

Lauma Balode

KLIMATA UN ENERĢĒTIKAS PASĀKUMU NOVĒRTĒJUMS AR SALIKTO ILGTSPĒJAS INDEKSU

Promocijas darba kopsavilkums



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Lauma Balode

Doktora studiju programmas “Vides inženierija” doktorante

KLIMATA UN ENERĢĒTIKAS PASĀKUMU NOVĒRTĒJUMS AR SALIKTO ILGTSPĒJAS INDEKSU

Promocijas darba kopsavilkums

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

asociētā profesore
Ph. D. IEVA PAKERE

Zinātniskais konsultants
Dr. sc. ing. ULDIS BARISS

RTU Izdevniecība
Rīga 2025

Balode, L. Klimata un enerģētikas pasākumu novērtējums ar salikto ilgtspējas indeksu. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2025. 57 lpp.

Publicēts saskaņā ar promocijas padomes “RTU P-19” 2025. gada 13. marta lēmumu Nr. 219”.

Pētījumu finansē Latvijas Zinātnes padomes projekta “Klimata neitralitātes lēmumu modeļi darbībā”, projekta Nr. VPP-KEM-Klimatneitralitāte-2023/1-0002, ietvarā



**Klimata neitralitātes
lēmumu modeļi
darbībā**



VPP
Valsts pētījumu
programma

Pētījums izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda projekta Nr. 8.2.2.0/20/I/008 “Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās” atbalstu.

Vāka attēls – www.shutterstock.com.

<https://doi.org/10.7250/9789934371691>
ISBN 978-9934-37-169-1 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2025. gada 29. maijā plkst. 14 Rīgas Tehniskās universitātes Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 607. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing. Andres Siirde*,
Tallinas Tehnoloģiju universitāte, Igaunija

Profesors *Dr. sc. ing. Raimondas Grubliauskas*,
Viļņas Ģedimina tehniskā universitāte, Lietuva

Profesors *Dr. sc. ing. Francesco Romagnoli*,
Rīgas Tehniskā universitāte

APSTIPRINĀJUMS

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

Lauma Balode (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, kopējais lappušu skaits, ieskaitot pielikumus, ir 333, darbā ir 41 attēls un 48 tabulas. Bibliogrāfijā ir 281 nosaukums.

SATURS

IEVADS	5
1. PETĪJUMA METODES.....	14
1.1. Saliktais indekss	14
1.2. Salīdzinājums starp individuālo un centralizēto siltumapgādi.....	15
1.3. Centralizētās siltumapgādes noturība pašvaldībās	17
1.4. Klimatneitrālas pašvaldības	21
1.5. Saliktā indeksa izveide NEKP klimata politikas novērtēšanai.....	25
1.6. Sistēmas maiņa – bioloģiskās un konvencionālās piensaimniecības salīdzinājums	26
1.7. Sistēmas maiņa – kūdrāju atjaunošanas stratēģiju novērtējums.....	29
1.8. AER potenciāla novērtējums.....	31
2. REZULTĀTI UN DISKUSIJA.....	35
2.1. CS un individuālo siltumapgādes tehnoloģiju novērtējums	35
2.2. Adaptīvās un raksturojošās siltumnoturības novērtējums.....	39
2.3. Siltumapgādes tehnoloģisko risinājumu novērtējums pašvaldības ēkās	42
2.4. Lauksaimniecības un mežsaimniecības politikas pasākumu ietekmes novērtējums ...	42
2.5. Sistēmas maiņa – konvencionālās un bioloģiskās piena lopkopības salīdzinājums	44
2.6. Sistēmas maiņa – kūdras atjaunošanas stratēģiju novērtējums.....	46
2.7. AER potenciāla novērtējums galvenajos tautsaimniecības sektoros	48
SECINĀJUMI	51
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	53

IEVADS

Promocijas darba aktualitāte

Piecus gadus pēc Parīzes nolīguma stāšanās spēkā Eiropas Savienība ir apņēmusies uzņemties vadošo lomu globālajā cīņā pret klimata pārmaiņām [1]. Gadu pēc Eiropas zaļā kursa uzsākšanas – 2020. gada decembrī – ES līderi vienojās par kopīgu mērķi līdz 2030. gadam samazināt SEG emisijas vismaz par 55 %, salīdzinot ar 1990. gada līmeni [1]. Pēdējo 10 gadu laikā ir īstenotas daudzas stratēģijas, izstrādāti noteikumi un politika, lai veicinātu dekarbonizāciju [2]. Valsts regulatīvās iestādes ir atbildīgas par tādu politikas instrumentu ieviešanu, kas atbilst pārejas mērķiem ekonomikā ar zemu oglekļa dioksīda emisiju līmeni.

Katras ES dalībvalsts pienākums ir sagatavot un definēt sasniedzamos klimata mērķus, kā arī pasākumus un politiku, lai līdz 2050. gadam panāktu klimatneitralitāti. Īstenotā politika un izmantotie izpildes mehānismi ne vienmēr ir efektīvi un bieži vien neatbilst politikas veidotāju definētajiem klimata mērķiem [3]. Tāpēc viens no būtiskākajiem stūrakmeņiem ir izpratne par galvenajiem faktoriem, kas veicina vai kavē klimata mērķu sasniegšanu [4]. Klimata un enerģētikas politiku var īstenot, izmantojot dažādus politiskus un ekonomiskus instrumentus, taču ne vienmēr ir skaidrs, kuras politikas un kuri instrumenti ir efektīvi un iedarbīgi [5].

Politikas veidotāju diskusijas par optimālāko, rentablāko un ilgtspējīgāko enerģētikas infrastruktūru ieskicē vairākus strīdīgus jautājumus, piemēram, atjaunojamo enerģiju pretstatā fosilajam kurināmajam un centralizēto siltumapgādi pretstatā decentralizētai siltumenerģijas ražošanai.

Latvijas Nacionālais enerģētikas un klimata plāns 2030. gadam (turpmāk – NEKP) [6] sniedz pārskatu par rīcībpolitikām un pasākumiem klimata mērķu sasniegšanai. Saskaņā ar NEKP un Eiropas Komisijas vērtējumu [7] liela daļa no NEKP norādītajiem pasākumiem ir jau esoši pasākumi, kas turpināsies tuvākajos gados un var nebūt pietiekami, lai līdz 2030. gadam sasniegtu definētos klimata mērķus. Saskaņā ar iepriekš minēto novērtējumu klimata un enerģētikas pasākumu apraksts ir vispārīgs, trūkst konkrētu politikas pasākumu ar izmērāmiem rādītājiem. Latvijas NEKP nav veikts ietekmes novērtējums katram piedāvātajam klimata un enerģijas pasākumam, kā arī daļai no tiem netiek sniegti izmērāmi rādītāji, tāpēc ir sarežģīti izvērtēt, vai pasākumi tiks īstenoti un kādi faktori un barjeras ietekmēs pasākumu īstenošanu [8]. Arī Eiropas Komisija savā novērtējumā [8] par 2024. gada atjaunoto NEKP norādījusi [9], ka plānā trūkst konkrētu politikas pasākumu un instrumentu, kā arī skaitļos izsakāmu rezultātu un indikatoru [6].

Rīcībpolitiku novērtējumā arvien svarīgāki kļūst ilgtspējības aspekti un instrumenti ilgtspējīgāku lēmumu pieņemšanai [10]. Politikas pasākumu novērtēšana var veicināt saprātīgāku un ilgtspējīgāku lēmumu pieņemšanu. Izmantojot galvenos veiktspējas rādītājus (*KPI*), ir iespējams izmērīt rezultātu un uzraudzīt progresu definēto mērķu sasniegšanā [11],

[12]. Dato balstīts klimata un enerģētikas politikas pasākumu novērtējums patlaban ir nozīmīgāks nekā jebkad iepriekš, lai sasniegtu klimata mērķus līdz 2030. un 2050. gadam. Dato balstīta un zinātniski pamatota politika var būt instruments veiksmīgas politikas un prakses apzināšanai.

Ilgspējības novērtējumā ir jāizvērtē dažādi aspekti, tostarp vides, ekonomikas un sociālie [13], [14]. Dažādos saliktos rādītājus var apkopot apakšindeksos un dimensijās, kas var parādīt vispusīgu informāciju un ļaut veikt alternatīvu salīdzinājumu [10]. Saliktos indeksus iespējams izmantot politikas izstrādē, iespējamo risku identificēšanā un prognozēšanā saistībā ar politiku īstenošanu, kā arī monitoringa progresu novērtēšanai [10].

Klimata un enerģētikas politikas pasākumu novērtēšana, izmantojot skaitliskus valsts mēroga modeļus, ir laikietilpīga un sarežģīta [15]. Līdz ar to lēmumu pieņēmējiem kā alternatīvs risinājums klimata un enerģētikas politikas pasākumu analīzei un risku novērtēšanai varētu tikt piedāvāts saliktais ilgspējas indekss. Promocijas darbā izmantota saliktā indeksa un citu zinātniski pamatotu metožu kombinācija, lai novērtētu dažādu klimata un enerģētikas politikas pasākumu ilgspējību, identificējot virzītājspēkus un kavējošos faktorus.

Hipotēze

Izstrādājot visaptverošu ilgspējas novērtēšanas metodoloģiju, kas apvieno zinātnisku metožu kombināciju un datus balstītus indikatorus, iespējams novērtēt klimata un enerģētikas pasākumu virzītājspēkus un trūkumus ceļā uz ilgspēju.

Promocijas darba mērķis

Promocijas darba mērķis ir visaptveroši analizēt klimata un enerģētikas pasākumus dažādiem gadījumiem, nosakot izmērāmus indikatorus, lai analizētu galvenos virzītājspēkus un trūkumus un to ietekmi uz ilgspēju, izstrādājot ilgspējas novērtēšanas metodiku.

Promocijas darba uzdevumi

1) Izstrādāt visaptverošu ilgspējas novērtēšanas metodoloģiju, kurā apvienotas dažādas metodes (saliktais indekss, tehnokonomiskā analīze, emisiju aprēķini utt.) un rādītāji, lai iegūtu daudzdimensiju novērtējumu:

- noteikt un atlasīt kvantitatīvos un kvalitatīvos rādītājus, kas ļautu novērtēt klimata un enerģētikas pasākumu efektivitāti un ieguldījumu klimata mērķu sasniegšanā;
- identificēt ilgspējas dimensijas;
- piešķirt indikatoriem vērtības, izmantojot zinātniski pamatotas metožu kombinācijas;
- normalizēt indikatoru vērtības, lai nodrošinātu alternatīvu salīdzināmību;
- noteikt katras dimensijas svaru;
- apkopot indikatorus saliktajā indeksā.

2) Veikt metodikas aprobāciju, izvērtējot pasākumu ilgtspēju:

- noteikt galvenos klimata un enerģētikas pasākumu virzītājspēkus un trūkumus, kas ietekmē pasākumu ilgtspēju un klimata mērķu sasniegšanu;
- veikt ar **tehnoloģiju maiņu** saistīto pasākumu analīzi;
- veikt lauksaimniecības un mežsaimniecības **pasākumu ilgtspējas** salīdzināšanu;
- veikt **sistēmas maiņas** pasākumu analīzi, izvērtējot tās ietekmi uz enerģijas pārkārtošanos un SEG emisiju samazināšanas potenciālu;
- veikt analīzi par atjaunojamās enerģijas izmantošanas iespējām galvenajos tautsaimniecības sektoros, salīdzinot atjaunojamās enerģijas potenciālu dažādās nozarēs.

3) Izstrādāt ieteikumus politikas veidotājiem, pievēršoties galvenajiem virzītājspēkiem, šķēršļiem un risinājumiem, pamatojoties uz promocijas darba pētījuma rezultātiem.

Pētījuma metodika

Promocijas darbā noteiktā mērķa sasniegšanai izstrādātais metodikas algoritms redzams 1. attēlā.

1) Sektoru analīze.

Šajā pētījumā galvenā uzmanība pievērsta enerģētikas nozarei, lauksaimniecībai un zemes izmantošanai, šajos sektoros jāveic virkne pasākumu, lai samazinātu SEG emisijas un piesaistītu oglekli noteikto klimata mērķu sasniegšanai. Politikas pasākumi šajā pētījumā ir saistīti ar noteiktiem pasākumiem enerģētikas nozarē, atjaunojamās enerģijas izmantošanā, lauksaimniecībā un zemes izmantošanā.

2) Klimatneitralitātes alternatīvu noteikšana.

Tālāk tekstā norādīta promocijas darbā izmantoto publikāciju secība, pētot klimata alternatīvas attiecībā uz tehnoloģijām, klimata politikas ilgtspēju un sistēmas izmaiņām.

Tehnoloģiju alternatīva

Ar tehnoloģiju maiņu saistīto pasākumu analīze, koncentrējoties uz individuālās un centralizētās siltumapgādes sistēmu ilgtspējību, CS sistēmu noturību un oglekļa neitralitātes iespējām pašvaldībās.

1. Individuālās un centralizētās siltumapgādes tehnoloģiju ilgtspējas salīdzinājums.
2. Individuālās un centralizētās siltumapgādes tehnoloģiju ilgtspējas novērtējums vienas pašvaldības ēkām.
3. Pašvaldību centralizētās siltumapgādes noturības novērtējums 10 dažādās pašvaldībās Latvijā.

Klimata politikas pasākuma ilgtspēja

4. Lauksaimniecības un mežsaimniecības politikas pasākumu ilgtspējas un prioritāšu noteikšana, parādot, kā iespējams salīdzināt klimata pasākumus.

Sistēmas maiņa

Sistēmas maiņas pasākumu analīze, tai skaitā, bioloģiskās lauksaimniecības salīdzinājums ar konvencionālo lauksaimniecību, kūdras atjaunošanas stratēģiju analīze un kūdrāju potenciālās izmantošanas iespējas.

5. Bioloģiskās un konvencionālās lauksaimniecības ilgtspējas salīdzinājums.

6. Kūdras atjaunošanas stratēģiju izpēte, kūdrāju alternatīva izmantošana oglekļa piesaistīšanai.

7. Ekonomiskās un vides ilgtspējas salīdzinājums dažādām kūdras atjaunošanas stratēģijām un izmantošanas alternatīvām.

8. AER potenciāla salīdzināšana galvenajos tautsaimniecības sektoros [6].

3) Dimensiju definēšana – ekonomiskā, vides, sociālā, tehniskā.

4) Indikatoru izvēle – balstoties zinātniskajā literatūrā, tiek noteikti indikatori, kas tālāk tiek izmantoti saliktā indeksa izveidē.

5) Rādītāju vērtību noteikšana.

Metodes – literatūras analīze, ekspertu aptauja; tehnoekonomiskā metode; emisiju aprēķins, HHI indekss resursu diversificēšanas novērtēšanai.

6) Svaru piešķiršana.

7) Indikatoru normalizācija – katrs indikators ir vai nu ar pozitīvu vai negatīvu nozīmi (tiek radīts pozitīvās un negatīvās ietekmes līdzsvars), ko ņem vērā, veicot rādītāju normalizāciju.

8) Rādītāju apkopošana saliktajā indeksā.

9) Nenoteiktības novērtējums, regresijas analīze attiecībā uz adaptīvo un raksturīgo CS noturību.

10) Rekomendāciju izstrāde politikas veidotājiem.

Detalizēta promocijas darba metodika redzama 1. attēlā.

1. Sektora analīze	2. Klimatneitralitātes alternatīva (tehnoloģiju un sistēmas maiņa)			3. Dimensiju definēšana	4. Indikators definēšana	5. Indikators vērtību noteikšana
	Siltumapgādes tehnoloģiju nomaņa Izturētspējas uzlabošana	Klimata politikas pasākumu ilgtspēja	Sistēmas maiņa			
Enerģētika				Ekonomiskā	Literatūras analīze	
lauksaimniecība un zemes izmantošana	1. Individuālās un centralizētās siltumapgādes tehnoloģiju ilgtspējas novērtēšana – 1 publ.		5. Bioloģiskā lauksaimniecība salīdzinājumā ar tradicionālo lauksaimniecību	Vides	Ekspertu vērtējums	
AER izmantošana tautsaimniecības sektoros	2. Pašvaldību ēku individuālās un centralizētās siltumapgādes tehnoloģiju ilgtspējas novērtēšana – 1 publ.	4. Lauksaimniecības un zemes izmantošanas pasākumu ilgtspēja – 1 publ.	6. Kūdras stratēģiju - salīdzinājums – 1 publ.	Sociālā		
	3. Pašvaldību centralizētās siltumapgādes izturētspējas salīdzināšana – 1 publ.		7. Kūdras stratēģiju ekonomiskā un vides ilgtspēja – 1 publ.	Tehniskā	Tehniski-ekonomiskā analīze	
			8. AER tehnoloģiju potenciāla novērtēšana tautsaimniecības sektoros – 1 publ.		Emisiju aprēķins	
					HHI indekss	
6. Dimensiju svēršana	7. Indikators vērtību normalizēšana	8. Rādītāju apkopošana saliktajā ilgtspējas indeksā	9. Nenoteiktības novērtēšana, regresijas analīze	10. Rekomendāciju izstrāde		
Ekspertu vērtējums AHP	Min-Max normalizācijas metode					

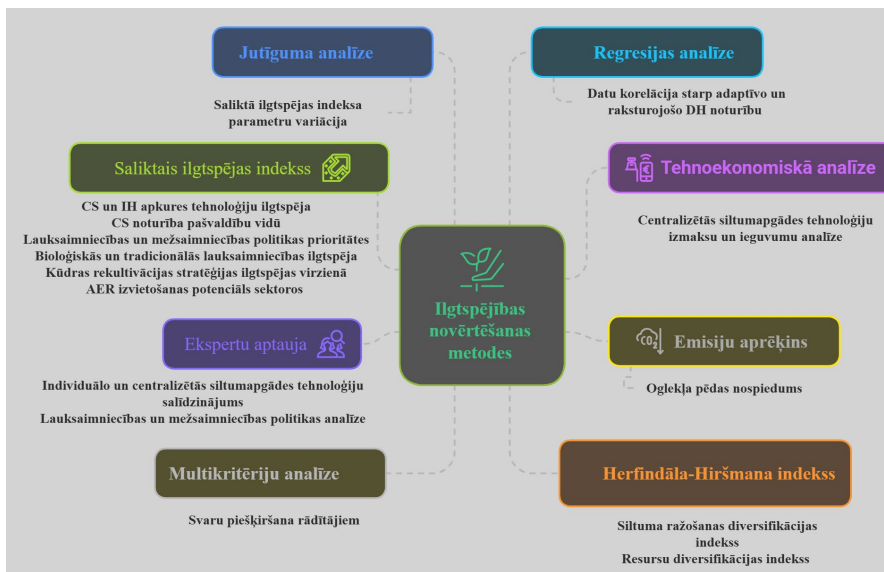
1. att. Promocijas darba metodika soli.

Promocijas darba zinātniskā novitāte

Promocijas darba rezultāti apkopo septiņus atšķirīgus kvantitatīvajos un kvalitatīvajos datos balstītus pētījumus klimata un enerģētikas pasākumu novērtēšanai, katrā pētījumā izveidots saliktais indekss. Pieci no tiem attiecināmi tieši uz Latvijas enerģētikas un klimata politikas pasākumu analīzi.

Promocijas darba rezultāti piedāvā visaptverošu metodoloģiju klimata un enerģētikas pasākumu ilgtspējības novērtēšanai, integrējot zinātniski pamatotu metožu kombināciju. Promocijas darbā pētīta saliktā indeksa izmantošana, dažādu enerģētikas un klimata pasākumu analīzē integrējot citas zinātniskas metodes, piemēram, tehnokonomisko analīzi, emisiju aprēķinu, lai noteiktu rādītāju vērtības. Savukārt ekspertu aptauja un multikritēriju analīze izmantota, lai dimensijām piešķirtu svaru. Promocijas darbā izmantotas arī tādas metodes kā jutīguma analīze, regresijas analīze un Hiršmana indekss (2. attēls). Saliktajā indeksā dažādi rādītāji ir apkopoti vienā indeksā, kas ietver dažādus ilgtspējas aspektus.

