2014.–2017. gads) un pirmajā (2018.–2021. gads) EPS saistību periodā EPS atbildīgie īstenotāji ir elektroenerģijas mazumtirgotāji. Kritērijs atbildīgo pušu iekļaušanai ir gadā pārdotās elektroenerģijas apjoms, kam jābūt virs 10 GWh gadā. EPS pusēm ir jāpanāk šāds enerģijas ietaupījums:

2018. gadam: $P_{2018} = 1,5 \% \times 2018$;

2019. gadam: $P_{2019} = 1,5 \% \times (2018 + A_{2019})$;

2020. gadam: $P_{2020} = 1,5 \% \times (2018 + 2019 + A_{2020})$,

kur

P_n – EPS personas gada saistību apmērs, MWh;

A_n – EPS puses pārdotās elektroenerģijas apjoms attiecīgajā gadā, MWh, mīnus elektroenerģijas apjoms, kas pārdots lielajiem elektroenerģijas patērētājiem (patēriņš virs 500 MWh/gadā) un lielajiem uzņēmumiem, pamatojoties uz sertificēta revidenta apliecinājumu.

Kā aprakstīts iepriekš, EPS puse var izpildīt šo pienākumu vairākos veidos. Tiesību aktos nav paredzēti finansiāli atbalsta pasākumi enerģijas patērētājiem, un patērētājs, kas īsteno energoefektivitātes pasākumus, sedz visas izmaksas.

Informatīvie un izglītojošie pasākumi definēti kā energoefektivitātes un enerģijas taupīšanas kampaņas konkrētām mērķauditorijām. Ir paredzēti četri informatīvo pasākumu veidi. Pirmkārt, vienota informatīvā kampaņa var ietvert elektroniskos plašsaziņas līdzekļus, vienotas darbības un drukātus materiālus. Otrkārt, likumprojektā var iekļaut ilgtermiņa izglītības programmu vai papildu informāciju, nepersonalizētus padomus EPS personas tīmekļa vietnē, vienreizējus pasākumus un drukātus materiālus. Treškārt, atsevišķas darbības var ietvert individuālas konsultācijas energoefektivitātes centros, aģentūrās vai izstādēs. Visbeidzot, enerģijas skaitītāju ar informācijas atgriezeniskās saites funkciju uzstādīšana tiek uzskatīta par vēl vienu informatīvu pasākumu.

Tehnoloģiju energoefektivitātes uzlabojumi gan mājokļu, gan citās nozarēs ietver apgaismojumu, saules paneļu sistēmas, norobežojošo konstrukciju siltumnoturību, zemas efektivitātes katlu maiņu, biomasas katlu uzstādīšanu, apkures sistēmu renovāciju, cirkulācijas sūkņus, siltumsūkņus, rūpnieciskos motorus, alternatīvu degvielu transportlīdzekļus, transportlīdzekļu eļļas maiņu, riepu maiņu un siltuma reģenerācijas iekārtas ventilācijai. Dažādu tehnoloģiju dzīves ilgums ir atšķirīgs. Enerģijas uzkrājumu katalogā ir paredzēti arī pasākumi papildus ēkas siltumnoturības uzlabojumiem, kas pārsniedz pašreizējos ēku standartus.

Regulas Nr. 226 [58] anotācija izmantota, lai veidotu šī pētījuma politikas teoriju, un tās detalizācijas pakāpe bija pietiekama skaidru teorijas pamatelementu noteikšanai. Uz teoriju balstīta politikas analīzes shēma EPS īstenošanai ir parādīta 3.2. attēlā. Energoefektivitātes direktīvas īstenošanas process sākas ar ES noteiktajiem mērķiem klimata un enerģētikas jomā, kuru prasības ir iekļautas Energoefektivitātes direktīvā (EED). Energoefektivitātes likums pārņem EED prasības Latvijā. Pamatojoties uz Energoefektivitātes likumu, Ministru kabinets ir izdevis regulējumu, paredzot, ka Ekonomikas ministrija nosaka EPS atbildīgās puses, kritērijus katram saistību periodam, kā arī pienākumu apjomu. EPS iekļautie uzņēmumi sagatavo energoefektivitātes pasākumu plānu un iesniedz to Ekonomikas ministrijā. Ministrija veic plānu atbilstības pārbaudi atbilstoši nolikumam un, ja nepieciešams, informē dalībniekus par plāna neatbilstību prasībām. Pusēm atkārtoti jāiesniedz grozītais pasākumu plāns un/vai iemaksu apjoms Energoefektivitātes fondā.

Tam seko Ekonomikas ministrijas EPS ziņojums par sākuma periodā iegūto enerģijas ietaupījumu. Katru gadu EPS puses ziņo Ekonomikas ministrijai par sasniegtajiem ietaupījumiem.

Lai konstatētu cēloņsakarības un novērtētu, vai pārmaiņu cēlonis ir politikas, ir noteikti būtiskāko faktoru ietekmes attiecību rādītāji. Veiksmes vai neveiksmes faktori palielina vai samazina rādītāju vērtības. Dalībnieku skaitu un to kopējo pārdotās enerģijas daudzumu (GWh/gadā) izmanto kā rādītājus EPS iekļauto dalībnieku un kritēriju analīzei katrā saistību periodā. Dalībnieku plānotais enerģijas ietaupījuma apjoms (GWh/gadā) liecina par EPS puses pienākumu. Ekonomikas ministrijas apstiprinātais energoefektivitātes plānu skaits un plānotās iemaksas fondā raksturo procesa efektivitāti. Tajā arī norādīts, ko atbildīgās puses veic EPS pienākuma ietvaros un kādu daļu no sava pienākuma tās uztic fondam.

EPS puses zināšanas un izpratne par energoefektivitātes pasākumiem un iespējām tos īstenot ir būtisks veiksmes vai neveiksmes faktors, kas ietekmē abu rādītāju vērtības. Sākuma perioda ietaupījumu novērtēšanai tiek izmantoti divi rādītāji: gada samazinātais enerģijas patēriņš un uzkrātais ietaupījums sākuma periodā. Tāpat neveiksminieki/veiksminieki ir EPS iesaistītās puses. Lai analizētu EPS pušu katru gadu ziņotos ietaupījumus, var izmantot vairākus rādītājus: enerģijas ietaupījums (GWh/gadā), uzkrātais enerģijas ietaupījums (GWh), faktiskā ikgadējā enerģijas ietaupījuma attiecība pret gaidāmo, aplēstais ietaupījums no izpratnes veicināšanas darbībām, aplēstie ietaupījumi no citiem pasākumiem un plānoto ieguldījumu apjoms. Šo rādītāju vērtību ietekmē divi veiksmes/neveiksmes faktori: EPS pušu spēja pārliecināt enerģijas galalietotājus īstenot energoefektivitātes pasākumus un zināšanas par energoefektivitātes pasākumiem un to, kā tos īstenot. Gada ieguldījums fondā atspoguļo iemaksu dinamiku.

Pēc nejausības principa Ekonomikas ministrija kontrolē uzrādītos ietaupījumus, un šis process ir raksturojams ar pārbaudīto pārskatu skaitu, tāpēc veiksmes vai neveiksmes ir atkarīgas no resursiem un jaudas, kas pieejama, lai veiktu pārbaudi [59].

