

**Viktorija Terjaņika**

# **CO<sub>2</sub> VALORIZĀCIJA APRITES EKONOMIKĀ**

Promocijas darba kopsavilkums



# RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultāte  
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

**Viktorija Terjaņika**

Doktora studiju programmas “Vides inženierija” doktorante

## CO<sub>2</sub> VALORIZĀCIJA APRITES EKONOMIKĀ

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskās vadītājas

*Dr. sc. ing.* JEĻENA PUBULE

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

RTU Izdevniecība

Rīga 2025

Terjaņika V. CO<sub>2</sub> valorizācija aprites ekonomikā.  
Promocijas darba kopsavilkums. – Rīga: RTU  
Izdevniecība, 2025. – 39 lpp.

Publicēts saskaņā ar promocijas padomes “RTU P-19”  
2025. gada 18. septembra lēmumu, protokols  
Nr. 242.21.

Vāka attēla autore Viktorija Terjaņika.

<https://doi.org/10.7250/9789934372414>  
ISBN 978-9934-37-241-4 (pdf)

# PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2026. gada 8. janvārī Rīgas Tehniskās universitātes Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātē, Āzenes ielā 12-1, 607. auditorijā.

## OFICIĀLIE RECENZENTI

*D.sc. (Tech.)* Timo Laukkanen,  
Ålto Universitāte, Somija

*Ph. D.* Maksims Feofilovs,  
Rīgas Tehniskā universitāte

*Ph. D.* Žaneta Stasiškienė,  
Kauņas Tehnoloģiju universitāte, Lietuva

## 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.

Viktorija Terjaņika ..... (paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 42 attēli, 30 tabulas, četri pielikumi, kopā 312 lappuses, ieskaitot pielikumus. Literatūras sarakstā ir 486 nosaukumi.

# SATURS

<b>PROMOCIJAS DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS .....</b>	<b>5</b>
<b>1. METODOLOĢIJA.....</b>	<b>12</b>
Galveno izpildes rādītāju novērtēšanas pieeja .....	12
Datu avoti un rīki ģeotelpiskai kartēšanai .....	13
CO <sub>2</sub> valorizācijas SVID analīzes ietvars .....	14
Anketēšanas izstrāde un ieinteresēto personu piesaistes metodes .....	15
Nacionālās un starptautiskās CO <sub>2</sub> valorizācijas politikas likumiskais apskats.....	16
Atbalsta likumdošanas pasākumu novērtēšana.....	17
SEG inventarizācijas metodoloģija mežsaimniecības atlikumu scenārijiem.....	18
Pārejas emisiju analīze. Pāreja uz biometāna ražošanu .....	20
<i>LCA</i> un <i>S-LCA</i> metodoloģijas CO <sub>2</sub> valorizācijas projektiem.....	21
<b>2. REZULTĀTI .....</b>	<b>22</b>
CO <sub>2</sub> valorizācijas <i>KPI</i> novērtējuma secinājumi .....	22
CO <sub>2</sub> valorizācijas potenciāla telpiskais sadalījums .....	23
Valorizācijas stipro un vājo pušu, iespēju un draudu noteikšana .....	24
Anketēšanas rezultāti. Ieinteresēto personu uztvere par CO <sub>2</sub> emisijām .....	25
CO <sub>2</sub> tiesību aktu salīdzinošā analīze dažādās jurisdikcijās.....	26
CO <sub>2</sub> tehnoloģijas atbalstošo politikas instrumentu novērtējums.....	27
Emisiju daudzums no biomasas produktu scenārija.....	29
Galaprodukta izmaiņu ietekme uz SEG emisijām .....	31
Vides un sociālā ietekme, pamatojoties uz <i>LCA</i> un <i>S-LCA</i> .....	32
<b>3. DISKUSIJA .....</b>	<b>35</b>
<b>SECINĀJUMI .....</b>	<b>38</b>

# PROMOCIJAS DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

## Tēmas aktualitāte

Pieaugot vides problēmām un globālajai sabiedrības vēlmei pēc ilgtspējīgas attīstības, oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>) valorizācija kļūst īpaši aktuāla. CO<sub>2</sub>, kas ir viens no galvenajiem globālās sasilšanas veicinātājiem, veidojas rūpniecisko un enerģētisko procesu rezultātā un rada būtisku apdraudējumu ekosistēmai un sabiedrības veselībai. CO<sub>2</sub> valorizācija ir daudzsolīga attīstības joma, kurā oglekļa dioksīds netiek uzskatīts par atkritumu, bet gan par resursu, ko iespējams pārveidot noderīgos produktos, piemēram, būvmateriālos, ķīmiskajās vielās un degvielā. Tas ļauj samazināt emisijas, mazināt atkarību no fosilajiem resursiem, kā arī stiprināt un dažādot valsts ekonomiku un enerģētikas nozari.