Klimata neitralitātes politikas definēšanai promocijas darbā izstrādāti indikatori ilgtspējas vērtēšanai dažādu klimata un enerģētikas pasākumu novērtēšanai. Metodika ietver gan kvantitatīvos, gan kvalitatīvos rādītājus vairākās dimensijās, ļaujot analizēt virzītājspēkus un trūkumus ceļā uz pasākumu ilgtspēju.



2. att. Promocijas darbā izmantotās metodes [16].

Promocijas darba praktiskā nozīme

Promocijas darba izstrādes gaitā iegūtie rezultāti ir vērtīgs instruments klimata un enerģētikas politikas veidotājiem un pašvaldībām, kas aprobežs septiņos dažādos pētījumos, lai novērtētu pasākumu ilgtspējību un identificētu riskus. Metodoloģiju un indikatorus var izmantot, lai sākotnēji pārskatītu un novērtētu esošos klimata un enerģētikas pasākumus un izstrādātu jaunu klimata un enerģētikas politiku.

Promocijas darbā tika iegūti indikatori dažādu klimata un enerģētikas pasākumu ilgtspējas izvērtēšanai. Šos rādītājus var izmantot lēmumu pieņemšanā, virzošo spēku un iespējamo trūkumu noteikšanā. Rādītājus un to vērtības var izmantot kā datubāzi klimata un enerģētikas pasākumu analīzei. Promocijas darbā iegūtais indikators kopums var palīdzēt politikas veidotājiem pieņemt efektīvākus un saprotamākus lēmumus. Promocijas darbs piedāvā metodiku, kas var palīdzēt pašvaldībām veicināt ilgtspēju, koncentrējoties uz atjaunojamās enerģijas integrāciju siltumapgādē un CS noturības novērtēšanu.

Izstrādāto metodiku var izmantot arī uzņēmumi, lai analizētu konkrētu pasākumu virzītājspēkus un trūkumus ceļā uz ilgtspēju. Saskaņā ar jauno korporatīvās ilgtspējas ziņošanas direktīvu, ko ES pieņēma 2024. gadā, būtu jābalstās arī uz darbības ilgtspējību un jāziņo par ilgtspējības pasākumiem, tai skaitā ņemot vērā vides, ekonomiskos un sociālos aspektus.

Pētījuma rezultātu aprobācija

Promocijas darba rezultāti prezentēti rezultāti prezentēti sešās starptautiskās zinātniskās konferencēs.

1. CONECT 2021: XVI International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies. POSTER SESSION: *From multicriteria decision analysis to composite sustainability index for policy impact assessment in national energy and climate plans.*

2. CONECT 2022: XVI International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies. PANEL SESSION V: Renewable Energy Technologies. *The comparison of RES sustainable development in the main sectors of the Economy.*

3. CONECT 2022: XVI International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies. POSTER SESSION: *Assessing the effectiveness of forestry and agricultural policies in national energy and climate plans.*

4. CONECT 2023: XVI International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies. POSTER SESSION: Carbon Farming in the New Common Agriculture Policy: analysis of Measures and identification of the blind spots.

5. CONECT 2023: XVI International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies. POSTER SESSION: Evaluating the effectiveness of agricultural and forestry policies in achieving environmental goals through environmental policy documents.

6. CONECT 2024: XVII International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies. POSTER SESSION: Organic or Non-organic Agriculture: Comparison of Organic and Conventional Farming Sustainability.

Promocijas darba rezultāti aprobēti, sagatavojot astoņas tematiski saistītas zinātniskās publikācijas, kas indeksētas SCOPUS datubāzē.

1. Balode, L.; Dolge, K.; Blumberga, D. The Contradictions between District and Individual Heating towards Green Deal Targets. *Sustainability* 2021, 13, 3370. <https://doi.org/10.3390/su13063370>

2. Balode, L.; Zlaugotne, B.; Gravelsins, A.; Svedovs, O.; Pakere, I.; Kirsanovs, V.; Blumberga, D. Carbon Neutrality in Municipalities: *Balancing Individual and District Heating Renewable Energy Solutions.* *Sustainability* 2023, 15, 8415. <https://doi.org/10.3390/su15108415>.

3. Balode, L.; Blumberga, D. *Evaluating the Effectiveness of Agricultural and Forestry Policies in Achieving Environmental Goals Through Policy Documents* *Environmental and Climate Technologies*, vol. 27, no. 1, 2023, pp. 195–211. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2023-0015>.

4. Balode, L.; Dolge, K.; Blumberga, D. *Sector-Specific Pathways to Sustainability: Unravelling the Most Promising Renewable Energy Options*. Sustainability 2023, 15, 12636. <https://doi.org/10.3390/su151612636>.
5. Balode, L.; Bumbiere, K.; Sosars, V.; Valters, K.; Blumberga, D. *Pros and Cons of Strategies to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Peatlands: Review of Possibilities*. Appl. Sci. 2024, 14, 2260. <https://doi.org/10.3390/app14062260>.
6. Balode, L.; Blumberga, D. *Comparison of the Economic and Environmental Sustainability for Different Peatland Strategies*. Land, 2024, vol. 13, no. 4, 1–19. lpp. e-ISSN 2073-445X. Pieejams: doi:10.3390/land13040518.
7. Balode, L.; Pakere, I.; Luksta, I.; Blumberga, D. *Organic versus conventional agriculture: comparison of economic and environmental sustainability*, Environmental and Climate Technologies.
8. Pakere, I.; Balode, L. (corresponding author); Krīgers, G.; Blumberga, D. District heating resilience under high energy price shocks
Journal: Energy (otrās recenzēšanas procesā).

Citas publikācijas

1. Balode, L., Dolge, K., Lund, P. D., & Blumberga, D. (2021). *How to assess policy impact in national energy and climate plans*, Environmental and Climate Technologies, 25 (1), 405–421. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2021-0030>.
2. Dolge, K., Balode, L., Laktuka, K. et al. A Comparative Analysis of Bioeconomy Development in European Union Countries. Environmental Management 71, 215–233 (2023). <https://doi.org/10.1007/s00267-022-01751-3>.
3. Pubule, J; Vištarte L., Balode, L. *Agricultural Sector Towards Climate Neutrality: an Analysis of Common Agricultural Policy. Case of Latvia*, Agriculture, Ecosystems and Environment.
4. Terjanika, Viktorija, et al. “Legal Framework Analysis for CO₂ Utilisation in Latvia” Environmental and Climate Technologies, vol. 26, no. 1, Riga Technical University, 2022, pp. 917–929. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2022-0069>.
- Zlaugotne, B.; Zihare, L.; Balode, L., et al. “Multi-Criteria Decision Analysis Methods Comparison” Environmental and Climate Technologies, vol. 24, no. 1, Riga Technical University, 2020, pp. 454–471. <https://doi.org/10.2478/rtuct-2020-0028>.

Monogrāfijas

1. Blumberga, D., Balode, L., Bumbiere, K., Dzalbs, A., Indzere, Z., Kalnbalkāte, A., Priediece, V., Pubule, J., Vamža, I., Zlaugotne, B., Žihare, L. Bioresources for Sustainable

Development. Rīga: RTU Izdevniecība, 2021. 483 p. ISBN 978-9934-22-701-1. Available from: doi:10.7250/9789934227035.

2. Blumberga, D.; Balode, L.; Bumbiere, K.; Indzere, Z.; et al. "Zivju apstrādes efektivitātes ceļvedis". Rīga: RTU Izdevniecība, 2021.

Promocijas darba saturs

Promocijas darba pamatā ir astoņas tematiski saistītas publikācijas. Promocijas darbu veido ievads un trīs nodaļas:

- "Literatūras pārskats";
- "Metodika";
- "Rezultāti un secinājumi, ieteikumi".

Ievadā pamatota promocijas darba aktualitāte un mērķi. Literatūras apskatā atspoguļotas atziņas par individuālo un centralizēto siltumapgādi, energoapgādes drošību, lauksaimniecību un zemes izmantošanu un atjaunojamo enerģiju, kā arī šajās jomās identificētie problēmjautājumi virzībai uz klimata mērķu sasniegšanu.

Metodikas nodaļā apkopotas visas metodes un rādītāji, kas izmantoti pētījumu veikšanai. Metodika koncentrējas uz saliktu indeksu, kas tiek papildināts ar citām zinātniskajām metodēm, lai noteiktu rādītāju vērtības, iegūtu rādītāju svaru vai aprēķinātu nenoteiktību. Rezultāti atklāj saliktā indeksa izmantošanas iespējas klimata un enerģētikas pasākumu ilgtspējas novērtēšanai, identificējot virzītājspēkus un vājās puses.

1. PĒTĪJUMA METODIKA

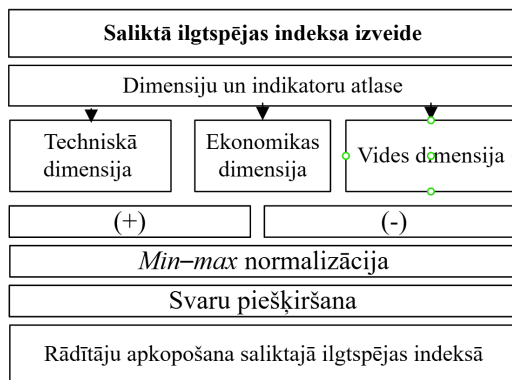
1.1. Saliktais indekss

Saliktā indeksa metode ir guvusi atzinību kā inovatīvs instruments, kas ļauj iekļaut neierobežotu skaitu rādītāju, lai izmērītu dažādus sarežģītus un pretrunīgus jautājumus, piemēram, ilgtspēju, labklājību, inovācijas potenciālu, konkurētspēju un daudzus citus [17], [18]. Zinātnieki salikto indeksu novērtējuši kā atbilstošu metodiku ilgtspējīgas attīstības novērtēšanai. Saliktais indekss ļauj salīdzināt reģionu, nozaru un citu faktoru ilgtspējas rādītājus. Salikto indeksu iespējams izmantot, lai novērtētu politikas pirms to īstenošanas vai novērtētu progresu ceļā uz definētajiem mērķiem. Politikas veidotāji izmanto salikto indeksu lēmumu pieņemšanas procesā, lai izvēlētos efektīvākos risinājumus un izvairītos no iespējamajiem riskiem [17]–[19].

Galvenie soļi saliktā ilgtspējas indeksa veidošanā

Veidojot salikto ilgtspējas indeksu, dati vispirms ir jānormalizē pasākumu un rādītāju savstarpējai salīdzināšanai. Pirms datu apkopošanas ir nepieciešams veikt datu normalizēšanu, jo rādītājiem bieži ir dažādas mērvienības [20]. Lai standartizētu rādītājus, normalizācijai tika izmantota *Min-max* datu normalizācijas metode, kas atzīta kā piemērota lēmumu pieņemšanas un politikas analīzē. *Min-max* normalizācija standartizē rādītāju vērtības diapazonā $[0;1]$, kas ļauj vispusīgi salīdzināt rādītājus ar dažādām mērvienībām [20].

Nākamais solis ir rādītāju apkopošana un dimensiju svēršana, lai salīdzinātu katras dimensijas svaru. Lielākā daļa salikto rādītāju balstās vienādā svērumā [21], [22] (1.1. att.).



1.1. att. Saliktā indeksa veidošanas metodika [23], [24].

1.2. Individuālās un centralizētās siltumapgādes salīdzinājums

Šis pētījums parāda saliktā indeksa metodikas lietojumu, lai analizētu centralizētās siltumapgādes un individuālās siltumapgādes tehnoloģiju ilgtspēju. Pētījuma izstrādes gaitā tika izveidots saliktais ilgtspējas indekss centralizētās siltumapgādes un četru atšķirīgu individuālās siltumapgādes tehnoloģiju – koksnes granulu katli, dabasgāzes katli, saules kolektori un siltumsūkņi – novērtēšanai. Pētījumā apvienotas vispārējās ilgtspējības dimensijas, kas papildinātas ar tehnisko dimensiju, kas atspoguļo analizētās tehnoloģijas galvenos veiktspējas parametrus. Tādējādi modelis ietver četras galvenās dimensijas – tehnisko, vides, ekonomisko un sociālo. Katras dimensijas aprakstošie rādītāji apkopoti 1.2.1. tabulā. Kopumā atlasīti 19 **rādītāji**, kas sagrupēti četrās dimensijās.

1.2.1. tabula

Atlasītie ilgtspējas rādītāji un klasifikācija dimensijās [17], [25]

Dimensija	Nr.	Indikatora apraksts	Avots	Ietekme
Tehniskā	teh1	Efektivitāte	Dati	+
	teh2	Pakalpojuma un tehniskās apkopes sarežģītība (speciālistu pieejamība uz vietas, tūlītēja riska situāciju novēršana)	Ekspertu novērtējums	–
	teh3	Stabila energoresursu pieejamība pietiekamam siltumam ražošana	Ekspertu novērtējums	+
	teh4	Izmantoto energoresursu dažādošanas iespējas (tehnoloģija neaprobežojas tikai ar vienu energoresursu piegādes veidu)	Ekspertu novērtējums	+
	teh5	Iespēja līdzsvarot saražoto siltuma slodzi (spēja reaģēt uz straujām sezonālām un īstermiņa pieprasījuma izmaiņām)	Ekspertu novērtējums	+
	teh6	Darbības stabilitāte (stabila siltumapgāde tīklam, nav vai ir samazināti siltuma traucējumi)	Ekspertu novērtējums	+
	teh7	Nekvalitatīvu energoresursu izmantošanas iespējas	Ekspertu novērtējums	+
Vides	env1	Īpatnējās CO ₂ emisijas	Dati	–
	env2	Dūmgāzu attīrīšanas sarežģītība	Ekspertu novērtējums	–
Ekonomikas	ekon1	Kapitālieguldījumi (<i>CAPEX</i>)	Dati	–
	ekon2	Apkopes un uzturēšanas izmaksas (<i>OPEX</i>)	Dati	–
	ekon3	Tehnoloģijas kalpošanas laiks	Dati	+
	ekon4	Īpašas enerģijas izmaksas	Dati	–
	ekon5	Iespēja siltuma ražošanas optimizācijai un resursefektivitātes maksimizēšanai izmantot lieko siltumu	Ekspertu novērtējums	+
	ekon6	Izmaksu optimizācijas iespējas (energoresursu izvēle, pamatojoties uz ekonomiski izdevīgāko cenu tirgū, ietaupījumu iespējas)	Ekspertu novērtējums	+

1.2.1. tabulas turpinājums			
soc1	Patērētāju komforta līmenis	Ekspertu novērtējums	+
soc2	Patērētāju drošības līmenis (samazināts aizdegšanās, noplūdes u. c. risks)	Ekspertu novērtējums	+
Sociālā soc3	Ietekme uz vietējo resursu veicināšanu (enerģijas importa samazināšana)	Ekspertu novērtējums	+
soc4	Patērētāju kontroles līmenis pār siltuma patēriņu	Ekspertu novērtējums	+

1.2.1. Datu vākšana un ekspertu aptauja

Rādītāju vērtības katrai tehnoloģijai noteiktas, pamatojoties uz divām galvenajām pieejām – kvantitatīvo un kvalitatīvo novērtējumu. Kvantitatīvo indikatoru vērtību noteikšanai tika izmantoti publiski pieejamie informācijas avoti – datubāzes, zinātniskās atskaites, ziņojumi, tiesību akti un dati par tehnoloģijām. Šie rādītāji bija šādi: tehnoloģijas efektivitāte (*teh1*); īpatnējās CO₂ emisijas (*env1*); kapitālieguldījumi (*econ1*); specifiskās apkopes un uzturēšanas izmaksas (*econ2*); tehnoloģijas kalpošanas laiks (*econ3*); specifiskās enerģijas izmaksas (*econ4*). Visi izmantotie kvantitatīvie ievades dati apkopoti 1.2.2. tabulā.

1.2.2. tabula

Dati un pieņēmumi centralizētajai siltumapgādei un individuālajām apkures tehnoloģijām

Indikators	Nr.	Mērv.	Dati Avots	CS	Koka granulu katls	Dabaszāzes katls	Saules kolektori	Siltum sūknis
Efektivitāte	teh1	%	[26], [27]	100	80	92	82*	257
Īpatnējās CO ₂ emisijas	env1	g/kWh	[28], [29]	202	0	202	0*	42*
Kapitālizmaksas	econ1	EUR		6175	10 740	6440	23 980*	16 243
Apkalpošanas un uzturēšanas izmaksas	econ2	EUR/gadā [30]		0*	605	255	300*	360
Tehnoloģijas kalpošanas laiks	econ3	gadi	[30], [31]	25	20	19	30	20
Specifiskās enerģijas izmaksas	econ4	EUR/kWh	[32]	0,036	0,038	0,04	0*	0,058*

* Autores aprēķini.

Lielākā daļa ievades datu par CS, koksnes granulu katliem, dabaszāzes katliem un siltumsūkņiem tika iegūta, izmantojot Dānijas veikto pētījumu un datubāzi [26] par centralizētās siltumapgādes rentabilitātes salīdzinājumu ar individuālajiem siltumapgādes tehnoloģiskajiem risinājumiem [33].

Pēc datu normalizēšanas svāri tika novērtēti, izmantojot divpakāpju procedūru. Vispirms, lai aprēķinātu ilgtspējas dimensijas apakšindeksus, katrai dimensijai tika piemērots vienāds ietekmes svārs. Pēc tam tika izmantota analītiskās hierarhijas procesa (AHP) metode, lai ņemtu vērā katras dimensijas svāru, kas tika noteikts, kā ievades datus izmantojot ekspertu aptaujas rezultātus.

1.3. Centralizētās siltumapgādes noturība pašvaldībās

Pētījumā tika analizētas 10 dažādas CS sistēmas Latvijā ar atšķirīgām siltuma ražošanas tehnoloģijām un kurināmā veidu, kā arī siltuma cenu izmaiņas laika posmā no 2021. līdz 2023. gadam. Pētījums identificē katras CS sistēmas noturību un salīdzina to spēju atgūties pēc ārējiem vai iekšējiem traucējumiem.

Šī pētījuma izturētspējas novērtējumā CS sistēmām ir novērtēti divi dažādi izturētspējas jēdzieni – adaptīvā izturētspēja un raksturojošā izturētspēja [34]. Adaptīvā noturība tiek izmantota, lai novērtētu, cik ātri CS sistēmas var pielāgoties ekstremālām ārējām izmaiņām. Savukārt raksturojošā noturība parāda, cik CS sistēmas ir gatavas dažādiem ārējiem apstākļiem.

Vispirms tika analizētas siltuma tarifu izmaiņas, veicot CS adaptīvās noturības izvērtējumu. Pēc tam tika veikts CS sistēmu raksturojošās noturības novērtējums, lai pilnībā novērtētu CS sistēmas spēju pielāgot un ietekmēt dažādus ārējos apstākļus. Lai izmērītu raksturojošo noturību, tika izstrādāta, normalizēta un svērtā kritēriju matrica, lai izveidotu CS noturības salikto indeksu.

Izmērītā adaptīvā un raksturojošā noturība tika pārbaudīta, salīdzinot abas vērtības katrai CS sistēmai, izmantojot regresijas analīzi.