EPS shēmas vājā vieta ir EPS pušu iespējas un spējas pārliecināt enerģijas galalietotājus par energoefektivitātes pasākumu īstenošanu, kā arī zināšanas, izpratne par energoefektivitātes pasākumiem un to īstenošanas iespējām.

Iedarbīgums

EPS enerģijas ietaupījumu mērīšanai un ziņošanai izmanto trīs galvenos rādītājus, proti, kumulatīvos ietaupījumus, dzīves cikla ietaupījumus un ikgadējos papildu ietaupījumus. EPS Eiropā, Austrālijā un dažos gadījumos arī ASV [60] parasti izmanto ietaupījumus noteiktā laika posmā.

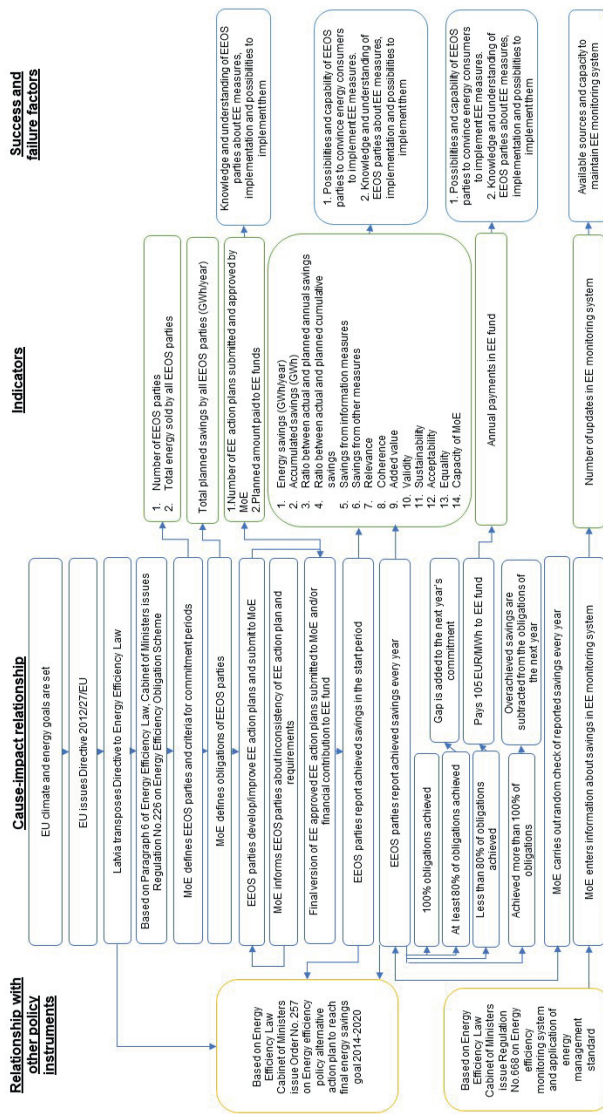
2019. gada decembrī Ekonomikas ministrijas mājaslapā publicētā informācija liecināja par 15 EPS pusēm Latvijā. Deviņas personas pārdod enerģiju mājāsaimniecībām un mazajiem un vidējiem uzņēmumiem. Lielākā daļa EPS plānoto ietaupījumu ir atkarīgi no nozīmīgākā elektroenerģijas tirgus dalībnieka, valstij piederošā uzņēmuma "Latvenergo".

Ziņojumā par panākumiem virzībā uz valsts energoefektivitātes mērķi 2020. gadam [61] ir norādīti EPS aprēķinātie jaunie un kopējie ietaupījumi sākuma periodā (2014.–2017. gads). Aptuvenie kumulatīvie ietaupījumi, kas iegūti sākuma posmā, ir par 68 % lielāki (329,2 GWh) nekā 2020. gadam plānotie kumulatīvie ietaupījumi (234 GWh).

EPS iesaistīto pušu aptaujas liecina, ka lielākā daļa ietaupījumu tiek gūta, veicot informatīvos un izglītojošos pasākumus, un tikai neliela daļa no ikgadējiem jaunajiem ietaupījumiem nāk no patērētāju īstenotajiem tehniskajiem energoefektivitātes pasākumiem. Tāpat atbildīgās personas nav ieguldījušas Energoefektivitātes fondā. Paredzamais faktisko pasākumu sadalījums pa pasākumu grupām ir šāds:

- informatīvas un izglītojošas aktivitātes (kas veido aptuveni 95 % no kopējiem ietaupījumiem): informācija plašsaziņas līdzekļos, semināri, individuālas patērētāju konsultācijas, dalība izstādēs, semināros, festivālos u. c., informācija mājaslapās, e-pastos;
- energoefektīvu tehnoloģiju pārdošana interneta veikalā (kas veido aptuveni 5 % no kopējiem ietaupījumiem), ar bezprocentu aizdevumu; energoefektīvu tehnoloģiju tieša pārdošana enerģijas patērētājiem ar dalītu maksājumu, noslēdzot vienošanos, ka EPS puse ziņos par enerģijas taupīšanu.

Specifiskas zināšanas un izpratne par energoefektivitātes pasākumiem, to īstenošanas kapacitāte un īstenošana ievērojami ietekmē



3.2. att. Uz teoriju balstīta politikas analīzes shēma EPS īstenošanai (ilustratīvs attēls angļu valodā, *MoE* – Ekonomikas ministrija, *EE* – energoefektivitāte, *EEOS* – energoefektivitātes pienākumu shēma) (ekrānšāviņš).

energoefektivitātes pasākumu plāna izstrādi un īstenošanu. Intervijās tika norādīts, ka EPS puses visbiežāk nodarbina personas, kurām ir zināšanas energoefektivitātes jomā, tādējādi samazinot risku, ka mērķis netiks sasniegts. Tāpēc ir iespējams secināt, ka EPS pušu lēmumi ir balstīti uz izmaksu efektivitāti.

Efektivitāte

Ietaupītās enerģijas izmaksas ir tipiska metrika, ko izmanto, lai novērtētu energoefektivitātes izmaksas dažādās EPS [62]. Lai gan tiesību aktos ir noteikts, ka EPS puses savās tīmekļa vietnēs publicē ziņojumus par pasākumu izmaksām, vairums EPS pušu nav izdarījušas. Energokompānijas “Latvenergo” publicētā informācija liecina, ka 2018. gadā:

- īstenotās informatīvo un izglītojošo pasākumu izmaksas energoefektivitātes uzlabošanai ir 327 624 EUR, no kuriem 262 100 EUR attiecas uz mājtsaimniecībām un 65 524 EUR – uz citiem lietotājiem. Šīs izmaksas ir iekļautas komunālo pakalpojumu izmaksās;
- mājtsaimniecības ir iegādājušās energoefektivitātes iekārtas kopsummā par 411 803 EUR, kamēr pārējie lietotāji iztērējuši tikai 4043 EUR;
- paziņotās vidējās uzkrājumu izmaksas ir 4,78 EUR/MWh [63].