Oglekļa uztveršanas un izmantošanas tehnoloģiju (*Carbon Capture and Utilisation, CCU*) ieviešanas iespēju īstenošana reģionālā līmenī paver iespējas izstrādāt efektīvas emisiju samazināšanas stratēģijas, apvienojot vides un ekonomiskos ieguvumus. Šādu pieeju īstenošana ir būtiska klimata mērķu sasniegšanai un ilgtspējīgas attīstības veicināšanai, īpaši nozarēs ar augstu oglekļa emisiju intensitāti.

## Pētījuma mērķis un uzdevumi

Promocijas darbā tiek visaptveroši izvērtēts oglekļa uztveršanas, uzglabāšanas un izmantošanas (*CCUS*) tehnoloģiju ieviešanas potenciāls Latvijā, noteiktas *CCUS* ieviešanas prasības, ņemot vērā vides, tehnoloģiskos, likumiskos un sociālos aspektus, un izstrādāta integrēta CO<sub>2</sub> valorizācijas metodoloģija. Mērķis ir izstrādāt integrētu metodoloģiju, kas identificē CO<sub>2</sub> valorizācijas prasības, virzītājspēkus un izaicinājumus Latvijā.

Lai sasniegtu darba mērķi, tika noteikti un izpildīti šādi uzdevumi:

- 1) identificēt un raksturot piemērojamās *CCUS* tehnoloģijas un novērtēt to potenciālo atbilstību Latvijā;
- 2) noteikt galvenos parametrus un kritērijus CO<sub>2</sub> efektīvai izmantošanai Latvijā;
- 3) kartēt un analizēt galvenos CO<sub>2</sub> emisiju avotus un potenciālās izmantošanas vietas Latvijā, izmantojot telpiskos un tehniskos datus;
- 4) novērtēt *CCUS* tehnoloģiju ieviešanas iespējas un perspektīvas Latvijā un ES;
- 5) novērtēt publiskā un uzņēmējdarbības sektora informētību un velmi atbalstīt vai iesaistīties CO<sub>2</sub> valorizācijas iniciatīvās;
- 6) izpētīt iespējas integrēt CO<sub>2</sub> bioproduktu ražošanā un bioproduktos balstītās vērtību ķēdēs;
- 7) novērtēt *CCUS* izmantošanas scenāriju ietekmi uz vidi un sabiedrību, izmantojot dzīves cikla un sociālā dzīves cikla novērtēšanas metodes.

## Izvirzītā hipotēze

Integrētu CO<sub>2</sub> valorizācijas tehnoloģiju var lietot, lai novērtētu CO<sub>2</sub> valorizācijas iespējas, ieviešot *CCUS* tehnoloģijas Latvijā. Saskaņojot to ar valsts tiesisko regulējumu, telpiskajiem un resursu pamatnostādņēm, kā arī sabiedrības pieņemšanu, CO<sub>2</sub> valorizācijas tehnoloģijām ir

potenciāls veicināt valsts aprites ekonomikas attīstību, samazināt SEG emisijas un atbalstīt ilgtspējīgu vērtību ķēžu izveidi, kas raksturīgas Latvijas kontekstam.

Piedāvātais *CCUS* valorizācijas ceļvedis varētu apvienot uzņēmumus ar politikas veidotājiem, akadēmisko un pilsonisko sektoru, lai atbalstītu reģionālā  $\text{CO}_2$  valorizācijas ceļveža izstrādi no analīzes un līdz ieviešanai.