1.3.1. Adaptīvā noturība

Šajā pētījumā tika pārbaudīta siltumenerģijas tarifu stabilitāte, lai novērtētu CS sistēmu adaptīvo noturību. Tas ļauj noteikt sistēmas spēju pielāgoties mainīgiem ārējiem apstākļiem, tostarp ekonomiskajiem faktoriem [35]. Energosistēmas vispārējie transformācijas procesi sabrukšanas un reģenerācijas fāzēs izšķir trīs stāvokļus: sākotnējais stāvoklis (S_0); stāvoklis traucējumu darbības ietekmē (SD); stāvoklis, kad sistēma ir atguvusies pēc traucējumiem (SF). Sistēma darbojas stabili, līdz noteiktā brīdī rodas traucējumi (iekšēji vai ārēji), kas izraisa iepriekš stabilās sistēmas darbības traucējumus. Tāda pati pieeja tika izmantota, lai analizētu CS sistēmu siltuma cenas izmaiņas [35]. Pētījuma gaitā 10 Latvijas CS sistēmām tika veikta siltumenerģijas tarifu analīze laika posmā no 2021. līdz 2023. gada. Katras CS sistēmas tehniskie parametri apkopoti 1.3.1. tabulā.

1.3.1. tabula

CS energosistēmu parametri

Nr.	Kurināmā veids,%	Kopējais saražotais siltums, MWh	Siltumtīklu garums, km	Pašvaldībai piederošs / privātīpašums	Uzstādītā siltuma jauda, MW
CS1	Atjaunojamie energoresursi 90 %, GĀZE 10 %	64 116,7	20,6	pašvaldībai piederošs	37,7
CS2	BIO 58 %, GĀZE 42 %	147 709	59	pašvaldībai piederošs	78,6
CS3	GĀZE 99 %, BIO 1 %	28 399	2,3	pašvaldībai piederošs	19,3
CS4	GĀZE 67 %, BIO 33 %	145 930,7	40,2	pašvaldībai piederošs	111,9
CS5	BIO 93 %, FOSILĀ ENERĢIJA (gāze, akmeņogles) 7 %	162 595,7	55,1	pašvaldībai piederošs	122,9
CS6	BIO 100 %	30 879	12,1	privātīpašums	17,7
CS7	BIO 82 %, GĀZE 18 %	36 089,7	18,8	pašvaldībai piederošs	15,9
CS8	BIO 93 %	29 880	16	privātīpašums	25,3
CS9	BIO 100 %	28 593	9,6	pašvaldībai piederošs	22,4
CS10	BIO 100 %	27 622	13	pašvaldībai piederošs	20,2

Siltumenerģijas tarifu analīzes tika veiktas, pamatojoties uz šādiem datiem: siltumenerģijas tarifs; kurināmā izmaksas; kurināmā veidi, kas ietekmē tarifus. Lai noteiktu tarifu stabilitāti un adaptīvās noturības faktoru, tika izmantota piedāvātā Francis-Bekera metode [36].

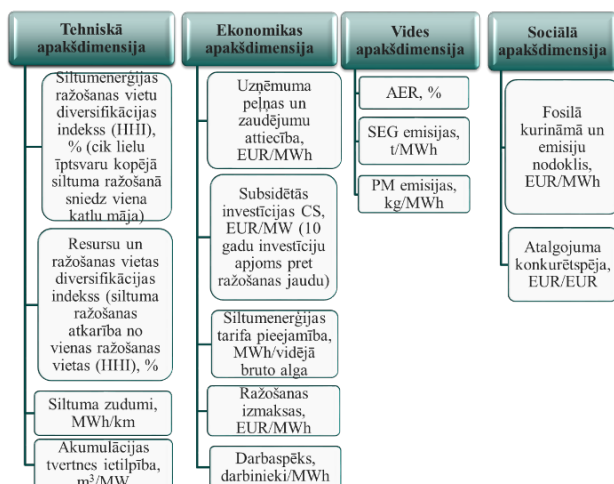
Siltumapgādes sistēmas tarifa noturība tika aprēķināta, nosakot noturības koeficientu ρ_i . Tas novērtē CS atgūšanās ātrumu pēc liela resursu cenu pieauguma SP , sākotnējo siltuma tarifu T_0 , siltuma tarifu tieši pēc resursu cenu pieauguma T_d un veikspējas līmeņus jaunajā stabilajā stāvoklī T_R . Izvēlēta aprēķina metode apvieno energosistēmas darbību raksturojošos faktorus – pašreizējā darbība, traucējumu moments (vai pēkšņas tarifu izmaiņas), atgriešanās stabilā stāvoklī, kur tarifs stabilizējas pēc krīzes, kā arī krīzē pavadītais laiks un periods no krīzes beigām līdz tarifa stabilizācijai.

1.3.2. Raksturojošā noturība

Raksturojošais noturības novērtējums tika veikts, izmantojot datus par tām pašām 10 CS siltumapgādes sistēmām Latvijā ar dažādām siltumenerģijas ražošanas tehnoloģijām, kurināmā veidu un cenu izmaiņām no 2021. līdz 2023. gadam. Lai izvēlētos piemērotākos kritērijus, vispirms tika veikta literatūras analīze par faktoriem, kas ietekmē CS enerģētisko noturību un ilgtspēju [37].

Ietekmējošo indikatoru definēšana

Pēc dažādu CS sistēmas ilgtspējas dimensiju noteikšanas katrai dimensijai tika atlasīti atbilstoši indikatori, pamatojoties uz šādiem kritērijiem: atbilstība; datu pieejamība; datu ticamība [38]. Indikatori, kas ietekmē CS noturību, apkopoti 1.3.1. attēlā.



1.3.1. att. Atlasītie indikatori CS izturētspējas saliktā indeksa izveidei.

Katrai CS noturības dimensijai ir virkne indikatoru, kas raksturo sistēmu. Indikatori CS sistēmas noturību ietekmē vai nu pozitīvi (piemēram, atjaunojamās enerģijas īpatsvaru CS sistēmās), vai arī negatīvi (piemēram, ražošanas izmaksas) [11]. Katras dimensijas rādītāji apkopoti 13.2.–1.3.5. tabulās.

1.3.2. tabula

CS izturētspējas tehnisko dimensiju raksturojošie indikatori

Indikators		Mērv.	Indikatora apraksts un pamatojums	Ietekme uz izturētspēju
t1	Siltuma ražošanas vietu diversifikācijas indekss [39], [40], [41]	DI _{prod} , %	Siltuma ražošana ir atkarīga no vienas vai vairākām CS darbības vietām. Raksturo, cik liela siltuma ražošana ir atkarīga no vienas ražotnes (katlumājas vai koģenerācijas stacijām). Indekss parāda katras ražotnes nominālo siltuma jaudu saskaņā ar Herfindāla–Hiršmana indeksa (HHI) aprēķinu [39].	–

1.3.2. tabulas turpinājums				
t2	Resursu dažādošanas indekss un ražošanas struktūra [39]–[41]	resursi, %	Rādītājs raksturo resursu diversifikāciju kopējā siltuma ražošanā un to, cik daudz tiek saražots no katra siltuma avota [39]. Siltuma ražošana CS uzņēmumā ir atkarīga no viena vai vairāku veidu enerģijas avotiem. Resursu dažādošanas iespēju var noteikt, izmantojot Herfindāla-Hiršmana indeksu [41]. Augstāka HHI rezultāta vērtība liecina par negatīvu ietekmi uz CS noturību.	–
t3	Siltuma zudumi [39], [40], [42]	MWh/km	Raksturo siltuma zudumus attiecībā pret kopējo siltuma trases garumu (km). Siltuma zudumi siltumtīklā ietekmē arī siltuma ražošanas tarifu [39], [40], [42].	–
t4	Siltumenerģijas akumulācijas kapacitāte [43], [44]	m ³ /MW	Akumulācijas tilpums m ³ pret kopējo saražoto siltumu MW. Raksturo, vai CS uzņēmums sistēmas traucējumu gadījumā var piedāvāt iespēju turpināt enerģijas ražošanu, izmantojot uzkrāto enerģiju. CS sistēmai pievieno akumulācijas tvertni, lai nosegtu maksimālās slodzes [43], [44].	+

1.3.3. tabula

CS izturētspējas ekonomiskās dimensijas indikatoru saraksts

	Indikators	Mērv.	Indikatora apraksts un pamatojums	Ietekme uz izturētspēju
Eco1	Uzņēmuma peļņas un zaudējumu attiecība [11]	EUR/MWh	Peļņas zaudējumu rādītāja attiecību daļa ar piegādātā siltuma daudzumu. Rādītājs apraksta CS ražošanas uzņēmuma ekonomisko stabilitāti [11].	+
Eco2	Subsidēti ieguldījumi CS infrastruktūrā	EUR/MW	10 gadu investīciju apjoma attiecība pret ražošanas jaudu. Rādītājs raksturo, cik ir ieguldīts CS infrastruktūras uzlabošanas projektu īstenošanā pēdējos 10 gados.	+
Eco3	Siltumenerģijas tarifa pieejamība [37]	MWh/vidējā alga	Vidējā tarifa attiecība pret novada vidējo apdrošināšanas iemaksu algu vai bruto algu. Siltumenerģijas tarifs parāda, cik tas patērētājiem ir pieejams par pieņemamu cenu [37].	+
Eco4	Ražošanas izmaksas [35]	EUR/MWh	Vidējo ražošanas izmaksu/saražotā siltuma attiecība. Raksturo siltuma ražošanas efektivitāti [35].	–
Eco 5	Darbspēks [35]	Darbinieku skaits/MWh	Strādājošo skaita attiecība pret saražotā siltuma daudzumu parāda, cik reģiona iedzīvotāji ir integrēti enerģijas ražošanā [33].	–

Vides dimensija iekļauta, lai kvantitatīvi novērtētu vides aspektus, kas ietekmē CS sistēmu (1.3.4. tab.).

1.3.4. tabula

CS izturētspējas vides dimensijas indikatoru saraksts

	Indikators	Mērv.	Indikatora apraksts un pamatojums	Ietekme uz izturētspēju
env1	AER īpatsvars [35], [39], [42]	%	Atjaunojamās enerģijas saražotās enerģijas daudzuma attiecība pret kopējo saražoto siltumu [39].	+
env2	CO ₂ emisijas[42], [45]	t/MWh	CO ₂ emisijas uz saražoto MWh siltuma daudzumu parāda CO ₂ emisiju apjomu, kas CS sistēmas rodas siltuma ražošanā. [42], [45].	–
env3	Cieto daļiņu emisijas (PM) [42], [45]	Kg/MWh	PM emisijas uz saražotā siltuma daudzumu MWh parāda PM emisiju apjomu, kas CS sistēmās veidojas rodas siltuma ražošanas procesā [42].	–

Sociālās dimensijas rādītāji apkopoti 1.3.5. tabulā, un tie ļauj novērtēt fosilā kurināmā un emisiju nodokļa ietekmi uz CS noturību, kā arī darbavietu konkurētspēju katrā no pašvaldībām.

1.3.5. tabula

CS izturētspējas sociālās dimensijas rādītāju saraksts

	Indikators	Mērv.	Indikatora apraksts un pamatojums	Ietekme uz izturētspēju
s1	Fosilā kurināmā un emisiju nodoklis [35]	EUR/MWh	Emisiju nodokļa apmērs par piegādāto siltumu (MWh) [35].	–
s2	Algas konkurētspēja [35], [45]	EUR/EUR	Darba vietas konkurētspēja reģionā. Alga CS energosistēmā/alga reģionā [35], [45].	+

Šajā pētījumā katrai no dimensijām tika piemērots vienāds svars (0,25), pēc tam veicot arī jutīguma analīzi ar atšķirīgiem svāriem katrai no dimensijām [35].

1.4. Klimatneitrālas pašvaldības

Pētījumā aplūkoti divi scenāriju kompleksi: 1) individuālajiem siltumapgādes tehnoloģiskajiem risinājumiem; 2) CS siltumapgādes risinājumiem, integrējot atjaunojamās enerģijas avotus. Pētījumā izvērtētas vairākas alternatīvas AER (piemēram, saules kolektoru, biomasas, siltumsūkņu u. c.) īpatsvara palielināšanai centralizētajā siltumapgādē.

Pētījums veikts, balstoties reālos datos par vienas Latvijas pašvaldības siltumenerģijas patēriņu un zinātniskajos datu avotos, lai definētu pieņēmumus un izvērtētu ilgtspējīgākos AER siltumapgādes risinājumus (tehnoloģiju kombinācijas), kas konkrētajā pašvaldībā varētu aizstāt CS un individuālos dabasgāzes risinājumus. Pētījumā tika analizētas sešas konkrētas pašvaldības ēkas, kas ēkas funkcionalitātes un tehnisko parametru ziņā ir atšķirīgas, kā arī nav pieslēgtas CS sistēmai. 1.4.1. tabulā apkopoti pašvaldības ēku tehniskie parametri. Katrs parametrs iegūts, izmantojot pašvaldības sniegto informāciju, datus par elektroenerģiju un siltumenerģiju, kā arī aprēķinus, kas balstīti reālos un zinātniskos pieņēmumos.

1.4.1. tabula

Pašvaldības ēku tehniskie parametri

Parametrs	Vienība	Pamatskola	Pirmsskolas izglītība	Kultūras centrs	Mūzikas & mākslas skol	Atpūtas centrs	Biroju ēka
Tehniskais stāvoklis	–	Atjaunots	–	–	–	–	Iebūvēts 2020. gadā
Apkures platība	m ²	7398	2643	769	258	150	2343
Jumta laukums	m ²	2301	2622	460	212	192	2970
Siltumenerģijas patēriņš	MWh gadā	318	486	97	36	16	215
Elektroenerģijas patēriņš	MWh gadā	237	124	21	5	4	60
Maksimālā siltuma slodze	kW	110	130	35	12	10	57
Kurināmā veids	–	Dabas- gāze	Dabas- gāze	Dabas- gāze	Dabas- gāze	Dabas- gāze	Dabas- gāze

CS sistēma

Lai palielinātu AER īpatsvaru CS, tika noteiktas sešas iespējamās alternatīvas. Šīs alternatīvas iespējams ieviest vienlaikus, īstenojot individuālās siltumapgādes attīstības scenārijus. Tie galvenokārt ietver atsevišķu sistēmu un siltumtīklu apvienošanu.

1. Koksnes šķeldas katls ar dūmgāzes kondensatoru.
2. Koksnes šķeldas katls un *PV* paneļi + siltumsūkņa risinājums.
3. Koksnes šķeldas katli un saules kolektori ar akumulāciju.
4. Granulu katls.
5. Granulu katls un *PV* paneļi + siltumsūkņa risinājums.
6. Granulu katli un saules kolektori ar akumulāciju.

Individuālie siltumapgādes risinājumi

Dabasgāzes siltumapgādes aizstāšanai un AER īpatsvara palielināšanai individuālajā siltumapgādē tika noteiktas četras iespējamās alternatīvas. Šīs alternatīvas iespējams ieviest vienlaikus ar CS attīstības scenāriju īstenošanu. Individuālajā siltumapgādē tika vērtēti četri alternatīvie risinājumi.

1. Granulu katls.
2. Siltumsūkņa risinājums + *PV* paneļi.
3. Saules kolektori ar siltumenerģijas akumulāciju un dabasgāzes katlu.
4. Saules kolektori ar siltumenerģijas akumulāciju un granulu apkures katlu.

Indikatoru izvēle

Nosakot galvenos rādītājus, ir būtiski apsvērt datu pieejamību. CS un individuālo apkures scenāriju novērtēšanai un salīdzināšanai tika izmantoti tādi rādītāji kā kurināmā enerģijas patēriņš (i1), specifiskās *NOx* emisijas (i2), *PM* emisijas (i3), *CO₂* samazināšanas izmaksas (i4), ieguldījumi (i5), *IRR* (i6), ražošanas izmaksas (i7) un izmantoto energoresursu diversifikācijas iespējas (i8) (1.4.2. tab.).

1.4.2. tabula

Indikatori CS un individuālo siltumapgādes tehnoloģiju novērtēšanai

Nr.	Indikators	Vienības	Indikatora apraksts	Ietekme
I1	Kurināmā enerģijas patēriņš	MWh/MWh	Rādītājs ņem vērā tikai patērētās siltumenerģijas un elektroenerģijas patēriņu no tīkla. Kurināmā patēriņš / kopējā enerģijas ražošana MWh katrā no scenārijiem saules kolektoru un <i>PV</i> paneļu daļa efektivitātes aprēķinā nav iekļauta. Scenārijos ar siltumsūkņu risinājumiem tiek ņemts vērā arī elektroenerģijas patēriņš no tīkla.	–
I2	Īpatnējās <i>NOx</i> emisijas	g/MWh	Grams uz saražotās enerģijas daudzumu katrā no scenārijiem	–
I3	Īpatnējās <i>PM</i> emisijas	g/MWh	Norāda, cik <i>PM</i> tiek saražots no katras MWh	–
I4	<i>CO₂</i> samazināšanas izmaksas	EUR/t	Atkarībā no energoresursu veida saražoto <i>CO₂</i> izmešu daudzums ir atšķirīgs. 0,202 (<i>CO₂</i>) emisijas faktors, TCO ₂ /MWh. Kopējās investīcijas pret tonnu <i>CO₂</i> . Raksturo, cik nepieciešams ieguldīt katrā sistēmā.	–
I5	Ieguldījumi	EUR/MWh	Nepieciešamās investīcijas saražotās enerģijas apjomam	–

1.4.2. tabulas turpinājums

16	Iekšējā peļņas norma	%	Iekšējā peļņas norma (<i>IRR</i>) raksturo procentu likmi, ar kādu ieguldījumi konkrētajā projektā ir efektīvi. Ja <i>IRR</i> ir lielāka par diskonta likmi, tad projekts ir ekonomiski izdevīgs sabiedrībai – jo lielāka vērtība, jo projekts efektīvāks.	+
17	Ražošanas izmaksas	EUR MWh	Ražošanas izmaksas ietver alternatīvo kurināmo, elektroenerģiju, pakalpojumu un administratīvās izmaksas.	–
18	Izmantoto energoresursu dažādošanas iespējas (tehnoloģijas neaprobežojas tikai ar viena veida energoresursiem)	skaits	Tiek vērtēts, cik daudz ir iespējams izmantot energoresursus katrā scenārijā, ņemot vērā elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanu. Raksturo enerģijas avotu skaitu katrā scenārijā un iespējas resursu dažādošanai.	+

Visos scenārijos aprēķini veikti, pamatojoties uz vieniem un tiem pašiem ievades datiem (piemēram, siltumenerģijas patēriņš, siltumenerģijas tarifs utt.) un pieņēmumiem (tehnoloģiju efektivitāte, ieguldījumi tehnoloģijās un darbības izmaksas utt.). Pieņēmumi tika definēti, balstoties zinātniskajā literatūrā, tehnoloģiju katalogu rokasgrāmatās, enerģētikas nozares pārstāvju atzinumos un citos avotos. Vispiemērotākais risinājums tika izvēlēts, pamatojoties uz iepriekš minētajiem rādītājiem, tostarp iekšējo peļņas normu (*IRR*), un CO₂ ietaupījumu uz ieguldīto naudas summu. Kā papildu parametrs tika norādīta nepieciešamā investīciju summa, kas raksturo sākotnēji projekta īstenošanai paredzētos ieguldījumus.

Aprēķinātie dati saliktā indeksa izveidei

1.4.3. tabulā apkopoti aprēķinātie dati saliktā indeksa aprēķināšanai katrai alternatīvai. Vērtības, kas vienādas ar 0, apzīmētas ar 0,00001.

Rādītāju normalizēšanai tika izmantota *Min-max* metode. Šajā pētījumā tika izvēlēta vienāda svēruma metode. Tika izvēlēti astoņi rādītāji, kas raksturo AER tehnoloģiju ekonomisko rentabilitāti un vides dimensiju, un katra rādītāja svars bija 0,13. Veicot indikatoru apkopošanu, tika iegūts saliktais indekss pašvaldību ēku siltumapgādes tehnoloģisko risinājumu novērtēšanai, kas tika izmantots turpmākam salīdzinājumam.