Veicot izmaksu lietderības analīzi katrai pasākumu grupai, EPS puses ir konstatējušas, ka visrentablākie informatīvie pasākumi ir sociālajos tīklos, e-pastos, plašsaziņas līdzekļos un citos informatīvajos pasākumos (priekšrocība atkarīga no ietekmes novērtēšanas metodes). Savukārt visrentablākā ir individuālā komunikācija. Dati par Ekonomikas ministrijas shēmas administrēšanas faktiskajām izmaksām nav iegūti.

Saskaņotība

Saistībā ar EPS ir novērojamas vairākas nopietnas politiskas problēmas, kas ir politikas pasākuma pamatā. Informatīvo pasākumu dominējošo stāvokli attiecībā uz tehnoloģiskajiem pasākumiem nosaka tiesību aktos ietvertās definīcijas. Šis politikas pasākums ir saskaņots ar citiem tiesību aktiem. Tādējādi enerģijas

ietaupījumi no EPS tiek summēti ar ietaupījumiem no citiem politikas pasākumiem, veicinot valsts energoefektivitātes mērķa sasniegšanu. Ja EPS pusei ir jāiemaksā Energoefektivitātes fondā, tad atbildība par EPS pienākuma izpildi tiek nodota no EPS puses Ekonomikas ministrijai un valstij piederošai finanšu iestādei "Altum", kura nodrošina finansiālu atbalstu energoefektivitātes projektiem.

Puses, kas sniedz dokumentētus pierādījumus par katru īstenoto darbību, izvairās no EPS ietaupījumu dubultas uzskaites. Energoefektivitātes uzraudzības sistēma nodrošina uzkrājumu dubultu uzskaiti ar citiem politikas instrumentiem ārpus EPS.

Sistēmdinamikas modelēšana energoefektivitātes politikai, validācijai un rezultātiem

Modeļa ievades mainīgie un to vērtības

Enerģijas taupīšanas katalogā ir definēta daļa no galalietotāju patēriņa ietaupījuma veidiem: viena publikācija un e-pasts 1 %, publikācijas un e-pasta kampaņas 2,5 %, individuālās konsultācijas 3 %. Maksimālais vienību skaits gadā tika iegūts interviju laikā ar EPS personām, un tas ir 24 atsevišķas publikācijas, 1 publikāciju kampaņa (5 publikācijas vienā kampaņā), 24 vienreizēji e-pasta ziņojumi, 1 e-pasta kampaņa (10 e-pasta vēstules vienā kampaņā), 240 individuālas konsultācijas.

Katra informatīvā pasākuma izmaksas tika saņemtas arī no EPS personām: 800 EUR par vienu e-pastu, 400 EUR par e-pasta kampaņas ietvaros, 30 EUR par individuālu apspriešanu, 20 EUR par vienu publikāciju (atkarībā no mērķauditorijas mērķa lieluma) līdz 40 EUR par vienu publikācijas kampaņu (atkarībā no mērķauditorijas lieluma).

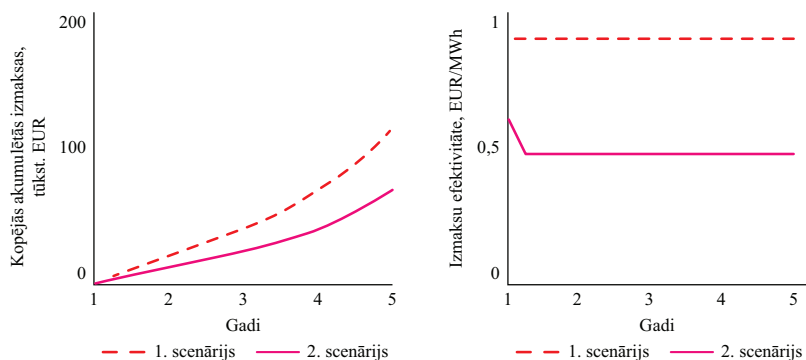
Saskaņā ar Energoefektivitātes uzkrājumu katalogu informatīvo un izglītojošo pasākumu dzīves cikls ir 1 gads. E-pasta atvēršanas ātrums ir 0,2. Simulācijas piemērā modeļa sākotnējās vērtības ir ikgadējais enerģijas pārdošanas apjoms 1,74 GWh, enerģijas pārdošanas pieaugums – 1 % gadā, sākotnējais ietaupījuma mērķis – 1,5 % gadā, ietaupījuma mērķa pieauguma rādītājs – 0 % gadā (1.–2. gads) un 1,5 % gadā (3.–5. gads). Simulācijas laiks ir 5 gadi, kas ir vienāds ar vienu valdības noteikto saistību periodu EPS pusēm. Optimizācijai

izmantots diferenciālais evolūcijas algoritms ar 10 paaudzēm un populācijas lielumu 20.

Ir izstrādāti divi scenāriji. 1. scenārijs balstās uz manuāli iestatītiem ievades mainīgajiem: auditorijas daļa no kopējā klientu skaita ir 0,5 gan e-pastam, gan publikācijām. 2. scenārijs ir optimizācijas scenārijs, lai samazinātu kumulatīvās izmaksas katrai ietaupītajai enerģijas vienībai (EUR/MWh), samazinot starpību starp ietaupījuma mērķi un faktiskajiem ietaupījumiem.

Turpmāk promocijas darbā (sk. 3.3. attēlu) parādīti abu scenāriju simulācijas rezultāti. 1. scenārijā kopējās izmaksas 5. gadā sasniedz 114 000 EUR, bet 2. scenārijā – tikai 70 000 EUR. 1. scenārija izmaksu efektivitāte ir 0,9 EUR/MWh, bet 2. scenārijā – 0,47 EUR/MWh. 1. scenārijā viens e-pasts aizņem 42 % daļu (izmaksu efektivitāte 0,48 EUR/MWh), tam seko e-pasta kampaņas ar 26 % daļu (izmaksu efektivitāte 0,96 EUR/MWh), 18 % daļa ir publikāciju kampaņām (izmaksu efektivitāte 1,3 EUR/MWh) un 14 % atsevišķām publikācijām (izmaksu efektivitāte 1,6 EUR/MWh) un bez individuālām konsultācijām (1200 EUR/MWh).

2. scenārijā vienreizējo e-pasta ziņojumu īpatsvars veido 65 % no kopējiem informatīvajiem pasākumiem un optimālais mērķauditorijas lielums šim pasākumam ir 100 % no kopējā klientu



3.3. att. Simulācijas scenāriju faktiskās kopējās izmaksas un izmaksu efektivitāte.

skaita, un publikāciju kampaņa aizņem 35 % no kopskaita ar 95 % mērķauditoriju.

Energoefektivitātes pasākumu veidi

Pirmkārt, Latvijas EPS tiesību akti nosaka, ka informēšanas un izglītošanas izmaksas var iekļaut elektroenerģijas tarifā, savukārt energoefektivitātes pasākumi ir jāiekļauj individuālā patērētāja rēķinā. Tas noved pie situācijas, ka mazumtirgotājiem ir skaidrs stimuls īstenot tikai informatīvas programmas, kas, ņemot vērā to augsto rentabilitāti, tikai nedaudz palielinās vidējās enerģijas cenas. Tomēr pārliecināt savus klientus par energoefektivitātes pasākumu īstenošanu nozīmē, ka individuālajam patērētājam būs jāsedz kopējās ieguldījumu izmaksas, kas ir pretrunā enerģijas mazumtirgotāja ekonomiskajām interesēm. Šī stimulu struktūra izskaidro, kāpēc 95 % no visiem pasākumiem ir bijuši informatīvi. Otrkārt, ziņošana par uzkrājumiem ir atkarīga no aprēķinātajiem ietaupījumiem. Tādējādi EPS rezultātā tiek nosūtīti un drukāti daudzi e-pasta ziņojumi, un nav nekādu pierādījumu par to, vai ir notikusi reāla ietekme uz sasniegtajiem enerģijas ietaupījumiem.