### **Promocijas darba zinātniska novitāte**

Promocijas darbs piedāvā jaunu, starpdisciplināru metodoloģiju  $\text{CO}_2$  valorizācijas ceļu novērtēšanai aprites ekonomikas kontekstā, īpaši piemērojot to Latvijai. Izstrādātā pieeja apvieno juridiskos, tehnoloģiskos, vides un sociālos aspektus un integrē 10 analītiskās metodes, kas pašreizējos pētījumos reti tiek apvienotas vienotā ietvarā.

Darbā izmantotās analīzes metodes

- Sistemātiskā literatūras analīze, lai identificētu tendences un trūkumus *CCUS* tehnoloģiju ieviešanā un salīdzinātu labāko praksi  $\text{CO}_2$  valorizācijas jomā.
- Galveno izpildes rādītāju metode, lai novērtētu tehnisko, ekonomisko un vides rādītājus dažādos scenārijos.
- Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīze, lai nodrošinātu strukturētu valorizācijas iespēju salīdzināšanu.
- *ArcGis* kartes un analīze, lai vizualizētu un novērtētu  $\text{CO}_2$  izmantošanas ceļu teritoriālo piemērojamību.
- *SVID* analīze, lai iegūtu stratēģiskas atziņas, pamatojoties uz iekšējām stiprām un vājām pusēm, kā arī ārējām iespējām un draudiem.
- Izplūdušās loģikas kognitīvā kartēšana, lai modelētu savstarpējo atkarību starp sociālajiem, tehnoloģiskajiem un juridiskajiem mainīgajiem.
- Anketēšana (sabiedrība un uzņēmēji), lai novērtētu sociālo atbalstu un ieinteresēto personu iesaisti.
- Siltumnīcefekta gāzu emisiju inventarizācija, lai kvantitatīvi noteiktu emisiju samazinājumu biomasas un enerģijas scenārijos.
- Dzīves cikla analīze, lai novērtētu  $\text{CO}_2$  valorizācijas ietekmi uz vidi.
- Sociālā dzīves cikla analīze, lai novērtētu ar  $\text{CO}_2$  valorizāciju saistīto ietekmi uz cilvēkiem un sabiedrību.

Lai gan daudzas no izmantotajām metodēm ir individuāli lietotas  $\text{CO}_2$  pārvaldības vai aprites ekonomikas pētījumos, šis pētījums ir viens no pirmajiem, kas tās ir apvienojis visaptverošā, scenārijos balstītā ietvarā  $\text{CO}_2$  valorizācijas stratēģiju novērtēšanai. Metodoloģiskā inovācija ir nevis rīku jaunumā, bet gan kvalitatīvo, gan kvantitatīvo analīžu sistemātiskā integrācijā, kas ļauj veikt starpnozaru novērtējumu sarežģītiem, kontekstam specifiskiem  $\text{CO}_2$  izmantošanas scenārijiem. Promocijas darbs piedāvā šo metožu holistisku integrāciju vienotā lēmumu atbalsta ietvarā, kas pielāgots reģionālajām īpatnībām un politikas mērķiem. Šis pētījums ir pirmais Latvijā, kas piedāvā šādu  $\text{CO}_2$  valorizācijas pieeju, kas balstīta valsts likumdošanas kontekstā un ko atbalsta gan ieinteresēto personu vadīta, gan datos balstīta analīze.

## **Promocijas darba praktiskā nozīme**

Dažādu CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanas tehnoloģiju un šādu tehnoloģiju ieviešanas prasību izpēte, kas ļauj noteikt nepieciešamos pasākumus vides situācijas uzlabošanai reģionā. Darba rezultāts ir darba kartes (ceļveža) – algoritma politikas veidotājiem un valdībām CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanas problēmas risinājuma apsvēršanā, optimālā risinājuma atrašanā un reģiona tehnoloģiskajā attīstībā – izveide.