1.4.3. tabula

Aprēķini CS un individuālās siltumapgādes salīdzināšanai (pamatojoties uz zinātniskiem pieņēmumiem un datiem)

	CS koksnes šķeldas katls ar dūmgāzu kondensatoru	CS koksnes šķeldas katls un PV paneļi + siltumsūk- nis	CS koksnes šķeldas katls un saules kolektori ar akumulāciju	CS granulu katls	CS granulu katls un PV paneļi + siltumsūk- nis	CS granulu katls un saules kolektori ar akumulāciju	Individ. granulu katls	Individ. siltumsūkņa šķīdums + PV paneļi	Individ. saules kolektori ar akumulāciju un dabasgāzes katlu	Individ. saules kolektori ar akumulāciju un granulu katlu
I1 MWh/MWh	0,99	0,82	0,82	1,18	0,95	0,97	1,11	0,36	0,93	1,04
I2 g/MWh	321	228	238	343	242	254	351	0,000001	41	187
I3 g/MWh	36	28	29	42	30	31	206	0,000001	0,00001	110
I4 EUR/tCO ₂	592	832,8	1385,7	380,8	684,5	1145,8	587,9	19,4	5410,8	957,6
I5 EUR/MWh	0,13	0,19	0,31	0,09	0,15	0,26	94,62	284,48	126,53	193,43
I6 %	34,45	25,74	9,40	7,75	7,29	-11,57	0,01	0,4	-0,1	0,03
I7 EUR/MWh	59,6	52,7	54,2	106,5	94,5	97,9	86,9	291,1	110,6	95,2
I8 resursu skaits	2	3	3	2	3	3	2	3	3	3

1.5. Saliktā indeksa izveide NEKP klimata politikas novērtēšanai

Politikas efektivitātes novērtēšanai tika izveidots saliktais indekss [24], pamatojoties uz dažādu rādītāju piemērošanu, ar kuru palīdzību iespējams novērtēt NEKP aprakstītos politikas pasākumus.

Metodika ietver ar mežsaimniecību un lauksaimniecību saistītu politiku un darbību atlasī, pamatojoties uz:

- 1) rādītāju noteikšanu, lai novērtētu konkrētās politikas;
- 2) ekspertu anketas izstrādi, lai novērtētu katru rādītāju un piešķirtu svarus;
- 3) rādītāju normalizēšanu;
- 4) rādītāju svara noteikšanu;
- 5) rādītāju apkopošanu saliktajā indeksā.

Klimata politikas pasākumu atlase

Klimata politikas novērtēšanā tika izmantots Latvijas NEKP (iepriekšējā NEKP versija) [46]. No Latvijas NEKP 4. pielikuma (2.5.1. tabula) sākotnēji tika izvēlēti visi rīcības virzieni, horizontālie pasākumi, kas saistīti ar lauksaimniecību un mežsaimniecību, ņemot vērā definētos mērķus, kas jāsasniedz līdz 2030. gadam [46]. Pēc tam tika veikta konkrēto pasākumu analīze,

lai novērtētu, vai identificētos pasākumus iespējams analizēt, izmantojot sešus identificētos ietekmes analīzes rādītājus. Turpmākai analīzei tika izvēlēti politikas pasākumi, kuru analīzi ir iespējams veikt, izmantojot sešus iepriekš minētos rādītājus un ekspertu aptauju [20].

Rādītāju noteikšana darbības novērtēšanai

Rādītāji tika atlasīti, ņemot vērā politikas novērtējumā izmantotos rādītājus un atsevišķus rādītājus no labāka regulējuma regulatīvās politikas (*OECD*). Šie rādītāji tiek vērtēti kā viens no efektīvākajiem politikas regulējuma un pārvaldības rādītājiem, ko var izmantot kā instrumentus lēmumu pieņemšanai un politikas analīzei (1.5.1. tabula).

1.5.1. tabula

Rādītāju apraksts

Nr.	Rādītājs	Rādītāja apraksts
i1	Iespējamās negatīvās blakusparādības [119], [158]	Konkrētā pasākuma iespējamās nelabvēlīgās blakusparādības ir izslēgtas (piemēram, netiek radīts netiešs atbalsts fosilā kurināmā izmantošanai lauksaimniecībā, netiek veicināts papildu enerģijas patēriņš) un netiek izmantots papildu resursu patēriņš). Politikas pasākums atbilst klimatneitralitātes un resursu efektīvas izmantošanas principiem un nav pretrunā ar noteiktajiem vides un klimata mērķiem.
i2	Caurspīdīgums [119], [159]	Ir novērsta lobija ietekme (pozitīvs vai negatīvs spiediens).
i3	Objektivitāte [21], [48]	Apzinātās politikas vai rīcības virzienu mērķis ir sasniegt klimata pārmaiņu mērķus saskaņā ar augstākā līmeņa hierarhijā uzskaitītajiem dokumentiem. Politikas pasākums vai darbības virziens ir objektīvi noteikts, un tā izvēle ir pamatota ar definētajiem mērķiem un sasniedzamajiem uzdevumiem.
i4	Specifiskums [21], [48]	Sniegtā informācija par politikas darbību nav vispārīga un ir sīki aprakstīta. Darbības vai darbības virziena apraksts un uzdevums atbilst noteiktajiem mērķiem. Politikas rīcības plānā ir definēti paredzami izmērāmie rezultāti.
i5	Kvalitāte [21], [22], [48]	Sagaidāmie rezultāti ir aprakstīti saprotami un reāli. Politikas pasākums vai konkrēta rīcības līnija nodrošinās definēto mērķu ilgtermiņa ilgtspējību (piemēram, konkrēti SEG emisiju samazinājumi, enerģijas ietaupījumi, pāreja uz AER), vai arī rezultāti neaprobežojas tikai ar vienu pasākumu, bet veicinās pozitīvu ķēdes reakciju un vispārējus mērķus.
i6	Finansējums [21], [48]	Ir noteikti skaidri finansējuma avoti politikām vai konkrētam rīcības virzienam, un finansējums tiek piešķirts atbilstošu darbību īstenošanai. Finansējums paredzēts tādu darbību īstenošanai, kas veicina SEG emisiju samazināšanu pēc noteiktā termiņa sasniedzamajiem mērķiem.

Lai izveidotu salikto indeksu, tika noteikts katras dimensijas svars. Lai novērtētu katras dimensijas svaru, tika sagatavota ekspertu aptauja Tika sagatavotas veidlapas, un ekspertiem tika lūgts novērtēt sešus iepriekš minētos rādītājus pēc to nozīmīguma, kas izteikts procentos. Eksperti aptaujas aizpildīja tā, lai kopējais rādītāju vērtējums būtu 100 %, piemēram, iespējamās blakusparādības – 30 %, caurspīdīgums – 20 %, objektivitāte – 10 %, specifiskums – 5 %, kvalitāte – 20 %, finansējums – 15 %. Saliktais indekss tika aprēķināts kā visu rādītāju kopsumma [17].

1.6. Sistēmas maiņa – bioloģiskās un konvencionālās piensaimniecības salīdzinājums

Pētījuma mērķis ir izvērtēt un salīdzināt mazās un vidējās (1–99 govīs) bioloģiskās piensaimniecības un konvencionālās piensaimniecības ilgtspēju. Kā ievades dati tika izmantoti gan literatūras avoti, statistikas dati un ziņojumi, gan arī tika veikti emisiju aprēķini.

Rādītāji tika sadalīti trīs dimensijās – tehniskajā, ko raksturoja tādi rādītāji kā saražotā piena daudzums unvidējais izslaukums; ekonomisko, kam raksturīgas katras sistēmas izmaksas; un vides, kam raksturīgas emisijas, ko rada govju zarnu fermentācija, kūtsmēsļu apsaimniekošana un emisijas, ko rada ganīšana.

Tehniskā dimensija

T₁ tonnas dienā uz slaucamo govju daudzumu un T₂ vidējais izslaukums, tonnas piena uz govju skaitu. Aprēķini veikti, pamatojoties uz vidējo piena daudzumu bioloģiskajā un konvencionālajā piena lopkopībā.

Vides dimensija

Lai aprēķinātu emisijas konvencionālajā un bioloģiskajā piena lopkopībā, tika izmantoti Centrālās statistikas pārvaldes 2023. gada dati par govju skaitu mazās un vidējās piena lopkopības saimniecībās [49]. Govju skaits statistikas pārvaldes datos tiek iedalīts šādās kategorijās: 1–9; 10–29; 30–49; 50–99.

Emisiju aprēķina pamatā ir klimata pārmaiņu starpvaldību padomes (*IPCC*) 2006. gada metodoloģija. Izmantojot šo metodoloģiju tika aprēķināti šādi rādītāji:

- CH₄ emisijas no zarnu fermentācijas;
- CH₄ emisijas no kūtsmēsļu apsaimniekošanas;

Metāna emisijas tika aprēķinātas, pamatojoties uz kūtsmēsļu apsaimniekošanas sistēmām “dzīvnieku skaits un *IPCC* 2006. gada metodoloģiju [50]. Lai CH₄ emisijas

pārvērstu CO₂ ekv., iegūtās emisijas tika reizinātas ar metāna globālās sasilšanas potenciālu metāna (28) [51].

– **N₂O emisijas no kūtsmēsļu apsaimniekošanas un ganībām** [52].

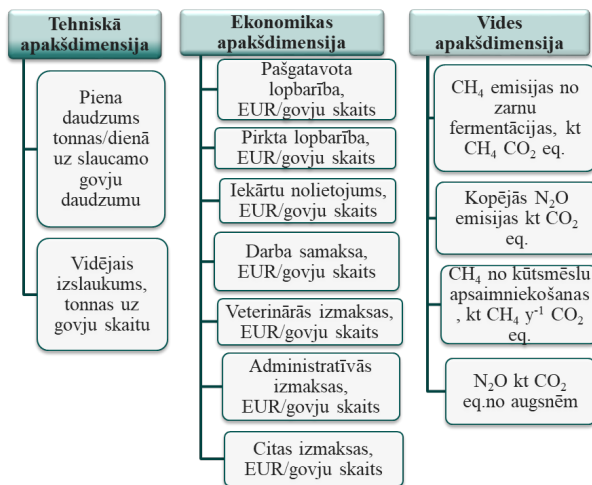
Kopējās N₂O emisijas kt CO₂ eq. – tiešās N₂O emisijas (kg N₂O gadā–1) no kūtsmēsļu apsaimniekošanas aprēķina, izmantojot IPCC 2006. gada pamatnostādņu 20.25. vienādojumu. $N(T)$, $NEX(T)$ un $MS(T, S)$ dati tika iegūti no govju zarnu fermentācijas aprēķiniem.

N₂O kt CO₂ eq. no slaucamo govju nogulsnētās augsnes urīna un mēsliem – bioloģiskajās saimniecībās piena govīs Latvijas apstākļos var būt ganībās līdz 160 dienām gadā. Arī mazās un vidējās konvencionālajās saimniecībās govīs daļu laika var atrasties ganībās. FPRP ir ikgadējais N daudzums, ko ganību, ganāmpulka un aploku augsnēs nogulsnē ganāmpulki, šajā gadījumā slaucamās govīs. FPRP aprēķina, izmantojot IPCC 2006. gada pamatnostādņu 11.5. vienādojumu [50].

Ekonomiskās dimensijas ilgtspējības novērtējums

Lai iegūtu vērtības ekonomiskajā dimensijā, govju skaits tika reizināts ar izmaksām bioloģiskajā un konvencionālajā piena lopkopībā.

Visi izmantotie indikatori redzami 1.5.1. attēlā.



1.5.1. att. Bioloģiskās un konvencionālās piena lopkopības salīdzināšanai izmantotie indikatori.

1.7. Sistēmas maiņa – kūdrāju atjaunošanas stratēģiju novērtējums

Šajā pētījumā pirmais solis bija izvēlēties kūdrāju atjaunošanas stratēģijas un alternatīvas kūdras izmantošanai, balstoties zinātniskajā literatūrā, ziņojumos un vietējos kūdrājas projektos pieejamos ekonomiskajos un vides datos. Piemēroti ekonomiskie rādītāji tika iedalīti divās grupās: (1) nepieciešamās izmaksas; (2) ienākumi un iespējamais ieguvums no dotācijām un subsīdijām utt. Lai normalizētu datus, tika izmantota *Min-max* normalizācijas metode. Katram rādītājam tika piemērots vienāds svars, kas tika noteikts, pamatojoties uz izmantoto indikatoru skaitu.

Kūdras apsaimniekošanas stratēģijas iespējams iedalīt grupās: (1) atjaunošanas stratēģijas, kūdras biomasas izmantošana produktos ar augstu pievienoto vērtību; 2) cita zemes izmantošana – piena lopkopība kūdras augsnēs; (3) kūdras ieguve (1.6.7. tab.).

1.7.1. tabula

Izvēlētās kūdras izmantošanas stratēģijas

1. Atjaunošanas stratēģijas
Kūdras atjaunošana
Kūdrāju apmežošana
Daudzgadīgie kultivētie zālāji
Paludikultūra – (1) vilkvālītes; (2) sfagni
Ūdenskrātuve
Dzērveņu audzēšana
Melleņu audzēšana
2. Kūdras biomasas izmantošana produktā ar augstu pievienoto vērtību
Siltumizolācijas plātņu ražošana no katasītes uz paludikulūru bāzes [1]
3. Cita zemes izmantojuma piena lopkopība kūdras augsnēs
4. Kūdras ieguve

Lai novērtētu kūdras izmantošanas stratēģijas, tika veikta indikatoru atlase, vērtējot gan ekonomiskos aspektus, gan radītās emisijas katrā no stratēģijām.

1.7.1. Katras stratēģijas ekonomiskie un vides indikatori

1.7.1. tabula

Kūdras stratēģijas izvērtēšanai izvēlētie ekonomiskie un emisiju rādītāji

Nr.	Indikators	Mērv.	Indikatora apraksts	+/-
I1	Kopējās ieguldījumu izmaksas stratēģijas īstenošanai	EUR/ha	Rādītājs ņem vērā kūdras atjaunošanas plānošanu, katras alternatīvas ieviešanas izmaksas un ekspluatācijas izmaksas.	-
I2	Uzturēšanas izmaksas	EUR/ha	Uzturēšanas izmaksas, tostarp nolietojšanās un monitoringa izmaksas	-
I3	Ienākumi	EUR/ha	Gada peļņa (tostarp produktu ekonomiskā vērtība), kopējie ieņēmumi, EUR/tonnas, subsīdijas un dotācijas konkrētai stratēģijai.	+
I4	Potenciālie ienākumi no ekosistēmu pakalpojumiem	gadā	Potenciālie ienākumi no ekosistēmu pakalpojumiem. Aprēķinos, kas balstīti projektu dzīves atjaunošanas optimizācijas modelī [53], papildus ņemta vērā inflācija un pieņēmumi.	+
I5	CO ₂	ha ⁻¹ /gadā	Oglekļa dioksīda emisijas	-
I6	CH ₄	ha ⁻¹ /gadā	Metāna emisijas	-
I7	Kopējās SEG emisijas bagātīgā organiskā augsnē	CO ₂ – eq ha ⁻¹ gadā ⁻¹	Kopējās SEG emisijas	-

1.7.2. tabulā parādīti aprēķinātie dati, kas balstīti zinātniskajā literatūrā, ziņojumos un pieņēmumos par katru kūdras stratēģiju saliktā indeksa veidošanai.

1.7.2. tabula

Aprēķinātie ekonomiskie dati par katru kūdras audzēšanas stratēģiju

	Appludināšana / atkārtota mitrināšana	Kūdras izstrāde	Siltumizolācij as plātņu ražošana no vilkvāļītes	Apmežo šana	Daudzgadīg ie kultivētie zālāji	Pienkopī ba	Paludikultūr raar vilkvāļīti	Paludikultūra ar sfagnu kultivēšanu	Melleņu audzēšana	Ūdens rezervuārs	Dzērveņu audzēšana
I1 Kopējās investīcijas, EUR/ha	5171 [53]	11 868 [54]	3400 [55]	14 368 [53]	6087 [42]	10 570 [55]	7300 [55]	23 300 [55]	96 264 [53]	7265 [53]	29 479 [53]
I2 Potenciālie ienākumi no ekosistēmu pakalpojumiem, EUR/ha/gadā	49 308 [53]	665 aprēķins [54]	43 825* [53]	45 908 [53]	899.6 [53]	0.001	43 825 pieņēmums [53]	43 825.3 pieņēmums, [53]	5696 [53]	35 967 [53]	14 693 [53]
I3 Uzturēšanas izmaksas, EUR/ha	10 338 (ieskaitot izmaksas par monitoring u) [56]	425 [54]	1400 [55]	157 [53]	261,8 [53]	4035 [55]	3170 [55]	5175 [55]	4215. [53]	0,001	1597 [53]

1.7.2. tabulas turpinājums

4 Ienākumi, EUR/ha	1442 apreķini, kas balstīti vidējos maksājumu os laikā un oglekļa kredītā [57]	3914,9 [54]	7966,7 [55]	2400 [58]	497,5 [53]	6896,7 [55]	11891,7 [55]	7854 [53]	0,001 [53]	1570,8 [53]
I5 CO ₂	2 pamatojoti es uz [57]	7 [57]		1 [57]	12 [57]			5 [173]		4 [57]
I6 CH ₄	7,2 pamatojoti es uz [57]	1,4 [57]		0,3 [57]	1,3 [57]			0,9 [46]		0,2 [57]
I7 Kopējās SEG emisijas bagātīgā organiskā augsnē CO ₂ -eq ha ⁻¹ yr ⁻¹	9,9 [57]	11,2 [57]	3,9 [59]	3,7 [57]	19,9 [57]	20,9 [34]	2,6 [57]	2,6 [57]	11,8 [57]	9,3 [57]

Saliktajā indeksā nevar būt negatīvas vērtības – tukša vieta nozīmē, ka dati nav pieejami.

Saliktajā indeksā nedrīkst būt negatīvas vērtības vai 0. Vērtības, kas vienādas ar 0, apzīmē ar 0,001.

Lai izmantotu literatūrā atrastos aprēķinātos datus, tie vispirms ir jānormalizē. Katram rādītājam tika piešķirta vienāda nozīme, pieņemot, ka visi izvēlētie ekonomiskie un vides rādītāji ir vienlīdz svarīgi. Pēdējais solis bija indikatoru apkopošana saliktajā indeksā.

1.8. AER potenciāla novērtējums

Pētījumā tika salīdzināts AER ilgtspējīgas attīstības potenciāls starp galvenajām tautsaimniecības nozarēm – rūpniecību, pakalpojumu sektoru, lauksaimniecību, mājsaimniecībām un transportu. Analīzes mērķis bija noskaidrot, kuras AER ir perspektīvākās un ilgtspējīgākās katrā no sektoriem un kas to nosaka. AER analīzē ietilpa saules, vēja, hidroenerģijas, biomasas un ģeotermālās enerģijas resursi, kuru potenciāls tika analizēts katrā no sektoriem. Šā pētījuma konceptuālais un metodiskais ietvars parādīts 1.7.1. attēlā.

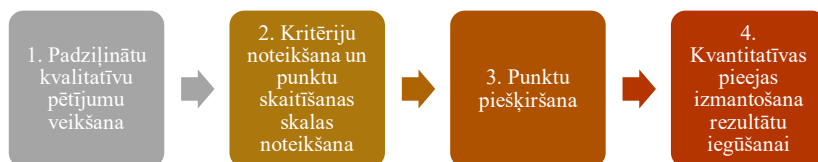
Modelis apvieno gan kvalitatīvas, gan kvantitatīvas pētniecības metodes, lai sniegtu padziļinātu novērtējumu par galvenajiem faktoriem, kas ietekmē katra AER avota konkurētspēju un ilgtspējīgu attīstību katrā no sektoriem.