Enerģijas ietaupījums no dažādiem energoefektivitātes pasākumiem

Vēl viens svarīgs jautājums ir galalietotāja patēriņa daļas novērtēšana, kas ir viskritiskākais izmaksu efektivitātes aprēķināšanas parametrs. Šajā pētījumā netika atrasts informācijas avots, kas sniegtu pierādījumus par to, kā enerģijas uzkrājumu katalogā definēti un pamatoti iespējamie ietaupījumi. Tas ierobežo analīzi, piemēram, par to, kāpēc viena e-pasta sūtīšana mudinātu enerģijas lietotāju samazināt enerģijas patēriņu par 1 %, savukārt individuāla konsultācija izraisa trīs reizes lielāku enerģijas ietaupījumu (3 %). Individuāla (mērķtiecīga) apspriešanās varētu būt efektīvāka par vienu e-pastu, ko lielākā daļa no saņēmējiem, visticamāk, ignorēs.

Ja politikas veidotāji būtu izveidojuši EPS, pamatojoties uz pieņemtu vai pielāgotu veiksmīgu citas valsts EPS projektu, viņi būtu zinājuši, ka informatīvā darbība vien nesniedz faktiskus enerģijas ietaupījumus, piemēram, [64], [65]. Turklāt netiek sniegti stimuli

Latvijas EPS, lai veicinātu energoefektīvu tehnoloģiju izmantošanu, kas nestu faktiskos enerģijas ietaupījumus. Visrentablākās ir uzvedības un informācijas programmas jeb tā sauktās “mudinājuma” programmas, taču tās dod salīdzinoši nelielus ietaupījumus. Finansiālie stimuli tehnoloģiskajiem energoefektivitātes pasākumiem ir visrentablākie, un tiem ir lielāks enerģijas ietaupījuma potenciāls [66], [67].

EPS atbildīgās personas atzina, ka ietaupījuma mērķa sasniegšana daļēji ir bijusi saistīta ar ziņošanas pasākumiem, kas tika veikti sākuma posmā, un ietaupījumu saistību sasniegšana turpmākajos EPS posmos kļūs grūtāka.

3.4. Bioekonomikas nozares loma ceļā uz klimata neitralitāti (energoefektivitāte un ekonomika)

Kā minēts iepriekš, viena no centrālajām dinamiskajām problēmām saistībā ar bioekonomikas lomas modelēšanu enerģētikā un tautsaimniecībā ir fakts, ka makrolīmeņa sistēmās līdz šim nav iekļauts finansiālais un sociālekonomiskais uzlabojums, ko varētu iegūt, tautsaimniecībā ieviešot bioekonomikas segmentu. Promocijas darba ietvaros tas ir nosaukts par biotehonomikas uzlabojuma faktoru (*biotechonomy improvement factor – BIF*) un modelēts diviem scenārijiem. Pirmajā gadījumā faktora vērtībā pieņemts tikai finansiālais papildu ieguvums, ko tautsaimniecībā ienestu bioekonomikas jomas attīstība – faktors *BIF (e)*. Otrajā gadījumā papildus finansiālajam ieguvumam modelēta arī papildu ietekme uz veselības un izglītības jomu, kas iegūta no papildu finanšu un zināšanu pārneses, ieviešot tautsaimniecībā jaunu jomu – *BIF (i)*. Modelis validēts, izmantojot vēsturiskos datus saistībā ar bāzes scenārijiem.

Biotehonomikas uzlabojuma faktora vērtības norāda, ka līdz 2047. gadam vislielākā vērtība ir *BIF (i)* scenārijam – 1,477. Savukārt *BIF (e)* scenārija vērtība sasniedz 1,459, bet tradicionālā scenārija uzlabojuma koeficienta vērtība – 1,447. Tas liecina, ka scenārijs *BIF (i)* ietvers vislielāko izglītības un veselības aprūpes uzlabošanas faktoru.

Turpmāk raksturota veselības aprūpes un izglītības gada budžeta papildu ieņēmumu vērtību modelēšana. 2047. gadā tradicionālās scenārija vērtības sasniedza 1,067 miljardus un 249,54 miljonus EUR, *BIF (e)* scenārija vērtības bija 1,076 miljardi veselības aprūpei un

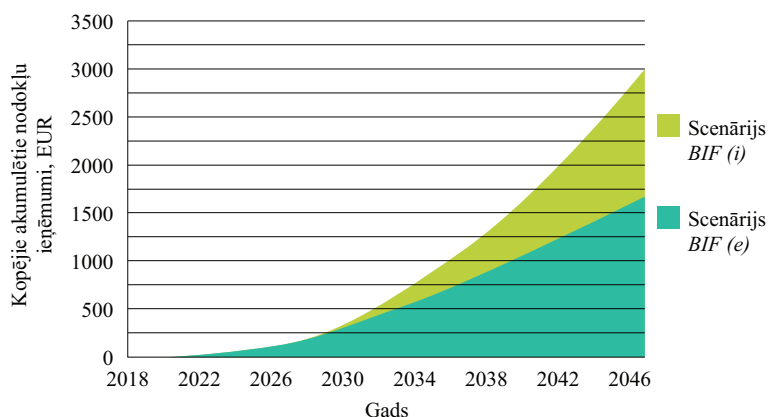
251,54 miljoni izglītībai. *BIF (i)* scenārija vērtības sasniedza visaugstāko vērtību – 1,089 miljardus EUR veselības aprūpes nozarei un 254,64 miljonus EUR izglītības nozarei gadā.

Atšķirība starp tradicionālo scenāriju vērtībām un *BIF (i)* scenārija vērtībām veselības aprūpē un izglītībā sasniedza 21,83 miljonus EUR un 5,10 miljonus EUR gadā, bet atšķirība starp tradicionālo un *BIF (e)* scenāriju attiecīgi sasniedza 13,27 miljonus EUR un 2 miljonus EUR gadā.

Ņemot vērā ikgadējos PVN maksājumus, *BIF (i)* scenārijs 2047. gadā sasniedza aptuveni 153 miljonus EUR gadā, bet *BIF (e)* scenārijs sasniedza 59,6 miljonus EUR. PVN arī būtu jāuzskata par visietekmīgāko maksājumu, raugoties uz makroekonomikas struktūru. Meža biotehonomikas ikgadējie skaidras naudas maksājumi sasniedza relatīvo vērtību 11,78 % no kopējiem uzņēmumu ienākuma nodokļa ieņēmumiem 2047. gadā *BIF (i)* scenārija gadījumā un 4,81 % *BIF (e)* scenārija gadījumā.

Attiecībā uz kopumā akumulētajiem nodokļu maksājumiem 2047. gadā no meža biotehonomikas nozares (sk. 3.4. attēlu), scenārijs *BIF (i)* radīja aptuveni 3,006 miljardus EUR, savukārt scenārijs *BIF (e)* – aptuveni 1,672 miljardus EUR.