## **Promocijas darba struktūra**

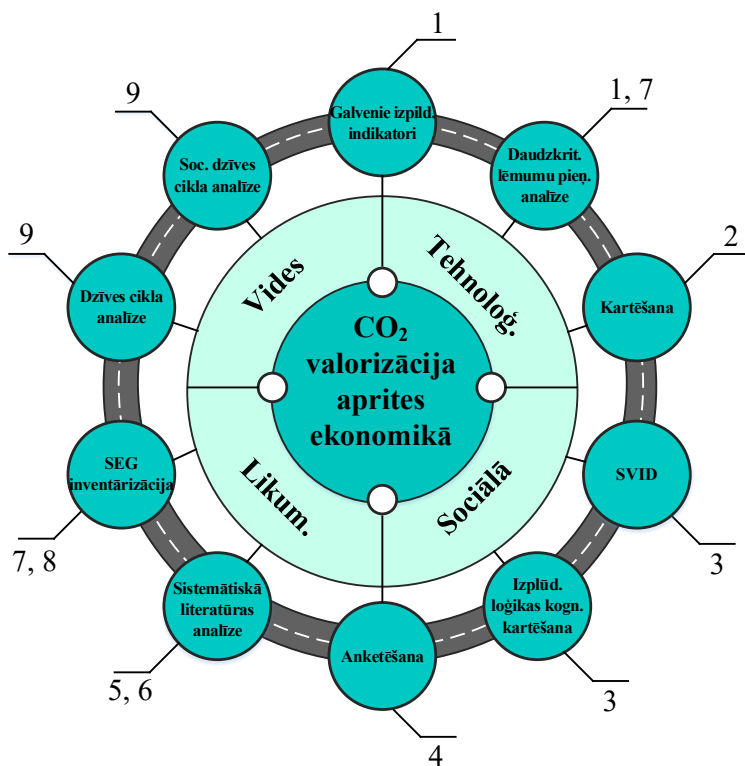
Promocijas darbs ir veidots kā deviņu zinātnisko publikāciju, kas publicētas dažādos zinātniskos žurnālos un pieejamas citēšanai zinātniskajās datubāzēs, apkopojums. Katra publikācija ir veltīta CO<sub>2</sub> emisiju problēmai, aprakstot šīs problēmas analīzes un/vai risināšanas metodes. Rakstos izmantots Latvijas piemērs, tomēr piedāvātie risinājumi ir lietojami arī citās valstīs.

Darbs ietver ievadu un četras nodaļas.

1. Literatūras analīze.
2. Analīzes metodoloģija.
3. Rezultāti.
4. Diskusija.

Ievadā aprakstīta izvēlētās tēmas aktualitāte, formulēts darba mērķis un definētie uzdevumi tā sasniegšanai, izvirzīta hipotēze, kā arī izklāstīta pētījuma zinātniskā novitāte un praktiskā nozīme.

Pirmajā nodaļā sniegts pārskats par aplūkojamo tēmu – CO<sub>2</sub> problēmu, potenciālajām tehnoloģijām tā daudzuma samazināšanai atmosfērā un citu valstu pieredzes piemēriem. Otrajā nodaļā norādītas metodes, kas tika izmantotas CO<sub>2</sub> daudzuma novērtēšanai, tā valorizācijas metodes un alternatīvu klasifikācija tā izmantošanai. Trešajā un ceturtajā nodaļā analizēti un apspriesti pētījuma rezultāti un izteikti secinājumi.



1. att. Promocijas darba shēma.

1. attēlā redzama darba konceptuālā shēma. Ārējā aplī redzamas pētījumā izmantotās analīzes metodes. Katra metode ir aprobēta atbilstošā publikācijā, publikācijas numurs ir norādīts blakus katrai analīzei. Visas izmantotās metodes ir integrētas četros galvenajos aspektos – vides, tehnoloģiskajā, likumiskajā un sociālajā. Kopā šie aspekti veido visaptverošu pamatu CO<sub>2</sub> valorizācijas potenciāla novērtēšanai Latvijā.

Promocijas darbs balstīts 10 publikācijās.

1. **Terjanika V.**, Pubule J., Gusca J., Blumberga D. Analysis of CO<sub>2</sub> Valorisation Options for Regional Development. *Environmental and Climate Technologies* 2021:25(1):243–253. doi: 10.2478/rtuect-2021-0017.
2. **Terjanika V.**, Pubule J., Blumberga D. Regional Development Scenarios and Model Boundaries for CCU in Energy Sector in Latvia. *IEEE* 2021. doi: 10.1109/RTUCON53541.2021.9711727.
3. **Terjanika V.**, Pubule J. Barriers and Driving Factors for Sustainable Development of CO<sub>2</sub> Valorisation. *Sustainability* 2022:14(9):5054. doi: 10.3390/su14095054 (Q1).
4. **Terjanika V.**, Vetrinska L., Pubule J. CO<sub>2</sub> as a Resource. Society's Willingness to Pay Analysis. *Environmental and Climate Technologies* 2022:26(1):806–821. doi: 10.2478/rtuect-2022-0061.