Metodikas apraksts

Metodika ietver: (1) padziļinātu kvalitatīvu pētījumu veikšanu; (2) kritēriju noteikšanu un punktu skalas noteikšanu (1–5); (3) punktu piešķiršanu katram AER katrā sektorā; (4) punktu skaita normalizēšanu; (5) svaru piešķiršanu; (6) punktu apkopojumu; (7) galīgā indeksa punktu skaitu; (8) AER ranžēšanu.

Kvalitatīvās metodikas apraksts

Vispirms tika veikta visaptveroša kvalitatīvā analīze. Lai veiktu analīzi, tika noteikti trīs būtiski kritēriji un aspekti, kas tika pārbaudīti atsevišķi katram resursam. Vispirms tika veikts kvalitatīvs novērtējums, pamatojoties uz visaptverošu literatūras pārskatu par AER izmantošanu katrā no apskatītajiem sektoriem. Kopumā kvalitatīvajam vērtējumam tika izmantoti ~ 100 informācijas avoti (1.8.1.attēls).



1.8.1. att. Kvalitatīvās analīzes veikšanas soļi hronoloģiskā secībā.

Novērtēšanas punktu skalas noteikšana un punktu piešķiršana

1.8.1. tabulā sniegts novērtēšanas kritēriju pārskats un novērtēšanas skalas apraksts. Balstoties secinājumos, kas definēti, ņemot vērā kvalitatīvās analīzes rezultātus, katram AER veidam (saules, vēja, hidroenerģija, biomasas un ģeotermālā enerģija) katrā no sektoriem (rūpniecībā, pakalpojumu sektorā, lauksaimniecībā, mājāsaimniecībās un transportā) saskaņā ar 1.8.2. tabulu tika piešķirti punkti.

Vērtēšanas skalas novērtēšanas un apraksta kritēriji

Kritēriji	Izpētes jautājums	Novērtēšanas skala
Attīstība	Cik strauja ir konkrēta AER veida tehnoloģiskā attīstība?	5 – straujākā attīstība
		4 – strauja attīstība, ir ierobežojoši faktori
		3 – ierobežota attīstība
		2 – ļoti lēna attīstība
		1 – nav novērota attīstība
Priekšrocības	Kurai no AER ir vislielākās izmantošanas priekšrocības?	5 – lielākās priekšrocības
		4 – sekunžu lielākās priekšrocības
		3 – mazāk priekšrocību, ir būtiski ierobežojumi
		2 – ir daudz ierobežojumu
		1 – nav novērotas būtiskas priekšrocības
Ierobežojumi	Cik būtiski ir konkrēta AER veida ierobežojumi un ierobežojumi nozarē?	5 – gandrīz netiek novēroti ierobežojoši faktori vai būtiski ierobežojumi
		4 – nelieli ierobežojumi, kas ietekmē konkrēto AER izmantošanu
		3 – ir daži trūkumi, kas ierobežo konkrēto AER izmantošanu
		2 – vairāki trūkumi ierobežo avota izmantošanu
		1 – daudzi ierobežojumi kavē RESS izmantošanu

1.8.2. tabulā parādīts veiktais novērtējums; katrs resurss katrā sektorā tika novērtēts skalā no 1 līdz 5. Novērtējuma pamatā bija 1.8.1. tabulā izstrādātā punktu skaitīšanas sistēma. Šis rangs turpmāk tika izmantots, lai veiktu kvantitatīvo analīzi un izveidotu salikto indeksu par katru AER.

Apkopotie rezultāti, pamatojoties uz literatūras novērtējumu un noteiktajiem kritērijiem

Sektors					
Rūpniecības nozare	Saules enerģija	Vēja enerģija	Hidroenerģija	Biomasa	Ģeotermālā enerģija
Attīstība	5,0	3,5	3,5	4,0	3,5
Priekšrocības	4,5	3,5	3,0	4,0	3,5
Ierobežojumi	3,0	3,0	3,5	3,5	4,0
Kopā	12,5	10,0	10,0	11,5	11,0
Pakalpojumu nozare					
Attīstība	5,0	3,0	3,0	3,5	4,0
Priekšrocības	4,5	3,0	3,0	3,5	4,0
Ierobežojumi	4,0	3,0	3,0	3,5	4,0
Kopā	13,5	9,0	9,0	10,5	12,0
Lauksaimniecības nozare					
Attīstība	4,0	3,0	3,0	5,0	3,0
Priekšrocības	5,0	3,5	3,0	5,0	3,0

1.8.2. tabulas turpinājums

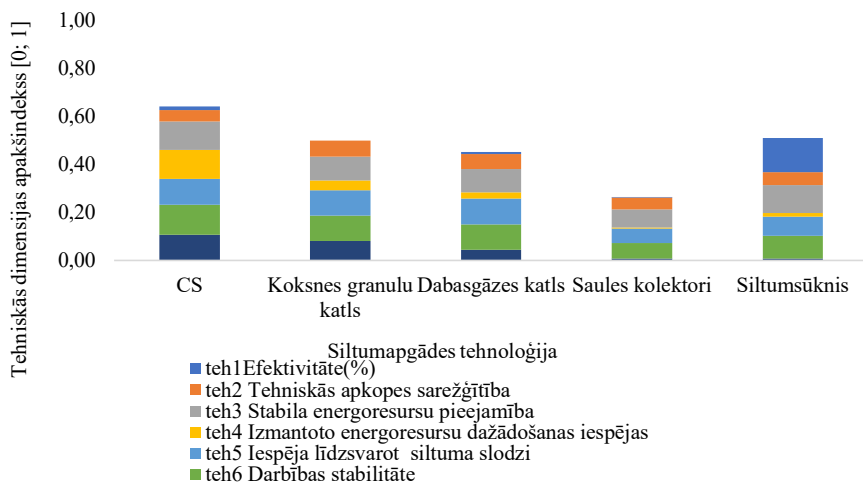
Ierobežojumi	5,0	3,0	3,0	5,0	4,0
Kopā	14,0	9,5	9,0	15,0	10,0
Mājsaimniecību sektors					
Attīstība	4,0	3,5	4,0	4,5	4,0
Priekšrocības	4,5	4,0	3,5	3,5	4,0
Ierobežojumi	4,0	3,5	3,5	3,5	3,0
Kopā	12,5	11,0	11,0	11,5	11,0
Transporta nozare					
Attīstība	4,5	4,5	3,5	5,0	3,0
Priekšrocības	4,0	4,5	3,5	5,0	3,0
Ierobežojumi	5,0	3,5	3,0	5,0	3,0
Kopā	13,5	12,5	10,0	15,0	9,0

2. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

2.1. CS un individuālo siltumapgādes tehnoloģiju novērtējums

Tehniskās dimensijas apakšindekss

Augstākā vērtība tehniskās dimensijas apakšindeksā tika novērtēta CS (0,64), kam sekoja siltumsūkņu tehnoloģijas (0,51), koksnes granulu katli (0,50) un saules kolektori (0,26), kā redzams 2.1.1. attēlā. Absolūtais līderis tehniskajā dimensijā bija centralizētā siltumapgāde, kas sasniedza visaugstākās vērtības tādos rādītājos kā, piemēram, izmantoto energoresursu dažādošanas iespējas (teh4), darbības stabilitāte (teh6) un zemas kvalitātes energoresursu izmantošanas iespējas (teh6).

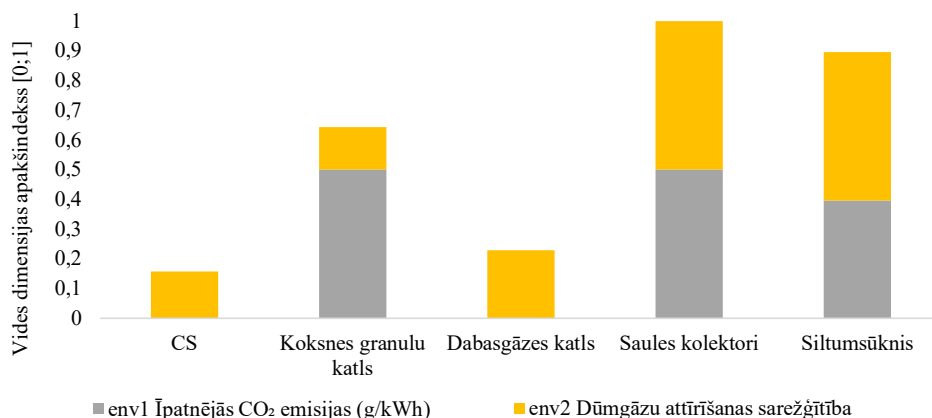


2.1.1. att. Tehniskās dimensijas apakšindeksa vērtības [27].

Siltumsūkņi sasniedza otro augstāko vērtējumu tehniskajā dimensijā to augstākās efektivitātes koeficienta un stabilas energoresursu pieejamības dēļ (teh3). Salīdzinot ar centralizēto siltumapgādi, koksnes granulu katliem un dabāsgāzes katliem, siltumsūkņi uzrādīja nedaudz zemākas tehniskās veiktspējas vērtības darbības stabilitātei (teh6). Salīdzinot ar centralizētās siltumapgādes un koksnes granulu katliem, siltumsūkņi uzrādīja mazākas iespējas izmantoto energoresursu diversifikācijai (teh4) un zemāku vērtējumu iespējās sabalansēt saražoto siltuma slodzi (teh5).

Vides dimensijas apakšindekss

Visaugstākās vides dimensijas apakšindeksa vērtības sasniedza atjaunojamās enerģijas tehnoloģijas: saules kolektori ar rezultātu 1,0, siltumsūkņi – 0,70, koksnes granulu katli – 0,64. Dabasgāzes katli (0,23) un CS (0,16) sasniedza zemāko ilgtspējas rādītāju vides dimensijā, ko noteica tādi rādītāji kā dūmgāzu attīrīšanas sarežģītības pakāpe un īpatnējās CO₂ emisijas. Tā kā siltumsūkņu darbība patērē ievērojamu daudzumu elektroenerģijas, CO₂ emisijas koeficientu piemēro elektroenerģijai, kas patērēta no tīkliem, tādējādi padarot siltumsūkņus mazāk konkurētspējīgus, salīdzinot ar saules kolektoriem tieši vides aspektā (2.1.2. att.).

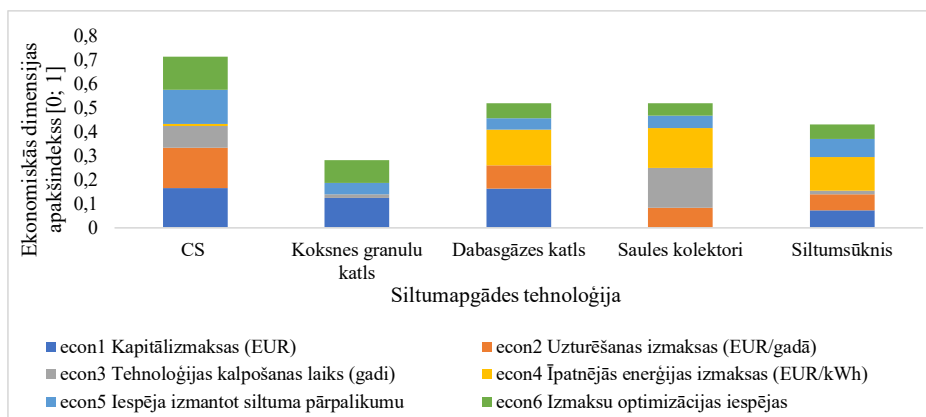


2.1.2. att. Vides dimensijas apakšindeksa vērtības [27].

Ekonomikas dimensijas apakšindekss

CS sasniedza augstāko ekonomiskās dimensijas apakšindeksa vērtību (0,77), kā redzams 2.1.3. attēlā. Saules kolektori sasniedza otro augstāko ekonomiskās dimensijas apakšindeksa punktu skaitu (0,52), kam sekoja dabasgāzes katli (0,42) un koksnes granulu katli (0,34). Savukārt siltumsūkņi šajā apakšindeksā sasniedza zemāko vērtējumu (0,29).

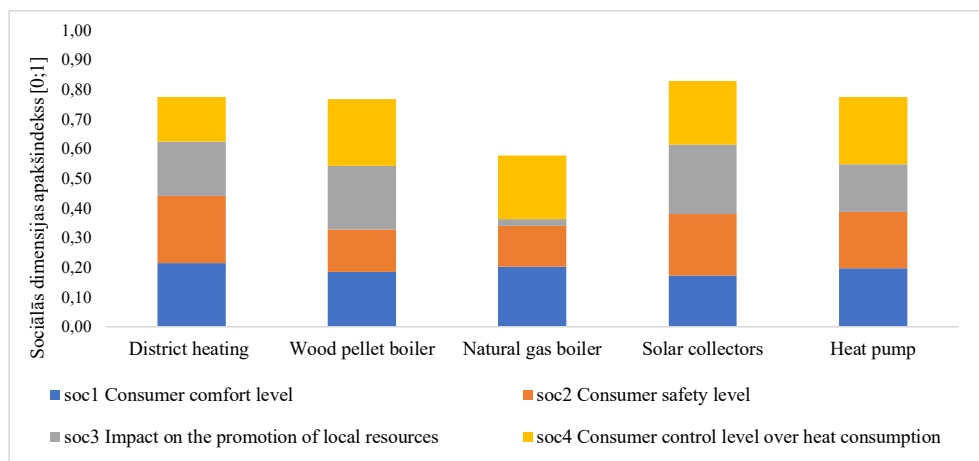
Salīdzinot ar citām tehnoloģijām, koksnes granulu katli uzrādīja augstākās apkalpošanas un uzturēšanas izmaksas (econ2) un specifiskās enerģijas izmaksas (econ4), kas negatīvi ietekmēja vispārējo ekonomiskās dimensijas apakšindeksa vērtējumu. Arī īsāks tehnoloģijas kalpošanas laiks (econ3) un mazākas iespējas izmantot siltuma pārpalikumus (econ5) ietekmēja koksnes granulu katlu kopējo ekonomiskās dimensijas vērtējumu, kopumā to ierindojošot ekonomiskās dimensijas apakšindeksa pēdējā vietā.



2.1.3. att. Ekonomikas dimensijas apakšindekss.

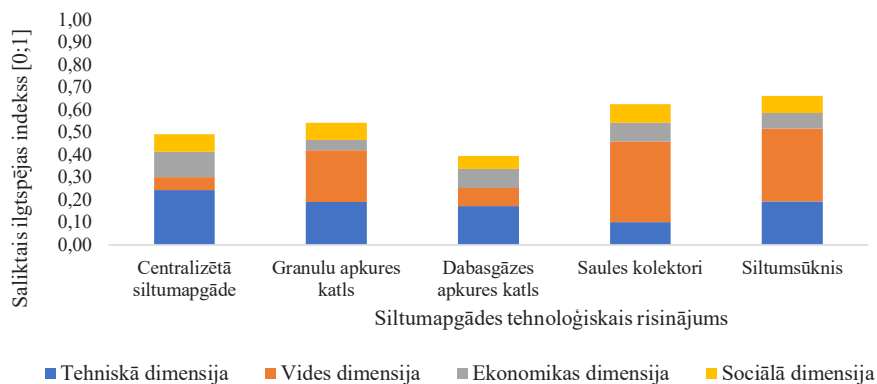
Sociālās dimensijas apakšindekss

Saules kolektori sasniedza augstāko vērtējumu ilgtspējas sociālajā dimensijā (0,8). Tikpat augstus rezultātus sasniedza trīs tehnoloģijas – CS, koksnes granulu katli un siltumsūkņi (0,77). Dabaszgāzes katli ieguva zemāko sociālās dimensijas vērtējumu šajā apakšindeksā (0,58). CS sasniedza patērētāju komforta līmeņa (soc1) un patērētāju drošības līmeņa (soc2) augstākās rādītāju vērtības, ko var izskaidrot ar to, ka centralizētajā siltumapgādē operators nodrošina patērētājiem noteiktu komforta un drošības līmeni, bet tehnoloģijām ar individuāliem apkures risinājumiem visa atbildība gulstas uz patērētāju. Savukārt patērētāju kontroles līmeņa rādītāja vērtība attiecībā uz siltuma patēriņu (soc4) kā zemākā tika novērtēta CS (2.1.4. att.).



2.1.4. att. Sociālās dimensijas apakšindekss [27].

Augstākais vērtējums saliktajā indeksā tika novērtēts individuālajām siltumapgādes tehnoloģijām, kas izmanto atjaunojamo enerģiju (AER tehnoloģijas): siltumsūkņi (0,64); saules kolektori (0,63); koksnes granulu katli (0,55). Nedaudz zemāks ilgtspējas indekss tika novērtēts centralizētajai siltumapgādei (0,50). Viszemāko ilgtspējas rādītāju ieguva dabasgāzes katli (0,38), kas izmanto fosilo kurināmo kā galveno enerģijas avotu pretstatā zema oglekļa satura pārejas stratēģijai [19] (2.1.5. att.).



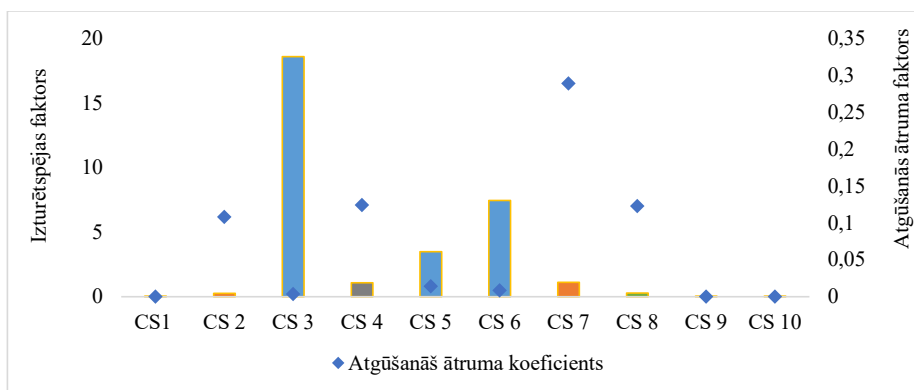
2.1.5. att. Saliktais indekss siltumapgādes tehnoloģiskajiem risinājumiem.

2.2. Adaptīvās un raksturojošās siltumnoturības novērtējums

2.2.1. attēlā redzams aprēķinātais ātruma atgūšanas koeficients un siltuma tarifu noturības koeficients 10 dažādās CS energosistēmās. Lielākais ātruma atgūšanas koeficients bija CS 7 saistībā ar ilgo siltuma tarifu stabilizācijas atgūšanas periodu. Zemākais atgūšanās ātruma faktors ir CS sistēmām, kurām ir mazāks kopējais pārtraukumu laiks no siltumenerģijas tarifu paaugstināšanas līdz atgriešanās brīdim stabilā stāvoklī.

Augstākais aprēķinātais noturības koeficients, kas šajā pētījumā liecināja par zemāku noturību pret ārējo cenu izmaiņām, bija CS 3, kas bija pakļauta lielākam siltumenerģijas tarifu pieaugumam. Dažādu CS energosistēmu siltumenerģijas cenu analīžu rezultāti liecina, ka no gāzes atkarīgām sistēmām pēc reģenerācijas (T_R) ir augstākas siltumenerģijas cenas un pēc sākotnējiem pārtraukumiem (T_d) – ievērojami augstākas, salīdzinot ar energosistēmām, kuru pamatā ir biomasas vai citi atjaunojamie energoresursi.