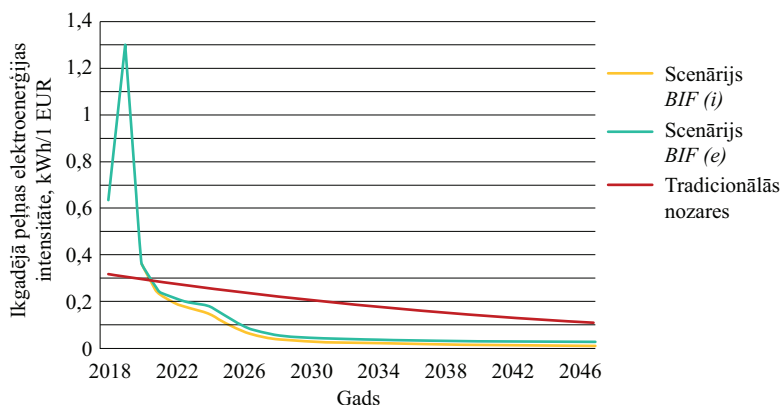
Turklāt attiecībā uz Latvijas meža biotehonomikas nozares gada peļņu pēc nodokļu nomaksas 2047. gadā *BIF (i)* scenārija gadījumā



3.4. att. No meža biotehonomikas nozares uzkrāto nodokļu ieņēmumi Latvijā.

gada peļņa bija gandrīz 0,5 miljardi EUR (495 miljoni EUR), bet *BIF (e)* scenārija gadījumā – aptuveni 191 miljons EUR gadā.

Nemot vērā elektroenerģijas intensitāti uz 1 EUR peļņu, 2047. gadā tradicionālā Latvijas ražošanas segmenta vērtība sasniedza aptuveno vērtību 0,11 kWh / 1 EUR, savukārt *BIF (i)* scenārijā tā sasniedza aptuveni 0,02 kWh/EUR, bet *BIF (e)* scenārija gadījumā – 0,04 kWh / 1 EUR.



3.5. att. Elektroenerģijas intensitāte uz vienu saražoto EUR (pārdošana) meža biotehonomikas nozarē un tradicionālajā apstrādes rūpniecībā Latvijā.

Diskusijas un secinājumi

Energosistēmu un ekonomikas virzība uz klimata neitralitāti ir sarežģīta un sastāv no vairākiem līmeņiem un dimensijām. No promocijas darba ir iespējams secināt, ka ir jābūt fundamentāliem aspektiem, lai varētu ieviest nozīmīgus energoefektivitātes un klimata neitralitātes uzlabojumus plašākās sistēmās. Tie ietver:

- praktiskus, labi pārdomātus energoefektivitātes pasākumus;
- sociāli ekonomisko (tautsaimniecības apakšsektoru) un finanšiālo pārstrukturizāciju;
- pētniecības un attīstības jomu sistemātisku iekļaušanu klimata neitralitātes mērķu sasniegšanā.

Strukturāli vienkopus un dinamiski apskatot šo jautājumu, iespējams secināt, ka ir nepieciešama vienota cirkulāra metode, kas savienotu centrālo iesaistīto pušu analīzi, spētu plašāk un padziļinātāk novērtēt to atsevišķo un kopējo ietekmi uz klimata neitralitāti un analizētu to darbības sekas un potenciālos ieguvumus sistēmas līmenī.

Šis promocijas darbs ir pirmais solis, lai liktu pamatus šādai vienotai un dinamiskai metodei. Šī dinamiskā daudzlīmeņu un daudzdimensiju analīze arī uzskatāma par promocijas darba centrālo zinātnisko novitāti.

Promocijas darbā veikts SEG emisiju indikatora novērtējums, izmantojot vairāku kritēriju lēmumu analīzi, lai panāktu plašāku, tomēr precīzāku uz valstu datiem balstītu SEG emisiju rādītāju novērtēšanas metodi. Lai gan ir notikušas akadēmiskas diskusijas par SEG emisijām un CO₂ emisijām, citi būtiski SEG emisiju efektivitātes faktori vēsturiski nav tikuši plaši iestrādāti zinātniskajā izvērtējumā, piemēram, ieņēmumi no vides nodokļiem un investīciju daļa no IKP. Disertācijas ietvaros ir veiksmīgi definēts un novērtēts SEG emisiju indikators, kā arī veikts dažādu valstu salīdzinājums.

Savstarpējai salīdzināšanai un novērtēšanai tika izvēlētas astoņas ES valstis. Lai gan analīze atklāja, ka Zviedrija ir vispiemērotākā ekonomikas pārveidošanai ceļā uz klimata neitralitāti no SEG emisiju faktora aspektā, promocijas darba ietvaros atspoguļots, ka valstīm, kas uzrāda izteikti labus rādītājus atsevišķās indikatora apakškategorijās, ne vienmēr kopējā SEG emisiju indikatora rezultātu summa sniedz visaugstākos rezultātus. Latvija, piemēram, par spīti

vairākām vidēja līmeņa kategorijām, ir uzrādījusi viszemākos rezultātus salīdzinājumā ar Ziemeļeiropas valstīm, Īriju, Slovēniju, kā arī tās Baltijas kaimiņiem. Lai gan turpmākajā izpētē galvenā uzmanība būtu jāpievērš izstrādātās metodoloģijas uzlabošanai (piemēram, rādītāju kopuma paplašināšanai, korelācijas analīzei un kvantitatīvo datu piemērošanai attiecībā uz kritēriju svariem), tā arī norāda uz nepieciešamību pievērst lielāku uzmanību energoefektivitātes ieviešanas instrumentiem un raudzīties uz šo problēmu plašāk, piemēram, ietverot investīcijas pētniecībā un attīstībā vai māsasaimniecību salīdzinoši augsto energoresursu patēriņa līmeni.

Piemērojot *Log-Mean Divisia* indeksa sadalīšanās analīzes metodi, izvērtēta Latvijas apstrādes rūpniecības energoefektivitāte un tās nozīme ceļā uz klimata neitralitāti. Kopumā Latvijas apstrādes rūpniecībā enerģijas patēriņš pieaudzis par 12 % laikposmā no 2010. gada līdz 2019. gadam. Turklāt rezultāti liecina, ka rūpniecības produkcijas izlaides pieaugums bija galvenais dzinulis energoresursu patēriņa pieaugumam, kamēr energointensitātes faktora samazinājums pēdējos 5 gados nespēja to kompensēt, lai novērstu energoresursu patēriņa pieaugumu. No vienas puses, ņemot vērā, ka Latvijas ekonomikas izaugsme konkrētajā laika posmā bija aptuveni 43 %, pieaugums nav uzskatāms par kritisku. Taču būtībā Latvijas ekonomikai nav izdevies nodalīt ekonomikas izaugsmi no enerģijas patēriņa pieauguma. Ar acīmredzamu energoefektivitātes politiku, kas darbā apspriesta sīkāk, kopējais ražošanas nozares produkcijas pieaugums pārsniedza enerģijas intensitātes ietekmi. Tādējādi energoefektivitātes pasākumi Latvijā nekompensēja enerģijas patēriņa pieaugumu. Tas savukārt norāda, ka ir jāpaātrina energoefektivitātes pasākumu ieviešana vietējā ekonomikā, lai enerģētikas sistēma un ekonomika būtu ceļā uz klimata mērķu sasniegšanu.