Energosistēmas, kuru pamatā ir gāze, var būt neaizsargātākas pret enerģijas cenu svārstībām, salīdzinot ar energosistēmām, kuru pamatā ir biomasas. Rezultāti liecina, ka CS energosistēmām, kuru pamatā ir atjaunojamā enerģija, ir zemākas sākotnējās sistēmas siltuma cenas (T_o), salīdzinot ar CS sistēmām, kuru pamatā ir gāze. Siltuma cena pēc pārtraukuma liecina, ka uz gāzes apkuri balstītas sistēmas ir neaizsargātākas pret siltuma cenu svārstībām. Saskaņā ar rezultātiem siltuma cena pēc reģenerācijas kļūst augstāka, salīdzinot ar sākotnējo siltuma cenu pirms pārtraukuma. Salīdzinājumam – siltuma cenas biomasas un saules kolektoru CS energosistēmām nepiedzīvoja tik lielu siltuma cenu kāpumu kā uz gāzes apkuri balstītas sistēmas.



2.2.1. att. Siltuma cenas noturības koeficients.

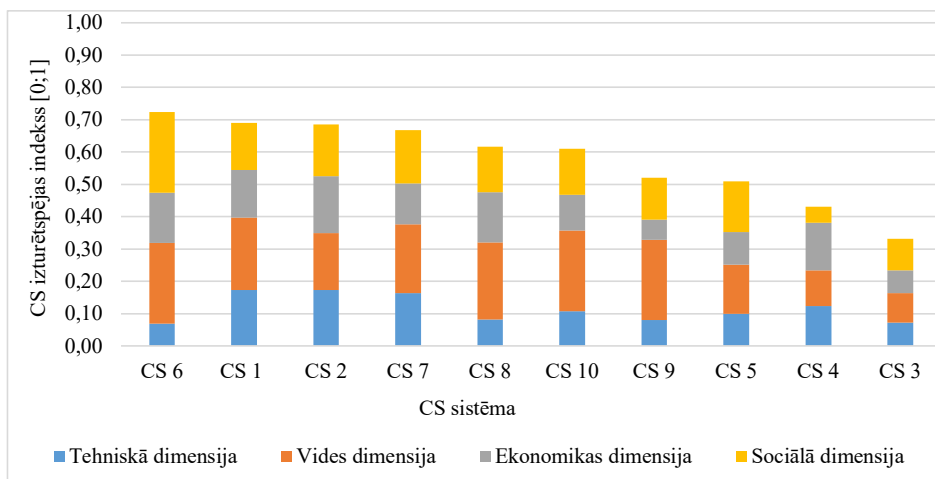
Raksturojošās noturības novērtējums

Lai novērtētu CS sistēmu raksturojošo noturību, tika aprēķināti dažādi rādītāji saskaņā ar iepriekš metodikā aprakstīto. Tehniskajā dimensijā augstākais punktu skaits CS noturības saliktajā indeksā bija CS 1 un CS 2, kas ir liela izmēra CS energosistēmas Latvijā. CS 1 (atjaunojamie energoresursi – biomasas un saules kolektori) 90 % bija visaugstākais rezultāts saliktajā indeksā, jo starp aplūkotajām sistēmām bija siltuma akumulācija un liekā siltuma ražošanas jauda. Siltuma akumulācija nodrošina prognozējamākas sistēmas reakcijas neparedzētu traucējumu gadījumā un veiksmīgāku spēju atgriezties sistēmas sākotnējā stāvoklī. Arī CS 1 sistēmai ir zemāka siltuma zudumu vērtība. Tehniskajā dimensijā zemākais vērtējums CS izturētspējas saliktajā indeksā bija CS 6, kas ir atkarīga no viena enerģijas avota. Rezultāti rāda, ka siltuma zudumi cauruļvados negatīvi ietekmēja noturību; lielākie siltuma zudumi bija CS 3 (gāze 99 %).

Ekonomiskajā dimensijā visaugstākais vērtējums noturības indeksā bija CS 1 un CS 2, kas ir liela izmēra CS energosistēmas Latvijā. Uzņēmuma peļņas un zaudējumu likme ļoti ietekmē noturības indeksu ekonomiskajā dimensijā. CS 2 novērtēta vislielākā peļņa no visām analizētajām CS sistēmām. Zemākais rādītājs noturības indeksā bija CS 9, kas ir biomasas sistēma, kurā trūkst vēsturisku liela apjoma subsidētu ieguldījumu projektu CS infrastruktūras uzlabošanai.

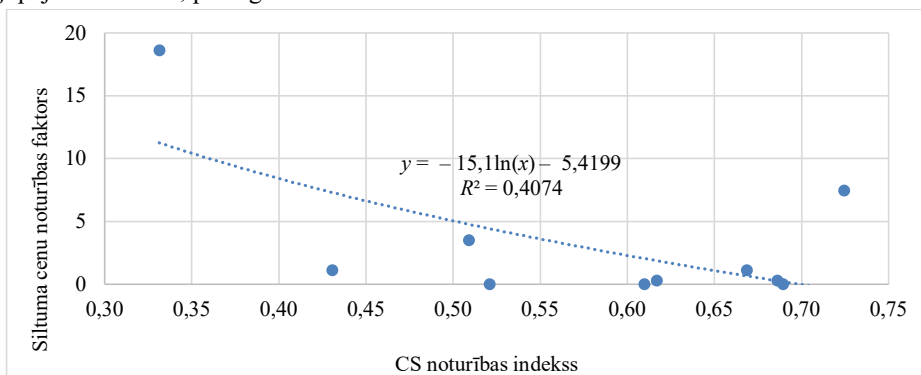
Kopējais CS noturības saliktais indekss dažādām CS energosistēmām svārstās no 0,72 CS 6, kas ir pilnībā uz biomasu bāzēta CS sistēma, līdz CS3: gāze 99 %, biomasas 1 % ar kopējo vērtējumu 0,33. Rezultāti liecina, ka augstākais CS noturības saliktais indekss bija energosistēmām, kuru pamatā ir biomasas un biomasas un gāzes sajaukums. Augstākais vērtējums CS noturības saliktajā indeksā bija CS sistēmai CS 6, kuras pamatā ir biomasas, ar lielāko punktu skaitu vides dimensijā starp aplūkotajām sistēmām, kā arī lielāko punktu skaitu arī sociālajā dimensijā, pamatojoties uz S1 un S2 kritēriju. Otrs augstākais punktu skaits bija sistēmai, kuras pamatā ir kurināmā kombinācija, saules kolektori, biomasas un 10 % gāzes kopējā īpatsvarā.

Viszemākais rezultāts bija CS 3, kam ir vislielākā negatīvā ietekme uz CO₂ emisijām un zems atjaunojamo resursu īpatsvars, kā arī starp CS sistēmām zemākie rādītāji ekonomiskajā dimensijā. Šie rezultāti atspēko ideju, ka sistēma, kuras pamatā ir atjaunojamie resursi, ir dārgāka un ekonomiski mazāk dzīvotspējīga, salīdzinot ar sistēmām, kurās izmanto fosilo kurināmo (2.2.2. att.).



2.2.2. att. Dažādu CS energosistēmu CS noturības indeksa salīdzinājums.

Lai izpētītu sakarību starp aprēķinātajiem adaptīvās un raksturojošās noturības rādītājiem, tika veikta lineārās regresijas analīze, izmantojot salikto CS noturības salikto indeksu (uz x ass) un siltuma tarifu noturības koeficientu (uz y ass) (2.2.3. att.). Lai gan lineārā attiecība ir mērena, tendence liecina, ka CS sistēmām ar augstāku punktu skaitu CS noturībai mēdz būt zemāki siltuma cenu noturības koeficienti, kas liecina par augstāku sistēmas adaptīvo noturību. Šīs sistēmas parāda lielāku cenu stabilitāti traucējumu gadījumā un cenu noturības faktora lejupejošu tendenci, pieaugot CS noturības indeksam.



2.2.3. att. Sakarība starp CS noturības indeksu un siltuma cenas noturības koeficientu.

Tas nozīmē, ka sistēmas ar augstāku vērtējumu CS indeksā ir izturīgākas pret sistēmas traucējumiem nekā sistēmas ar zemākiem noturības indeksa rādītājiem.

Rezultāti liecina, ka siltumenerģijas tarifa pieejamība ir visaugstākā sistēmām, kuru pamatā ir fosilās enerģijas izmantošana, piemēram, CS 3 un CS 4, kas var būt nozīmīgs faktors, jo īpaši nelielām pašvaldībām [60]. Noturības indeksa zemākais vērtējums bija CS 9, un tas bija biomasā balstītai sistēmai bez vēsturiskiem liela apjoma subsidētiem ieguldījumiem. Saskaņā ar [63] ieguldījumi CS infrastruktūras projektos var uzlabot CS tīklu noturību [61]. Augstākais vērtējums CS noturības saliktajā indeksā bija energosistēmām, kuru pamatā ir biomasas un biomasas un gāzes sajaukums.

Šā pētījuma rezultāti apstiprina, ka sistēmas, kurās izmanto atjaunojamus energoresursus, ir izturīgākas pret ekstremāliem notikumiem un enerģētiskām krīzēm, ko apliecina arī literatūra, salīdzinot ar fosilajiem energoresursiem. Šādas sistēmas ir arī izturīgākas pret cenu satricinājumiem. [62].

Novērtēšana, kuras pamatā ir kvantitatīvie rādītāji, var būt līdzeklis veiksmīgai lēmumu pieņemšanai, izvēloties ilgtspējīgāko un noturīgāko risinājumu turpmākai attīstībai [35].

2.3. Siltumapgādes tehnoloģisko risinājumu novērtējums pašvaldības ēkās

Saliktā indeksa rezultāti uzrāda augstāko punktu skaitu trim CS alternatīvām – CS koksnes šķeldas katlam un *PV* paneļiem kombinācijā ar siltumsūkni (0,79); CS koksnes šķeldas katls un saules kolektori ar akumulāciju (0,73); CS granulu katls un *PV* paneļi kombinācijā ar siltumsūkni (0,69). Visi trīs iepriekš minētie risinājumi apvieno vai nu šķeldas katlus, vai koksnes granulu katlus kombinācijā ar siltumsūkņiem un/vai saules paneļiem, vai saules kolektoriem. Divi CS alternatīvie risinājumi ietver gaisa tipa siltumsūkņus, divi – *PV* paneļus. Visām trim alternatīvām ir zemākas ražošanas izmaksas un ieguldījumi, salīdzinot ar pārējām alternatīvām, un ir iespējams dažādot arī enerģijas avotus.

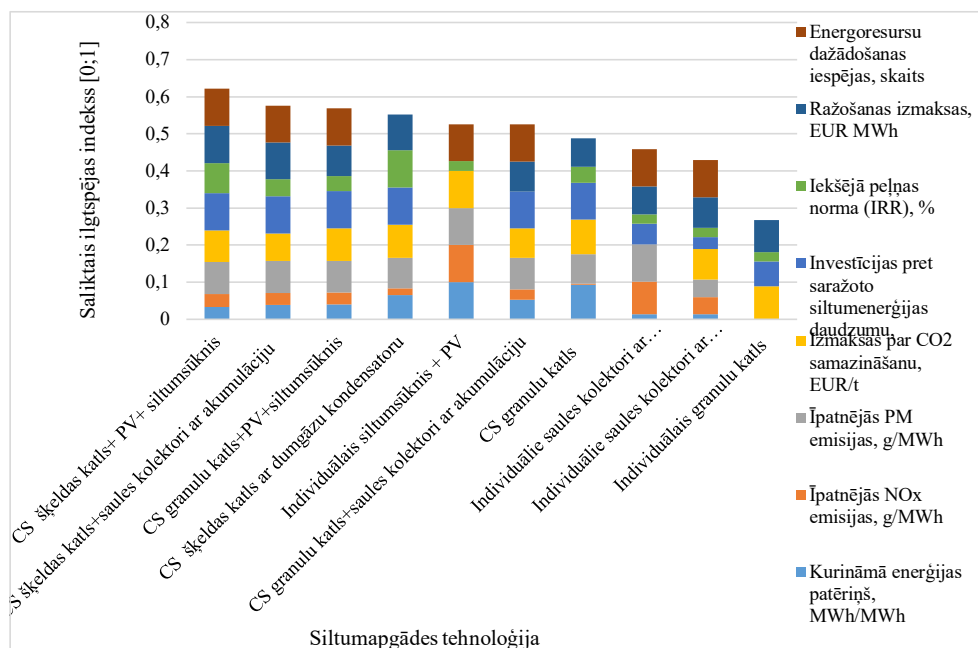
Individuālās siltumapgādes alternatīvas ar saules kolektoriem ar akumulāciju un dabasgāzes apkures katlu tiek novērtētas zemu tādu ekonomisko rādītāju kā *IRR* un ieguldījumi / saražotā enerģija dēļ. Zemākais rādītājs saules kolektoru alternatīvai ar dabasgāzes katlu ir *IRR*, kas nosaka, ka šādas tehnoloģiju kombinācijas uzstādīšana konkrētai pašvaldības ēkai nav izdevīga.

Zemais vērtējums saliktajā indeksā **individuālai siltumapgādei ar saules kolektoriem** skaidrojams ar to, ka tika vērtēta konkrēta ēka, nevis vairāku ēku komplekss. Tāpēc saules kolektoru gadījumā lielāki ieguldījumi nepieciešami vienai ēkai, jādoma arī par pilsētas ēkas maksimālo jumta platību saules kolektoru uzstādīšanai.

CS granulu katla alternatīva tiek vērtēta ar otro zemāko vērtējumu saliktajā indeksā. Tādi rādītāji kā kurināmā patēriņš un NO_x emisijas ietekmē alternatīvas zemo novērtējumu.

Zemākā alternatīva ilgtspējas indeksā ir **individuālā granulu katla** uzstādīšanai esošo dabasgāzes katlu vietā, ko nosaka tādi rādītāji kā kurināmā enerģijas patēriņš, emisijas un *IRR*, kas raksturo to, ka šādu projektu ekonomiski īstenot nebūs iespējams (2.3.1. att.) [63].

Tādi rādītāji kā kurināmā enerģijas patēriņš un NO_x emisijas ietekmē alternatīvas zemo vērtējumu saliktajā indeksā. Tāpat to noteica arī tādi rādītāji kā kurināmā patēriņš, emisijas un *IRR*, kas raksturo to, ka šāds projekts nav ekonomiski pamatots.



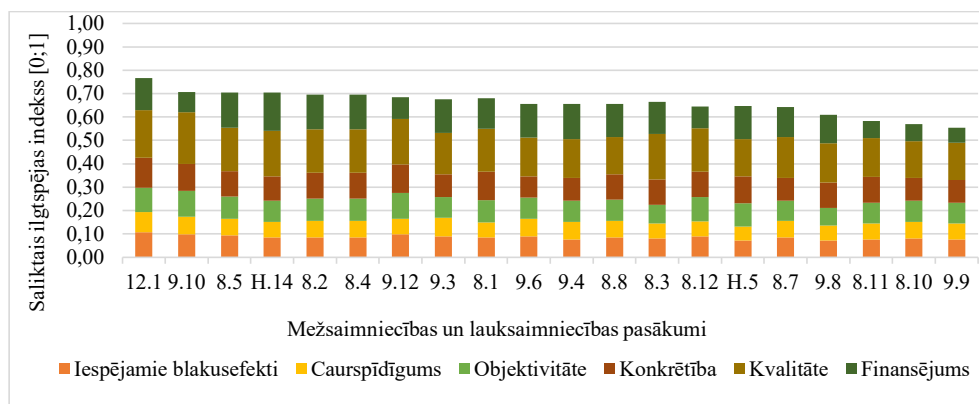
2.3.1. att. CS un individuālās siltumapgādes tehnoloģiju saliktais indekss.

2.4. Lauksaimniecības un mežsaimniecības politikas pasākumu ietekmes novērtējums

Augstāko vērtējumu saliktajā indeksā ieguva tādi klimata politikas virzieni kā **12.1. Uzlabot sabiedrības zināšanas, informētību un izpratni par klimata pārmaiņu mazināšanu, AER izmantošanu un resursu efektivitāti** (vērtējums 0,77). Savukārt zemākais vērtējums saliktajā indeksā bija politikas pasākumu virzienam **8.11. Atbalstīt un veicināt zaļās papuves ierīkošanu pirms ziemājiem** (0,58), **8.10. Atbalstīt un veicināt pasējas plašāku izmantošanu graudaugu kultūrās** (0,57), **9.9. Koksnes izmantošanas veicināšana būvniecībā** (0,55).

Attiecībā uz katra rādītāja nozīmīgumu vissvarīgākie bija tādi rādītāji kā finansējums un kvalitāte. Ekspertu vērtējumā noteiktie svāri tika salīdzināti arī tiem svāriem, kur katrs rādītājs bija vienlīdz svarīgs.

Lielāka uzmanība būtu jāpievērš oglekļa sekvēncijas veicināšanai, izmantojot koksni koksnes produktos ar augstāku pievienoto vērtību, lai samazinātu enerģijas ražošanā izmantotās koksnes daudzumu un sasniegtu noteiktos klimatneitralitātes mērķus 2050. gadā. Turklāt saskaņā ar ES jaunās meža stratēģijas 2030. gadam prioritātēm būtu jāattiecas uz ilgtspējīgāku koksnes materiālu, tostarp būvniecībā un nojaukšanā izmantojamās koksnes, izmantošanu – atkārtotu izmantošanu un pārstrādi [64], [65] (2.4.1. att.).



2.4.1. att. Saliktais indekss lauksaimniecības un mežsaimniecības pasākumiem.