Vēl viens būtisks aspekts ir tas, ka trīs Latvijas rūpniecības apakšnozares – kokapstrāde, pārtikas pārstrāde, nemetālisko minerālu ražošana – veido 89 % no kopējā rūpnieciskā patēriņa. Tādējādi, veicot efektīvus, optimālus un ilgtspējīgus rūpnieciskās energoefektivitātes pasākumus, būtu jāņem vērā šo nozaru neviendabīgums, piemēram, paplašinot emisiju tirdzniecības sistēmu lokāli un iekļaujot tajā vairākas nozares, plašāk ietverot energoefektivitātes noteikumus apstrādes rūpniecības pētniecības un attīstības programmās.

Uz teoriju balstīta politikas analīze, proti, saskaņā ar energoefektivitātes pieņemšanas shēmu (EPS), izmantota Latvijas energoefektivitātes politikas padziļinātajam novērtējumam. Lai gan novērtējumā konstatēts, ka formālie EPS mērķi ir sasniegti, var apgalvot, ka shēmas negatīvā ārējā ietekme un perspektīvas norāda uz kļūdainu Latvijas energoefektivitātes politikas izstrādi un īstenošanas pasākumiem. Tas var ievērojami ierobežot spēju sasniegt klimata neitralitāti līdz 2050. gadam.

Būtiska problēma ir saistīta ar īstenotajiem energoefektivitātes pasākumu veidiem. Lai gan ietaupījumi ir sasniegti, sākotnējie politikas veidotāju pieņēmumi liecināja, ka 50 % ietaupījumu tiks panākti ar informatīvajiem pasākumiem un 50 % – ar energoefektivitātes uzlabošanas pasākumiem. Promocijas darba ietvaros novērtēts, ka saskaņā ar EPS 95 % no ietaupījumiem tika gūti no informatīvajiem pasākumiem, tādējādi radot divus nopietnus šķēršļus. Pirmkārt, enerģijas ietaupījums ir atkarīgs no teorētiskiem ietaupījumiem, bez pierādījumiem par faktiskajiem enerģijas ietaupījumiem *per se*, kas savukārt ir atkarīgs no enerģijas uzkrājumu kataloga metodoloģijas, kura izstrādāta vietējā mērogā un ir grūti validējama. Otrkārt, ņemot vērā uzskaitītos ietaupījumus, ir konstatēts, ka ievērojami trūkst ieguldījumu energoefektivitātes tehnoloģijās, kaut arī ir pierādīts, ka tas ir ilgtspējīgāks enerģijas ietaupījuma avots.

To var izskaidrot ar kopējām atbildīgo pušu energoefektivitātes pasākumu izmaksām. Trīs praksē pieejamie varianti liecina, ka vidējās informācijas pasākuma izmaksas EPS pusē sasniedz 4 EUR/MWh, bet oficiālās iemaksas Energoefektivitātes fondā ir 70 EUR/MWh un sods par EPS neievērošanu – 125 EUR/MWh. Vēl viens aspekts ir tas, ka ekonomikā, kurā vēsturiski trūkst līdzekļu energoefektivitātes pasākumiem, šāda rīcība arī neuzlabo vispārējo līdzekļu pieejamību, lai, izmantojot publiskos līdzekļus, stimulētu ieguldījumus energoefektivitātes tehnoloģijās.

Promocijas darba ietvaros izstrādāts simulācijas rīks internetā, izmantojot sistēmdinamikas metodoloģiju. Šis instruments gan politikas veidotājiem, gan EPS pusēm sniedz ieskatu par dažādu iespējamo energoefektivitātes politikas īstenošanas pasākumu darbības jomām un potenciālajiem rezultātiem. Tas savukārt ir arī apstiprinājis argumentu par acīmredzami kļūdainu un drīzāk formālu politikas veidošanas pieeju, un arī kalpo kā atsevišķa praktiska novitāte

promocijas darba ietvaros, sniedzot atbalstu EPS pusēm, ieviešot energoefektivitātes politiku un pastarpināti veicot tiešus soļus uz klimata neitralitātes ieviešanu.

Lai novērtētu ieguvumus un pozitīvus ārējos efektus klimata neitralitātes aspektā un jaunu bioekonomikas nozaru ieviešanu energosistēmās un tirgos, izmantojot sistēmdinamikas modelēšanu, novērtēta bioekonomikas nozaru loma. Promocijas darba ietvaros ir noteikta meža biotehonomikas segmenta ieviešanas loma saistībā ar iespējamo pieaugumu valsts budžeta izglītības un veselības aprūpes budžeta programmās. Tas savukārt kalpo argumentam, ka enerģētikas un ražošanas nozares pārveide ar bioekonomikas apakšnozaru starpniecību var radīt tautsaimniecībā pieejamo līdzekļu pieaugumu, tā palielinot arī energoefektivitāti Latvijas apstrādes rūpniecībā. Proti, modelētais pieaugums izglītības un veselības aprūpes nozarēs ir bijis ievērojams. Scenārija *BIF (i)* gadījumā attiecīgi tie ir bijuši 5 miljoni EUR un 20 miljoni EUR, bet *BIF (e)* scenārija gadījumā – 2 miljoni EUR un 8 miljoni EUR. Visas modelētās uzkrātās makrolīmeņa iemaksas līdz 2047. gadam arī sniežas no ievērojama 1,61 miljarda EUR (scenārijs *BIF (e)*) līdz gandrīz 3 miljardiem EUR (scenārijs *BIF (i)*). Tas kalpo ne tikai kā ar klimatu saistīts ieguvums, bet arī kā praktisks finansiāls ieguvums no pārejas uz klimata neitralitāti 2050. gadā.

Jāuzsver, ka bioekonomikas ieviešana arī atklāja ievērojamu apstrādes rūpniecības energoefektivitātes pieauguma potenciālu. Scenārija *BIF (i)* gadījumā līdz 2047. gadam 1 EUR peļņas ģenerācijai ražošanas nozarei būtu nepieciešami 0,02 kWh elektroenerģijas, savukārt *BIF (e)* scenārija gadījumā – 0,04 kWh, bet tradicionālās rūpniecības modelēšanas scenārijā – 0,10 kWh uz 1 EUR peļņu, rezultāti konvertē oglekļa dioksīda ekvivalentā uz 1 EUR peļņu, rezultāti attiecīgi norāda 2 gramus, 4 gramus un 18 gramus CO₂ ekvivalenta.

Noslēgumā promocijas darba ietvaros ir izvērtēta dažādu faktoru nozīme, tostarp:

- enerģijas patērētāju uzvedība – individuāls patērētāju līmenis, nozares, valstu un sistēmiskais mērogs;
- tehnoloģiskā inovācija – atsevišķiem energoefektivitātes pasākumiem, kā arī sistēmiskām inovācijām, ieviešot bioekonomiku vai trīs pilārus pārejā uz klimata neitralitāti (energoefektivitāti, investīcijas, pētniecību un attīstību);

- vispārējā energosistēmas pārveide – izmantojot sistēmdinamiku attiecībā uz energoefektivitāti, sistēmisku pārveidi un bioekonomikas lomu energosistēmas un ekonomikas pārveidē;
- SEG emisijas faktora paplašināšanas un novērtēšanas iespējas un potenciāls attiecībā uz emisiju samazināšanas iespējām.