2.4.1. tabula

NEKP lauksaimniecības un mežsaimniecības pasākumi [46]

12.1.	Uzlabot sabiedrības zināšanas, informētību un izpratni par klimata pārmaiņu mazināšanu, AER izmantošanu un resursu efektivitāti
9.10.	Veicināt kaskādes principa izmantošanu koksnes un biomateriālu izmantošanā
8.5.	Vecināt barības devas plānošanu
H.14.	Izstrādāt pētniecības programmas, lai veicinātu un stimulētu pētniecību enerģētikas un klimata mērķu sasniegšanai.
8.2.	Veicināt mēslošanas plānošanu
8.4.	Bioloģiskā piena lopkopība (emisijas samazinoša piena lopkopība)
9.12.	Veicināt atbalstu inovatīvām tehnoloģijām un risinājumiem, lai veicinātu SEG samazināšanu/oglekļa piesaisti mežsaimniecībā, resursu efektīvu izmantošanu

9.3.	Veicināt meža attīstību un kultūraugu kvalitāti dabiski aizaugušās platībās
8.1.	Veicināt un atbalstīt minerālmēslu precīzu lietošanu
9.6.	Iesaisīt jauno paaudzi koku ciršanā
9.4.	Veicināt neproduktīvo, mazoglekļa mežaudžu nomaīņu
8.8.	Uzlabot ziemāju iekļaušanu augsekā, lai veicinātu slāpekļa aizvākšanu
8.3.	Vecināt un atbalstīt organiskā mēslojuma iestrādāšanu augsnē (šķidru transportlīdzekļu transportēšana, izmantojot šļūteņu sistēmas vai mucas un izmantojot injicētājus augsnē)
8.12.	Veicināt atbalstu inovatīvu tehnoloģiju un risinājumu izstrādei, lai veicinātu resursefektivitāti un samazinātu SEG/oglekļa emisijas no lauksaimniecības
H.5.	Veicināt biogāzes un biometāna ražošanu
8.7.	Uzlabot meliorācijas sistēmu uzturēšanu lauksaimniecības zemēs, tādējādi samazinot netiešo NO noteces
9.8.	Veicināt vēsturiski izmantoto kūdras ieguves vietu rekultivāciju, izvēloties piemērotāko rekultivācijas veidu
8.11.	Atbalstīt un veicināt zaļās papuves ierīkošanu pirms ziemājiem
8.10.	Atbalstīt un veicināt pasējas plašāku izmantošanu graudaugu kultūrās
9.9.	Koksnes izmantošanas veicināšana būvniecībā

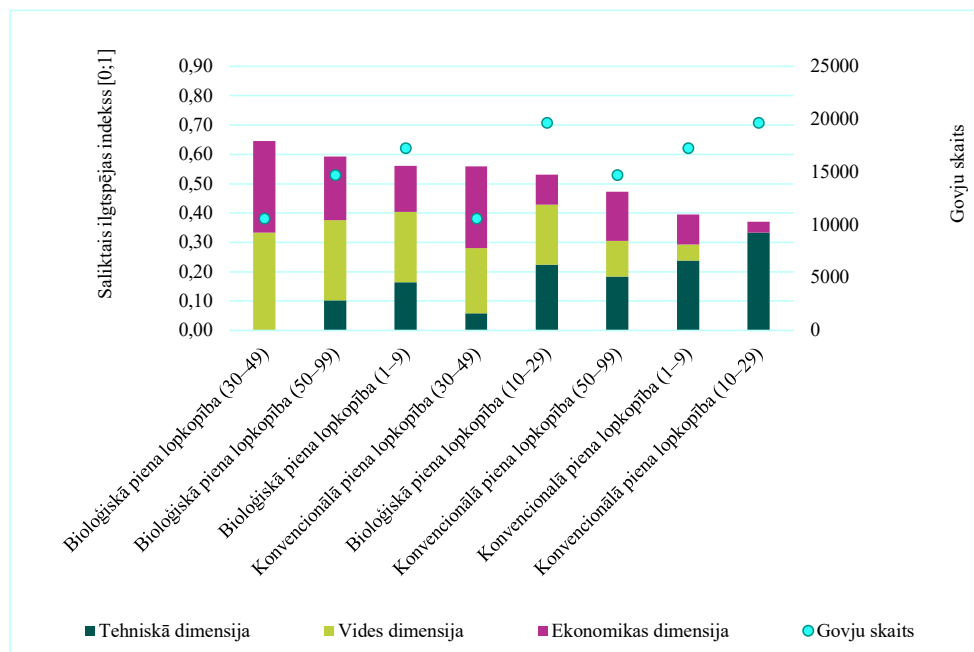
2.5. Sistēmas maiņa – konvencionālās un bioloģiskās piena lopkopības salīdzinājums

Rezultāti liecina, ka saimniecības, kurās ir 30–49 govys, bioloģiskajā saimniecībā ir ekonomiski un vides ziņā izdevīgas. Rezultāti rāda, ka bioloģiskās piensaimniecības ar vienādu govju skaitu var būt ekonomiski izdevīgākas kā konvencionālās saimniecības ar šādu govju skaitu. Bioloģiskajām saimniecībām var būt izmaksu priekšrocības zemāku barības un ķīmisko resursu ziņā, lai gan tām var būt arī augstākas darbaspēka izmaksas vai sertifikācijas izmaksas, ko apliecina rezultāti. Izmaksas EUR/govju skaits mēdz būt zemākas nekā tāda paša lieluma tradicionālajās saimniecībās [66]. Tas varētu būt tāpēc, ka bioloģiskās piensaimniecības bieži audzē savu lopbarību, nav vajadzīgas ķīmiskas izejvielas, kas var samazināt kopējās ražošanas izmaksas un samazināt veterinārās izmaksas [66].

No vides dimensijas viedokļa bioloģiskā piena lopkopība uzrāda augstāku rezultātu saliktajā indeksā, salīdzinot ar konvencionālo piena lopkopību, neatkarīgi no ganāmpulka lieluma. Tas varētu liecināt, ka bioloģiskās lauksaimniecības prakse, piemēram, bioloģiskās barības izmantošana un samazinātas ķīmiskās vielas, labvēlīgi ietekmē govju gremošanas sistēmu un rada mazāku daudzumu N_2O un CH_4 [61].

Saliktā indeksa rezultāti (2.5.1. att.) liecina, ka bioloģiskajai piena lopkopībai ir priekšrocības, salīdzinot ar tradicionālo piena lopkopību attiecībā uz vispārējo ilgtspējību.

Pamatojoties uz vienu govī, rezultāti liecina, ka bioloģiskās piena lopkopības saimniecības rada zemākas SEG emisijas. No otras puses, konvencionālajai piena lopkopībai ir priekšrocības tehniskajā dimensijā.



2.5.1. att. Saliktais indekss konvencionālās un bioloģiskās piensaimniecības stratēģijām ar DE 67 %.

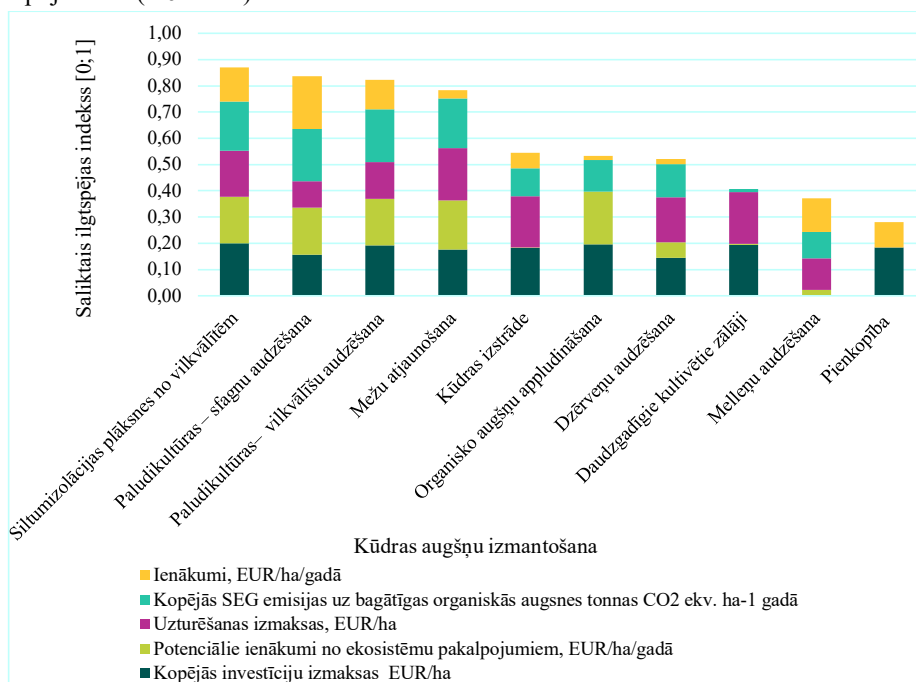
2.6. Sistēmas maiņa – kūdras atjaunošanas stratēģiju novērtējums

Kūdras atjaunošanas stratēģijas un alternatīvas izmantošanas novērtējums

Augstākais vērtējums saliktajā indeksā bija izolācijas paneļu ražošanai, izmantojot vilkvāļi (*Typha*), (0,87) (2.6.1. att.). Rādītāji, kas visvairāk nosaka siltumizolācijas paneļu priekšrocības, bija nepieciešamais investīciju apjoms un salīdzinoši zemās CO₂ ekv. emisijas. Arī paludikultūras, kurās izmanto sfagnus (0,84) un vilkvāļi (0,82), saliktajā indeksā ieguva attiecīgi otro un trešo augstāko rezultātu.

No apskatītajām alternatīvām kūdras appludināšanai (0,53) bija augstākas uzturēšanas izmaksas, tai skaitā monitoringa izmaksas. Savukārt no minētajām alternatīvām kūdras

pārmitrināšanai ir vislielākie iespējamie ienākumi no potenciālajiem ekosistēmu pakalpojumiem (2.6.1. att.).



2.6.1. att. Atjaunošanas stratēģijas un kūdras alternatīva izmantošana.

Kūdras appludināšanu/pārmitrināšanu var vērtēt kā pievilcīgu risinājumu attiecībā uz finansiālo kompensāciju (EUR/ha) pēc pārmitrināšanas [56], [67]. Tomēr zemes pārmitrināšanas gadījumā negatīvi tiks ietekmēta lauksaimnieku turpmākā saimnieciskā darbība. Kūdras pārmitrināšanas negatīvā ietekme ir saistīta ar ienākumu zudumu zemes izmantošanas maiņas dēļ. Zemes platība pēc pārmitrināšanas nav ekonomiski izdevīga zemes īpašniekiem un tuvējiem lauksaimniekiem to saimnieciskajai darbībai.

Paludikultūra tiek uzskatīta par dzīvotspējīgu stratēģiju SEG samazināšanai, vienlaikus nodrošinot zemes īpašniekiem iespējas veikt saimniecisko darbību un attīstīt jaunus pakalpojumus un produktus. Lai gan paludikultūrai ir vairāki ieguvumi, paludikultūrā izmanto tikai nelielu kūdrāju platību [59]. Pāreja uz paludikultūru var samazināt SEG emisijas, vienlaikus nodrošinot zemes produktīvu izmantošanu [68], [69].

Vilkvāļītes audzēšana var veicināt piemērotus apstākļus ekosistēmu pakalpojumu attīstībai. Iepriekšējie pētījumi liecina, ka pēc kūdras pārstrādes, atdalot šķiedras, ienākumi var sasniegt 300 EUR/t līdz 500 EUR/t [70]. Vilkvāļīte kā izejmateriāls var radīt vidējo apgrozījumu ~ 2000 EUR/gadā un ~ 4800 EUR/gadā pārstrādātā materiālā [198]. Novāktās vilkvāļītes var

izmantot dažādu veidu precēs, tostarp paklājos, grozos un rotaļlietās, kā arī vērtīgos produktos, piemēram, būvmateriālos un izolācijas plātnēs, kur kūdru var izmantot kā izejvielu vai piedevu [71]. Vilkvāļītes īpašības padara to par piemērotu un konkurētspējīgu izolācijas materiālu. No vilkvāļītes veidotā izolācijas materiālā ir iespējams ilgstoši uzglabāt biogēno oglekli [59].

2.7. AER potenciāla novērtējums galvenajos tautsaimniecības sektoros

Saules enerģijas izmantošana saņēma otro augstāko iespējamo punktu skaitu izmantošanai transportā (0,90) starp AER. Vēja enerģijas izmantošanas potenciāls transporta nozarē tika novērtēts ar trešo lielāko punktu skaitu (0,83). 2.7.1. tabulā apkopoti katras AER indeksa rādītāji katrā sektorā.

2.7.1. tabula

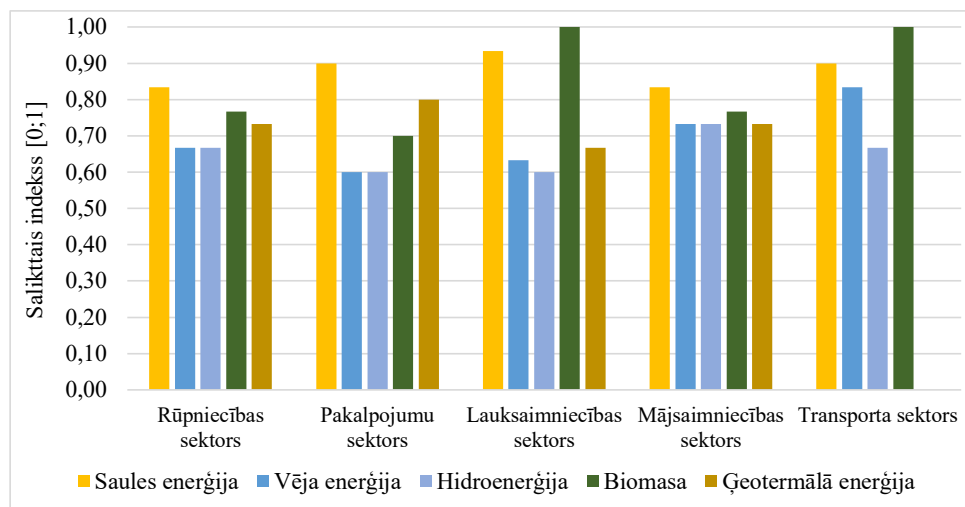
AER izmantošanas novērtēšanas rezultāts

Sektors	Saules enerģija	Vēja enerģija	Hidroenerģija	Biomasa	Ģeotermālā enerģija
Rūpniecība					
Attīstība	0,33	0,23	0,23	0,27	0,23
Priekšrocības	0,30	0,23	0,20	0,27	0,23
Trūkumi	0,20	0,20	0,23	0,23	0,27
Kopā	0,83	0,67	0,67	0,77	0,73
Pakalpojumu sektors					
Attīstība	0,33	0,20	0,20	0,23	0,27
Priekšrocības	0,30	0,20	0,20	0,23	0,27
Trūkumi	0,27	0,20	0,20	0,23	0,27
Kopā	0,90	0,60	0,60	0,70	0,80
Lauksaimniecības sektors					
Attīstība	0,27	0,20	0,20	0,33	0,20
Priekšrocības	0,33	0,23	0,20	0,33	0,20
Trūkumi	0,33	0,20	0,20	0,33	0,27
Kopā	0,93	0,63	0,60	1,00	0,67
Mājsaimniecības sektors					
Attīstība	0,27	0,23	0,27	0,30	0,27
Priekšrocības	0,30	0,27	0,23	0,23	0,27
Trūkumi	0,27	0,23	0,23	0,23	0,20
Kopā	0,83	0,73	0,73	0,77	0,73
Transporta sektors					
Attīstība	0,30	0,30	0,23	0,33	0,00
Priekšrocības	0,27	0,30	0,23	0,33	0,00
Trūkumi	0,33	0,23	0,20	0,33	0,00
Kopā	0,90	0,83	0,67	1,00	0,00

Starptozaru salīdzinājums, lai novērtētu AER attīstības potenciālu

Pētījuma otrajā daļā tika iegūts vērtējums, kas atspoguļo katra resursa ilgtspējīgas attīstības potenciāla novērtējumu un nozaru salīdzinājumu pa AER veidiem (2.7.1. att.).

Savukārt 2.7.1. tabulā apkopoti iegūtie punkti, kas rāda normalizēto rezultātu katram AER veidam, ar kuru iespējams raksturot AER izmantošanas potenciālu.



2.7.1. att. AER attīstības tendenču salīdzinājums starp sektoriem.

Biomasa izmantošanas potenciāls lauksaimniecības un transporta sektorā sasniedza augstāko ilgtspējīgas attīstības novērtējuma līmeni. Šajās divās nozarēs biomasa ieguvusi augstāko iespējamo vērtējumu (1). Tādējādi gan lauksaimniecības, gan transporta sektorā jau ir vērojama strauja biomasas enerģijas ražošanas attīstība un prognozēta arī turpmākā attīstība. Otrais augstākais potenciālais novērtējums piešķirts biomasas izmantošanas potenciālam rūpniecībā un mājsaimniecībās (2.7.2. tab.).

AER normalizēto punktu kopsavilkums pa sektoriem

	Saules enerģija	Vēja enerģija	Hidroenerģija	Biomasa	Ģeotermālā enerģija
Rūpniecība	0,83	0,67	0,67	0,77	0,73
Pakalpojumu sektors	0,90	0,60	0,60	0,70	0,80
Lauksaimniecības sektors	0,93	0,63	0,60	1,00	0,67
Mājsaimniecības sektors	0,83	0,73	0,73	0,77	0,73
Transporta sektors	0,90	0,83	0,67	1,00	0,00
Vidējās vērtības	0,88	0,69	0,65	0,85	0,59 (0,73*)

* Četru sektoru vidējā vērtība, neskaitot transporta sektoru [72].

Saules enerģijas izmantošanas potenciāls patlaban un nākotnē novērtēts kā visaugstākais tādās nozarēs kā pakalpojumi, mājsaimniecības un rūpniecība. Saules enerģija saņēma otro augstāko potenciālo novērtējumu lauksaimniecībā un transportā uzreiz pēc biomasas izmantošanas. Pēc vidējā punktu skaita saules enerģijas izmantošana ir pirmajā vietā ar vērtējumu 0,88, savukārt otrajā vietā pēc punktu skaita ir biomasa (0,85), kurai starp AER risinājumiem ir vismazākie ierobežojumi izmantošanai transportā un lauksaimniecībā.

SECINĀJUMI

Promocijas darbā izstrādāta metodika ar salikto ilgtspējības indeksu, lai analizētu vides politikas pasākumu virzītājspēkus un trūkumus, pamatojoties uz indikatora pieeju (ietverot vides, sociālos, ekonomiskos un tehniskos faktorus).

Hipotēze tika apstiprināta, veicot visaptverošu novērtējumu, izmantojot dažādu zinātnisku metožu kombināciju, ir iespējams novērtēt klimata un enerģētikas pasākumu virzītājspēkus un trūkumus.

Attiecībā uz individuālās un centralizētās siltumapgādes tehnoloģiju salīdzinājumu mājāsaimniecībās visaugstāko ilgtspējas indeksu starp tehnoloģijām ieguva siltumsūkņi (0,64), kam sekoja saules kolektori (0,63), koksnes granulu katli (0,55) un CS (0,50). Zemāko indeksa vērtību (0,38) ieguva dabasgāzes katli. Rezultāti liecina, ka CS ir konkurētspējīga un rentablāka, salīdzinot ar individuālajiem apkures risinājumiem, jo tā ieguva visaugstākos ilgtspējas rādītājus tehniskās un ekonomiskās dimensijas apakšindeksos, bet zemākus rādītājus vides dimensijā. Šo trūkumu iespējams novērst, CS siltumapgādes sistēmās integrējot atjaunojamās enerģijas avotus.

CS noturības novērtējuma rezultāti liecina, ka no gāzes atkarīgām sistēmām pēc traucējumiem darbībā ir augstākas siltuma cenas, salīdzinot ar energosistēmām, kuru pamatā ir biomasas vai citi atjaunojamie energoresursi. Biomasā balstītas CS energosistēmas traucējumu laikā ir noturīgākas pret cenām. Fosilā kurināmā sistēmas ir neaizsargātākas pret siltuma cenu svārstībām neparedzētu sistēmas darbības traucējumu gadījumā.

Augstākais CS noturības saliktais indekss bija siltumapgādes sistēmām, kuru pamatā ir biomasas vai biomasas un gāzes sajaukums.

Viszemākais rezultāts tika attiecināts uz CS 3, kam ir visbūtiskākā negatīvā ietekme uz CO₂ emisijām un zems atjaunojamo resursu īpatsvars, ko izmanto siltuma ražošanai, un kas ir zemāk novērtētais ekonomiskajā dimensijā starp aplūkotajām sistēmām. Šie konstatējumi atspēko ideju, ka sistēma, kuras pamatā ir atjaunojamie energoresursi, ir dārgāka un ekonomiski mazāk dzīvotspējīga nekā sistēma, kuras pamatā ir fosilā enerģija. Šis pētījums atklāj galvenos faktorus, kas jāņem vērā, projektējot noturīgas CS sistēmas, uzsverot vajadzību pēc turpmākas izpētes.

Adaptīvās un raksturojošās noturības novērtējums var kalpot, lai novērtētu CS sistēmas noturību pret ārējām izmaiņām. Novērtējot CS sistēmas neaizsargātību, var noteikt vājās vietas un trūkumus sistēmā vēl pirms traucējumu rašanās.

CS sistēmu analīze un izveide, balstoties reālos datos un pieņēmumos, kas balstīti zinātniskajā literatūrā, kalpo kā efektīva metode, ko var izmantot lēmumu pieņemšanas procesā, lai vienlaikus izvērtētu ekonomiskās un vides dimensijas un lemtu par ilgtspējīgākajiem risinājumiem, lai pašvaldības varētu novērtēt AER palielināšanas iespējas CS un individuālajā siltumapgādē.

Saliktais indekss pašvaldību ēkām uzrādīja augstāko vērtējumu trim CS alternatīvām: CS šķeldas katls un *PV* paneļi kombinācijā ar siltumsūkni (0,79), CS šķeldas katls un saules paneļi ar akumulāciju (0,73) un CS granulu katls un *PV* paneļi kombinācijā ar siltumsūkni (0,69). Tikai ceturrtā augstākā novērtējuma alternatīva bija individuālās siltumapgādes tehnoloģijai – siltumsūknis kombinācijā ar *PV* paneli (0,66).