Pārmaiņas un veikspējas uzlabojums attiecībā uz klimata neitralitāti un mērķu sasniegšanu var notikt tikai tad, ja tiek ņemtas vērā visas promocijas darbā apskatītās dimensijas, sākot no padziļinātas un plašākas pašreizējās situācijas analīzes attiecībā uz klimata neitralitāti un energointensitāti dažādos līmeņos, analizējot un pārskatot pašreizējās un nākotnes politikas ieviešanas struktūru, kā arī modelējot potenciālos ieguvumus un sistēmas aspektus nākotnē.

Pašlaik *ex-post* novērtējums liecina par būtiskiem trūkumiem, kas jau drīzumā jāpārvar, lai līdz 2050. gadam atrastos uz pareizā ceļa pretī klimata neitralitātei un varētu iegūt malku svaiga gaisa. Šis promocijas darbs sniedz ceļvedi, ja esam gatavi rīkoties, lai sasniegtu klimata neitralitāti jau 2050. gadā.

Literatūras saraksts

- [1] Höhne N. *et. al.* Analysis beyond IPCC AR5: Net Phase Out of Global and Regional Greenhouse Gas Emissions and Reduction Implications for 2030 and 2050. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-215-act-factsheet-net-phase-out-of-global-and-regional-ghg-emissions-and-reduction-implications-for-2030-and-2050.pdf>
- [2] Seljom P., Rosenberg E. A Scandinavian Transition Towards a Carbon-Neutral Energy System. *Limiting Global Warming to Well Below 2 °C: Energy System Modelling and Policy Development* 2018:105–121. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-74424-7_7
- [3] IRENA. World Energy Transitions Outlook: 1.5°C Pathway. 2021. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook>
- [4] Rau G. H., Willauer H. D., Ren Z. J. The global potential for converting renewable electricity to negative-CO₂-emissions hydrogen. *Nature Climate Change* 2018;8(7):621–625. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0203-0>
- [5] Blanco H., Faaij A. A review at the role of storage in energy systems with a focus on Power to Gas and long-term storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018;81:1049–1086. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.062>
- [6] Malins C. What role is there for electrofuel technologies in European transport's low carbon future? 2017. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2017_11_Cerulogy_study_What_role_electrofuels_final_0.pdf
- [7] Navigant. Gas for Climate. The optimal role for gas in a net-zero emissions energy system. 2019. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2020/03/Navigant-Gas-for-Climate-The-optimal-role-for-gas-in-a-net-zero-emissions-energy-system-March-2019.pdf>
- [8] Brand C., Tran M., Anable J. The UK transport carbon model: An integrated life cycle approach to explore low carbon futures. *Energy Policy* 2012;41:107–124. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.08.019>
- [9] Wang H., Chen W., Shi J. Low carbon transition of global building sector under 2- and 1.5-degree targets. *Applied Energy* 2018;222:148–157. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.03.090>

- [10] Dahal K., Juhola S., Niemelä J. The role of renewable energy policies for carbon neutrality in Helsinki Metropolitan area. *Sustainable Cities and Society* 2018;40:222–232. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.015>
- [11] Matthes F. C., Blanck R., Greiner B., Zimmer W. The Vision Scenario for the European Union 2017 Update for the EU-28. 2018. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Vision_Scenario__EU-28-Report_2017.pdf
- [12] PÖYRY. Fully decarbonising Europe's energy system by 2050. 2018. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: https://afry.com/sites/default/files/2020-06/poyrypoinofview_fullydecarbonisingeuropesenergy-systemby2050.pdf
- [13] Hainsch K. *et al.* Research Report. Make the European Green Deal real: Combining climate neutrality and economic recovery. 2020. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/222849/1/1701746166.pdf>
- [14] European Commission. 2030 Climate Target Plan. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: https://ec.europa.eu/clima/policies/eu-climate-action/2030_ctp_en
- [15] European Commission. Eiropas 2030. gada klimatisko ieceru vēriena kāpināšana: investīcijas klimatneitrālā nākotnē cilvēku labā. 2020. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/LV/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020SC0177&from=EN> (I
- [16] European Commission. Decarbonising our energy system to meet our climate goals. 2021.
- [17] Campiglio E. Who should pay for climate? The effect of burden-sharing mechanisms on abatement policies and technological transfers. 2012. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://www.lse.ac.uk/granthaminstitute/wp-content/uploads/2014/02/WP96-climate-abatement-policies-and-technological-transfers.pdf>
- [18] Auer H. *et. al.* Quantitative Scenarios for Low Carbon Futures of the pan-European Energy System. 2020. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://openentrance.eu/wp-content/uploads/openENTRANCE-D3.13.pdf>
- [19] Teigland J. L., Bax H. J., Lhermitte M. Foreign investors back Europe, but is Europe back? 2021. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: https://www.ey.com/en_lv/attractiveness/21/foreign-investors-back-europe-but-is-europe-back
- [20] International Energy Agency. Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector. 2021. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: https://iea.blob.core.windows.net/assets/beceb956-0dcf-4d73-89fe-1310e3046d68/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf

- [21] OECD. Gross domestic spending on R&D. 2021. [Skatīts 15.08.2021]. Pieejams: <https://data.oecd.org/rd/gross-domestic-spending-on-r-d.htm>
- [22] Saeima. Energoefektivitātes likums. Latvija, 2016.
- [23] OECD. Main Science and Technology Indicators. 2021. [Skatīts 15.08.2021]. Pieejams: <https://www.oecd.org/sti/msti-highlights-march-2021.pdf>
- [24] Dienas bizness. Darbu uzsāk Latvijas inovāciju un tehnoloģiju pārstāvniecība Briselē. 31.03.2021. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://www.db.lv/zinas/darbu-uzsak-latvijas-inovaciju-un-tehnologiju-parstavnieciba-brisele-501875>
- [25] Opricovic S., Tzeng G.-H. Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research* 2004:156(2):445–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- [26] Leal J. E. AHP-express: A simplified version of the analytical hierarchy process method. *MethodsX* 2020:7:100748. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.11.021>
- [27] Economidou M., Roman Collado R. Assessing the progress towards the EU energy efficiency targets using index decomposition analysis in 2005–2016. Luxembourg: Publication Office of the European Union, 2019. <https://doi.org/10.2760/61167>
- [28] Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), European Commission. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013 – The Physical Science Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2019:1–30. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [29] Ang B. W., Liu N. Energy decomposition analysis: IEA model versus other methods. *Energy Policy* 2007:35(3):1426–1432. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.04.020>
- [30] United Nations Industrial Development Organization. Structural decompositions of energy consumption, energy intensity, emissions and emission intensity. A sectoral perspective: empirical evidence from WIOD over 1995 to 2009. Vienna: United Nations Industrial Development Organization, 2015. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: https://www.unido.org/sites/default/files/2015-12/WP_11_0.pdf
- [31] Odyssee-Mure. Understanding variation in energy consumption. Methodology. 2020. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://www.indicators.odyssee-mure.eu/php/odyssee-decomposition/documents/interpretation-of-the-energy-consumption-variation-glossary.pdf>
- [32] Ang B. W. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? *Energy Policy* 2004:32(9):1131–1139. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00076-4](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00076-4)