Viena no viszemāk vērtētajām alternatīvām bija individuālie saules kolektori ar akumulāciju un dabasgāzes katlu (0,59) un individuālie saules kolektori ar akumulāciju un granulu katlu (0,54).

Alternatīvas, kas ietver koksnes granulu katlu alternatīvu, visvairāk ietekmē tādi rādītāji kā kurināmā enerģijas patēriņš un NO_x emisijas.

Kopumā tādi rādītāji kā *IRR* un ieguldījumi uz vienu saražotās enerģijas vienību būtiski ietekmē saliktā indeksa ilgtspējības reitingu visām tehnoloģijām.

Pētījumā ilgtspējīgāki bija CS risinājumi, ko nosaka ekonomiskie rādītāji, piemēram, *IRR* un investīcijas, ekonomiskie un tehniskie rādītāji, piemēram, kurināmā enerģijas patēriņš, un vides rādītāji, piemēram, NO_x emisijas.

Klimata un enerģētikas politikas pasākumu aprakstam jābūt detalizētākam, norādot konkrētas darbības, sasniedzamos rādītājus un katrai darbībai plānotās summas un finansējuma avotus. Pēc ekspertu domām, vissvarīgākie bija tādi rādītāji kā finansējums un kvalitāte. Rīcības virzieni un pasākumi lauksaimniecībā un mežsaimniecībā ir sadrumstaloti un tiem trūkst vienotas sistēmas.

Vislielāko kopējo punktu skaitu saliktajā indeksā saņēma bioloģiskās piena saimniecības. Bioloģiskā piena lopkopība var būt pārāka vides dimensijā neatkarīgi no ganāmpulka lieluma, saražojot mazāku SEG daudzumu.

Augstākais vērtējums saliktajā indeksā bija siltumizolācijas plātņu ražošanai, kultivējot vilkvāļi. Otrs augstākais punktu skaits saliktajā indeksā ir paludikulūru – vilkvāļes un sfagnu audzēšanai. Šo alternatīvu zemo novērtējumu ietekmē tādi rādītāji kā neto ienākumi, ienākumi no ekosistēmu pakalpojumiem un tirgus ieņēmumi. Iespējama alternatīva ir siltumizolācijas plātņu ražošana uz paludikulūru bāzes, jo kūdras iespējams izmantot ekonomiski pamatotā veidā.

Uz saules enerģiju un biomasu, kas iegūta no lauksaimniecības atlikumiem, attiecas vismazākie to izmantošanas ierobežojumi. Kopējā novērtējumā attiecībā uz AER iespējamo izmantošanu saules enerģija tiek vērtēta visaugstāk (0,88), savukārt biomasas izmantošanas potenciāls tiek vērtēts kā otrais augstākais – 0,85.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- [1] "State of the Union: Commission raises climate ambition," European Commission - European Commission. Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/ip_20_1599.
- [2] S. Safarzadeh, M. Rasti-barzoki, and S. R. Hejazi, "A review of optimal energy policy instruments on industrial energy efficiency programs , rebound effects , and government policies," *Energy Policy*, vol. 139, no. 111342, 2020.
- [3] L. Adua, B. Clark, and R. York, "The ineffectiveness of efficiency : The paradoxical effects of state policy on energy consumption in the United States," *Energy Research & Social Science*, vol. 71, no. 101806, 2021.
- [4] "Blind spots in environmental policy-making: How beliefs about science and development may jeopardize environmental solutions – ScienceDirect." Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452292916301278>.
- [5] J. Shen and C. Luo, "Overall review of renewable energy subsidy policies in China – Contradictions of intentions and effects," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 41, pp. 1478–1488, 2015.
- [6] "Aktualizētais Nacionālais enerģētikas un klimata plāns 2021.–2030. gadam." Accessed: Jan. 02, 2025. [Online]. Available: https://tapportals.mk.gov.lv/legal_acts/f4ee17e0-b0f3-4171-a263-976a957bcbf7.
- [7] European Commission, "Latvia. Summary of the Commission assessment of the draft National Energy and Climate Plan 2021-2030".
- [8] Cabinet of Ministers, "National energy and climate plan of the Republic of Latvia for 2021–2030," 2020.
- [9] "EUR-Lex - 32024H1035 - EN - EUR-Lex." Accessed: Feb. 21, 2025. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/eli/reco/2024/1035/oj/eng>.
- [10] European Parliament. Directorate General for Parliamentary Research Services., *Ten composite indices for policy-making: in depth analysis*. LU: Publications Office, 2021. Accessed: Mar. 03, 2025. [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2861/774077>.
- [11] "Environmental Performance Index 2024." Accessed: Mar. 02, 2025. [Online]. Available: <https://epi.yale.edu/downloads/2024-epi-report-20250106.pdf>.
- [12] "Essential Tools and Techniques for Effective Policy Evaluation • Public Administration Notes by PubAdmin.Institute." Accessed: Mar. 02, 2025. [Online]. Available: <https://pubadmin.institute/understanding-public-policy/essential-tools-techniques-policy-evaluation>.
- [13] S. Pandian, J. N, and S. Nachiappan, "Composite Performance Index for Sustainability," *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, vol. 3, pp. 2319–2399, Apr. 2013, doi: 10.9790/2402-03191102.
- [14] S. Pandian, J. N., and S. Nachiappan, "Composite Performance Index for Sustainability," *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, vol. 3, pp. 2319–2399, Apr. 2013, doi: 10.9790/2402-03191102.

- [15] L. Zhou, H. Tokos, D. Krajnc, and Y. Yang, "Sustainability performance evaluation in industry by composite sustainability index," *Clean Techn Environ Policy*, vol. 14, no. 5, pp. 789–803, Oct. 2012, doi: 10.1007/s10098-012-0454-9.
- [16] "Technology change - Napkin AI." Accessed: Feb. 27, 2025. [Online]. Available: <https://app.napkin.ai/page/CgoiCHByb2Qtb25lEiwKBFBhZ2UaJDc5MjdkMmJjLWVmZjEtNDBkNy04Y2ZhLTYSMGRkOTI0ODI3MQ>.
- [17] C. Lemke and K. Bastini, "Embracing multiple perspectives of sustainable development in a composite measure: The Multilevel Sustainable Development Index," *Journal of Cleaner Production*, vol. 246, p. 118884, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118884.
- [18] K. Dolge, A. Kubule, S. Rozakis, I. Gulbe, D. Blumberga, and O. Krievs, "Towards Industrial Energy Efficiency Index," *Environmental and Climate Technologies*, vol. 24, no. 1, pp. 419–430, 2020, doi: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2020-0025>.
- [19] L. Balode, K. Dolge, and D. Blumberga, "The Contradictions between District and Individual Heating towards Green Deal Targets," *Sustainability*, vol. 13, no. 6, p. 3370, Mar. 2021, doi: 10.3390/su13063370.
- [20] P. Kyn, S. Upadhyaya, and T. Nice, "Composite index as a measure on achieving Sustainable Development Goal 9 (SDG-9) industry-related targets : The SDG-9 index," *Applied Energy*, vol. 265, no. 114755, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114755>.
- [21] L. Balode, K. Dolge, P. D. Lund, and D. Blumberga, "How to Assess Policy Impact in National Energy and Climate Plans," *Environmental and Climate Technologies*, vol. 25, no. 1, pp. 405–421, 2021, doi: <https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0030>.
- [22] P. Warren, "Demand-Side Management Policy: Mechanisms for Success and Failure," 2015.
- [23] O. Gudmundsson, J. E. Thorsen, and L. Zhang, "Cost analysis of district heating compared to its competing technologies," *Transactions on Ecology and The Environment*, vol. 176, pp. 1743–3541, 2013, doi: 10.2495/ESUS130091.
- [24] E. Hontoria, N. Munier, and F. Jiménez-Sáez, "On the construction of a Composite Index to assess holistically the sustainability of the evolution of a country," *Environmental and Sustainability Indicators*, vol. 19, p. 100282, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.INDIC.2023.100282.
- [25] X. Zhang *et al.*, "A preliminary simulation study about the impact of COVID-19 crisis on energy demand of a building mix at a district in Sweden," *Applied Energy*, vol. 280, p. 115954, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115954.
- [26] C. H. Hansen and O. Gudmundsson, "The competitiveness of district heating compared to individual heating. When is district heating the cheapest source of heating?," 2018.
- [27] O. Gudmundsson, J. E. Thorsen, and L. Zhang, "Cost analysis of district heating compared to its competing technologies," *Energy and Sustainability*, vol. 176, no. ISSN 1743-3541, 2013, doi: 10.2495/ESUS130091.
- [28] Cabinet of Ministers, "Cabinet Regulation No. 348. Adopted 25 June 2013. Methodology for calculating the energy performance of buildings".
- [29] Cabinet of Ministers, "Cabinet Regulation No. 42. Adopted 23 January 2018. Methodology for Calculating Greenhouse Gas Emissions".

- [30] C. H. Hansen, O. Gudmundsson, and N. Detlefsen, "Cost efficiency of district heating for low energy buildings of the future," *Energy*, vol. 177, pp. 77–86, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.04.046.
- [31] J. Fan, Z. Chen, S. Furbo, B. Perers, and B. Karlsson, "Efficiency and lifetime of solar collectors for solar heating plants," pp. 331–340, 2009.
- [32] CSB, "ENG190. Average prices of energy resources for final consumers (excluding VAT)".
- [33] W. Liu, F. Best, and W. Crijns-Graus, "Exploring the pathways towards a sustainable heating system – A case study of Utrecht in the Netherlands," *Journal of Cleaner Production*, vol. 280, p. 125036, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125036.
- [34] Feofilovs Maksims, *Dynamics of Urban Resilience to Natural Hazards*. Latvia, Riga, Azenes iela 12: Riga Technical University, 2020. doi: 10.7250/9789934225628.
- [35] K. R. Reddy, J. K. Janga, G. Verma, and B. Nagaraja, "Integration and Quantification of Resilience and Sustainability in Engineering Projects," *Journal of the Indian Institute of Science* 2024, pp. 1–54, Oct. 2024, doi: 10.1007/S41745-024-00440-W.
- [36] R. Francis and B. Bekera, "A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 121, pp. 90–103, Jan. 2014, doi: 10.1016/J.RESS.2013.07.004.
- [37] J. E. Daugavietis, R. Soloha, E. Dace, and J. Ziemele, "A Comparison of Multi-Criteria Decision Analysis Methods for Sustainability Assessment of District Heating Systems," 2022, doi: 10.3390/en15072411.
- [38] "10 Step Pocket Guide to Composite Indicators & Scoreboards | Knowledge for policy." Accessed: Oct. 04, 2024. [Online]. Available: https://knowledge4policy.ec.europa.eu/file/10-step-pocket-guide-composite-indicators-scoreboards_en
- [39] I. Pakere, D. Blumberga, A. Kamenders, and V. Vītoliņš, "Does district heating tariff motivate energy efficiency improvement?," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 410–418, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.EGYR.2021.08.087.
- [40] E. Kisel, A. Hamburg, M. Härn, A. Leppiman, and M. Ots, "Concept for Energy Security Matrix," *Energy Policy*, vol. 95, pp. 1–9, Aug. 2016, doi: 10.1016/J.ENPOL.2016.04.034.
- [41] "Herfindahl-Hirschman Index (HHI): Definition, Formula, and Example," Investopedia. Accessed: Dec. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.investopedia.com/terms/h/hhi.asp>.
- [42] A. TOLEIKYTE, N. J. P. JIMENEZ, and J. CARLSSON, "Consumers in district heating and cooling," European Commission, May 2023. doi: 10.2760/074286.
- [43] "D2.5_2019-07-02_Upgrade-DH_Handbook_EN.pdf." Accessed: Dec. 23, 2024. [Online]. Available: https://www.upgrade-dh.eu/images/Publications%20and%20Reports/D2.5_2019-07-02_Upgrade-DH_Handbook_EN.pdf.
- [44] "Accumulation Tank for Heat Storage - DBDH." Accessed: Dec. 23, 2024. [Online]. Available: <https://dbdh.dk/all-about-district-energy/technology/thermal-energy-storage-for-district-heating/accumulation-tank-for-heat-storage/>.
- [45] C. Demski *et al.*, "National context is a key determinant of energy security concerns across Europe," *Nature Energy* 2018 3:10, vol. 3, no. 10, pp. 882–888, Sep. 2018, doi: 10.1038/s41560-018-0235-8.

- [46] M. Kabinets, "Par Latvijas Nacionālo enerģētikas un klimata plānu 2021.–2030. gadam." Accessed: Jun. 28, 2022. [Online]. Available: <https://likumi.lv/ta/id/312423-par-latvijas-nacionalo-energetikas-un-klimata-planu-20212030-gadam>.
- [47] ODYSSEE-MURE, "Energy Efficiency Policies & Measures Database, Graph and Summary Table." Accessed: Dec. 16, 2020. [Online]. Available: <https://www.measures.odyssee-mure.eu/energy-efficiency-policies-database.html#/measures/677>.
- [48] R. Schultz, C. Arndt-Basche, P. Davidson, and B. Gerloff, "ICE LA MEJORA DE LA REGULACIÓN Marzo-Abril 2019. N.º 907 BETTER INDICATORS FOR BETTER REGULATION: THE OECD iREG EXPERIENCE," 2019, doi: 10.32796/ice2019.907.6806.
- [49] Centrālā statistikas pārvalde, "Visu veidu saimniecību grupējums pēc liellopu un slaucamo govju skaita gada beigās 1996–2023. PxWeb." Accessed: Apr. 08, 2024. [Online]. Available: https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP_PUB/START_NOZ_LA_LAL/LAL110.
- [50] "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories – IPCC." Accessed: Nov. 13, 2024. [Online]. Available: <https://www.ipcc.ch/report/2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories/>.
- [51] A. Murawska and E. Goryńska-Goldmann, "Greenhouse Gas Emissions in the Agricultural and Industrial Sectors – Change Trends, Economic Conditions, and Country Classification: Evidence from the European Union," *Agriculture*, vol. 13, no. 7, Art. no. 7, Jul. 2023, doi: 10.3390/agriculture13071354.
- [52] "Latvia. 2022 National Inventory Report (NIR) | UNFCCC." Accessed: Nov. 13, 2024. [Online]. Available: <https://unfccc.int/documents/461908>.
- [53] "LIFE REstore – OPTIMIZĀCIJAS MODELIS." Accessed: Dec. 05, 2023. [Online]. Available: https://restore.daba.gov.lv/public/lat/optimizacijas_modelis/.
- [54] "Normatīvie akti – LĪVA." Accessed: Dec. 05, 2023. [Online]. Available: <https://www.vertetaji.lv/normativie-akti>.
- [55] B. Colbers, S. Cornelis, E. Geraets, and N. Gutiérrez-Valdés, "A Feasibility Study on the Usage of Cattail (*Typha* spp.)."
- [56] V. Sechi *et al.*, "TOWARDS A CARBON CREDIT & BLUE CREDIT SCHEME FOR PEATLANDS".
- [57] A. Lazdiņš and A. Lupiķis, *KŪDRAS IEGUVES IETEKMĒTU TERITORIJU ATBILDĪGA APSAIMNIEKOŠANA UN ILGTSPĒJĪGA IZMANTOŠANA*. Rīga.
- [58] "Afforestation and reforestation as adaptation opportunity." Accessed: Jan. 16, 2024. [Online]. Available: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/afforestation-and-reforestation-as-adaptation-opportunity>.
- [59] M. de Jong, O. van Hal, J. Pijlman, N. van Eekeren, and M. Junginger, "Paludiculture as paludifuture on Dutch peatlands: An environmental and economic analysis of *Typha* cultivation and insulation production," *Science of the Total Environment*, vol. 792, Oct. 2021, doi: 10.1016/J.SCIOTENV.2021.148161.
- [60] E. Sutela, "The role of municipalities in promoting housing affordability: an analysis of three Finnish cities," *Urban Research & Practice*, vol. 17, no. 3, pp. 347–370, May 2024, doi: 10.1080/17535069.2023.2206793.

- [61] M. Feofilovs and F. Romagnoli, "Resilience of critical infrastructures: probabilistic case study of a district heating pipeline network in municipality of Latvia," *Energy Procedia*, vol. 128, pp. 17–23, Sep. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.007.
- [62] R. Secretariat, "Is Renewable Energy the Definition of Resilience?," REN21. Accessed: Dec. 23, 2024. [Online]. Available: <https://www.ren21.net/renewable-energy-resilient/>.
- [63] "Carbon Neutrality in Municipalities: Balancing Individual and District Heating Renewable Energy Solutions." Accessed: Feb. 23, 2025. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/10/8415>.
- [64] J. Farfan, A. Lohrmann, and C. Breyer, "Integration of greenhouse agriculture to the energy infrastructure as an alimentary solution," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 110, pp. 368–377, Aug. 2019, doi: 10.1016/J.RSER.2019.04.084.
- [65] L. Balode and D. Blumberga, "Evaluating the Effectiveness of Agricultural and Forestry Policies in Achieving Environmental Goals Through Policy Documents," *Environmental and Climate Technologies*, vol. 27, no. 1, pp. 195–211, May 2023, doi: 10.2478/rtuct-2023-0015.
- [66] Latvijas Lauku konsultāciju un izglītības centrs, "Cik izmaksā zemniekiem saražot bioloģisko pienu Latvijā".
- [67] A. Günther, S. Böther, J. Couwenberg, S. Hüttel, and G. Jurasinski, "Profitability of Direct Greenhouse Gas Measurements in Carbon Credit Schemes of Peatland Rewetting," *Ecological Economics*, vol. 146, pp. 766–771, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.ECOLECON.2017.12.025.
- [68] F. Tanneberger *et al.*, "Saving soil carbon, greenhouse gas emissions, biodiversity and the economy: paludiculture as sustainable land use option in German fen peatlands," *Regional Environmental Change*, vol. 22, no. 2, pp. 1–15, Jun. 2022, doi: 10.1007/S10113-022-01900-8/TABLES/3.
- [69] W. Liu, C. Fritz, J. van Belle, and S. Nonhebel, "Production in peatlands: Comparing ecosystem services of different land use options following conventional farming," *Science of The Total Environment*, vol. 875, p. 162534, Jun. 2023, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2023.162534.
- [70] K. Glenk and J. Martin-Ortega, "The economics of peatland restoration," *Journal of Environmental Economics and Policy*, vol. 7, no. 4, pp. 345–362, 2018, doi: 10.1080/21606544.2018.1434562.
- [71] S. Bansal *et al.*, "Typha (Cattail) Invasion in North American Wetlands: Biology, Regional Problems, Impacts, Ecosystem Services, and Management," *Wetlands*, vol. 39, no. 4, pp. 645–684, Aug. 2019, doi: 10.1007/S13157-019-01174-7.
- [72] L. Balode, K. Dolge, and D. Blumberga, "Sector-Specific Pathways to Sustainability: Unravelling the Most Promising Renewable Energy Options," *Sustainability*, vol. 15, p. 12636, Aug. 2023, doi: 10.3390/su151612636.



Lauma Balode ieguvusi bakalaura grādu (2015) un maģistra grādu (2017) vides zinātnē Latvijas Universitātes Ģeogrāfijas un Zemes zinātņu fakultātē, kā arī dubulto maģistra grādu vides zinātnē Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) un vides inženierzinātnēs Viļņas Ģedimina tehniskajā universitātē (2021). 2021. gadā sāka doktora studijas vides inženierzinātnēs RTU. Vairāk nekā piecus gadus ir RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta pētniece un docētāja.

Zinātniskās intereses ietver atjaunojamo enerģiju, klimata un enerģijas pasākumu novērtēšanu, bioekonomiku un bioresursu izmantošanu, saliktā indeksa un citu metožu izmantošanu ilgtspējības novērtējumā dažādās nozarēs.