- [33] Talaei A., Gemechu E., Kumar A. Key factors affecting greenhouse gas emissions in the Canadian industrial sector: A decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production* 2020;246:119026. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119026>
- [34] Ang B. W. The LMDI approach to decomposition analysis: a practical guide. *Energy Policy* 2005;33(7):867–871. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.010>
- [35] Liu N., Ang B. W. Factors shaping aggregate energy intensity trend for industry: Energy intensity versus product mix. *Energy Economics* 2007;29(4):609–635. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.12.004>
- [36] Voigt S., De Cian E., Schymura M., Verdolini E. Energy intensity developments in 40 major economies: Structural change or technology improvement? *Energy Economics* 2014;41:47–62. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.10.015>
- [37] Ang B. W., Xu X. Y. Tracking industrial energy efficiency trends using index decomposition analysis. *Energy Economics* 2013;40:1014–1021. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.05.014>
- [38] Norman J. B. Measuring improvements in industrial energy efficiency: A decomposition analysis applied to the UK. *Energy* 2017;137:1144–1151. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.163>
- [39] Trotta G. Assessing energy efficiency improvements and related energy security and climate benefits in Finland: An ex post multi-sectoral decomposition analysis. *Energy Economics* 2020;86:104640. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104640>
- [40] Central Statistics Bureau of Latvia. Entrepreneurship indicators of enterprises (SBG010). 2020. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://www.csb.gov.lv/en/statistics/statistics-by-theme/enterprises/structural-business-statistics/tables/sbg010/entrepreneurship-indicators>
- [41] Eurostat. Complete energy balances [nrg_bal_c]. 2019. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: https://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_bal_c&lang=en
- [42] Central Statistics Bureau of Latvia. Producer price changes in industry sector, as per cent of previous year (RCG030). [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://www.csb.gov.lv/en/statistics/statistics-by-theme/economy/producer-prices/tables/rcg030/producer-price-changes-in-industry-sector-cent>
- [43] Central Statistics Bureau of Latvia. Volume indices of industrial production (RUG031). [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://www.csb.gov.lv/en/statistics/statistics-by-theme/construction-industry-trade/industry/tables/rug031/volume-indices-industrial-production>

- [44] Harmelink M. Nilsson L., Harmsen R. Theory-based policy evaluation of 20 energy efficiency instruments. *Energy Efficiency* 2008;1:131–148. <https://doi.org/10.1007/s12053-008-9007-9>
- [45] Blumstein C., Goldstone S., Lutzenhiser L. A theory-based approach to market transformation. *Energy Policy* 2000;28(2):137–144. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(99\)00093-2](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(99)00093-2)
- [46] European Commission. Commission staff working document. Better Regulation Guidelines. SWD (2017) 350. 2017.
- [47] Simon H. A. Applying Information Technology to Organization Design. *Public Administration Review* 1973;33(3):268–278. <https://doi.org/10.2307/974804>
- [48] Forrester J. W., The System Dynamics National Model: Macrobehavior from Microstructure. *Springer* 1989:3–12. https://doi.org/10.1007/978-3-642-74946-9_1
- [49] Forrester J. W. Policies, decisions and information sources for modeling. *European Journal of Operational Research* 1992;59(1):42–63. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90006-U](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90006-U)
- [50] Barlas Y. Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review* 1996;12(3):183–210. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1727\(199623\)12:3%3C183::AID-SDR103%3E3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1727(199623)12:3%3C183::AID-SDR103%3E3.0.CO;2-4)
- [51] Talaei A., Gemechu E., Kumar A. Key factors affecting greenhouse gas emissions in the Canadian industrial sector: A decomposition analysis. *Journal of Cleaner Production* 2020;246:119026. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119026>
- [52] Liu N., Ang B. W. Factors shaping aggregate energy intensity trend for industry: Energy intensity versus product mix. *Energy Economics* 2007;29(4):609–635. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.12.004>
- [53] Ministry of Economics of the Republic of Latvia. Macroeconomic Review of Latvia. Riga, 2020. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://www.em.gov.lv/en/media/1477/download>
- [54] Central Statistics Bureau of Latvia. Volume indices and changes in volume of construction production by economic activity [BU010c]. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://www.csb.gov.lv/en/statistics/statistics-by-theme/construction-industry-trade/construction/tables/bu010c/volume-indices-and-changes-volume>
- [55] Fastmarkets. Latvian steelmaker Liepajas Metalurgs applies for bankruptcy. 2013. [Skatīts 15.08.2021.]. Pieejams: <https://www.metalbulletin.com/Article/3275040/Latvian-steelmaker-Liepajas-Metalurgs-applies-for-bankruptcy.html>

- [56] Reuter M., Patel M. K., Eichhammer W. Applying ex post index decomposition analysis to final energy consumption for evaluating European energy efficiency policies and targets. *Energy Efficiency* 2019;12(5):1329–1357. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-09772-w>
- [57] Locmelis K., Blumberga D., Bariss U. Energy efficiency in large industrial plants. Legislative aspects. *Energy Procedia* 2018;147:202–206. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.058>
- [58] Cabinet of Ministers. Regulation No. 226. Regulations Regarding the Energy Efficiency Obligation Scheme. *Latvijas Vēstnesis* 2017:97.
- [59] State Audit Office. Is a targeted energy efficiency policy in place to achieve the planned energy end-use savings? 2018.
- [60] Fawcett T., Rosenow J., Bertoldi P. Energy efficiency obligation schemes: their future in the EU. *Energy Efficiency* 2019;12(1):57–71. <https://doi.org/10.1007/s12053-018-9657-1>
- [61] Ministry of Economics. Report on progress towards meeting the national energy efficiency targets for 2020 for 2017. Year in accordance with the requirements of Article 24(1) and Part 1 of Annex XIV to Directive 2012/27/EU. 2019.
- [62] Billingsley M. A., Hoffman I. M., Stuart E., Schiller S. R., Goldman C. A., LaCommare K. H. The Program Administrator Cost of Saved Energy for Utility Customer-Funded Energy Efficiency Programs. Berkeley CA: Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2014. <https://doi.org/10.2172/1129528>
- [63] Elektrum. Energy savings achieved through energy efficiency measures. 2019.
- [64] ENSPOL. Report on existing and planned EEOs in the EU – Part II: Description of planned schemes. 2016:1–187.
- [65] Gardner G. T., Stern P. C. Environmental problems and human behavior. 2002.
- [66] Gillingham K., Keyes A., Palmer K. Advances in Evaluating Energy Efficiency Policies and Programs. *Annual Review of Resource Economics* 2018;10(1):511–532. <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100517-023028>
- [67] Hoffman I. M., *et al.* The Total Cost of Saving Electricity Through Utility Customer-Funded Energy Efficiency Programs: Estimates at the National, State, Sector and Program Level. Berkeley Lab, 2015. Pieejams: <https://www.naesco.org/data/industryreports/LBNL%20Brief,%204-15.pdf>