5. **Terjanika V.**, Zarins E., Balode L., Pubule J. Legal Framework Analysis for CO<sub>2</sub> Utilisation. *Environmental and Climate Technologies* 2022:26(1):917–929. doi: 10.2478/rtuect-2022-0069.
6. **Terjanika V.**, Pubule J., Zarins E., Blumberga D. Policy Instruments for CO<sub>2</sub> Valorisation Support. *e-Prime - Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy* 2023:4:100181. doi: 10.1016/j.prime.2023.100181 (Q2).
7. Viksne G., Vamza I., **Terjanika V.**, Bezrucko T., Pubule J., Blumberga D. CO<sub>2</sub> Storage in Logging Residue Products with Analysis of Energy Production Scenarios. *Environmental and Climate Technologies* 2022:26(1):1158–1168. doi: 10.2478/rtuect-2022-0087.
8. **Terjanika V.**, Sanchez Valdespino A. A., Pubule J. Calculation of Greenhouse Gas Savings: Switch from Electricity Production to Biomethane. Case Study. *Environmental and Climate Technologies* 2023:27:836–849. doi: 10.2478/rtuect-2023-0061 (Q2).
9. **Terjanika V.**, Pubule J. Sustainability Assessment of CO<sub>2</sub> Valorisation Routes for Latvia: LCA and S-LCA Approach (submitted to Environmental and Climate Technologies).
10. **Terjanika V.**, Laktuka K., Vistarte L., Pubule J., Blumberga D. Co-creating low-carbon futures: An open innovation roadmap for regional CO<sub>2</sub>. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* 2025:11(3):100596. doi: 10.1016/j.joitmc.2025.100596 (Q1).

Autores publikācijas, kas nav saistītas ar promocijas darbu

1. Kramens J., Vigants E., Liepins I., Vernieks L., **Terjanika V.** Research of a Biomass Boiler with Stirling Engine Microgeneration Unit. *Environmental and Climate Technologies* 2021:25(1):587–599. doi: 10.2478/rtuect-2021-0043.
2. Kramens J., Vigants E., Liepins I., **Terjanika V.** Research of biomass micro-cogeneration system integration with a solar pv panels in zero-energy family building. *Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference* 2021:1:132–138. doi: 10.17770/etr2021voll.6568.
3. Bezrucko t., Lauka D., Laktuka K., Sniega L., Vamza I., Dzalbs A., **Terjanika V.**, Blumberga D. Bioeconomy towards green deal. Case study of citric acid production through fuzzy cognitive maps. *Environmental and Climate Technologies* 2022:26(1):684–696. doi: 10.2478/rtuect-2022-0052.
4. Valtere M., Kaleja D., Kudurs E., Kalnbalkite A., **Terjanika V.**, Zlaugotne B., Pubule J., Blumberga D. The Versatility of the Bioeconomy. Sustainability Aspects of the Use of Bran. *Environmental and Climate Technologies* 2022:26(1):658–669. doi: 10.2478/rtuect-2022-0050.
5. Kalnbalkite A., Brakovska V., **Terjanika V.**, Pubule J., Blumberga D. The tango between the academic and business sectors: Use of co-management approach for the development of green innovation. *Innovation and Green Development* 2023:2(4):100073. doi: 10.1016/j.igd.2023.100073 (Q1).

6. **Terjaņika V.**, Pubule J., Mihailova E., Zlaugotne B. Analysing Metal Melting Methods for Green Transformation of Scrap Metal: Case Study of Latvia using MCDA and SWOT Analysis. *Environmental and Climate Technologies* 2024:28(1):1–11. doi: 10.2478/rtuct-2024-0001 (Q2).

Katra publikācija, papildus tam, ka tajā tiek izmantota konkrēta analīzes metode, ir arī konkrēta aspekta daļa (1. tab.).

1. tabula

Zinātniskās publikācijas, kas izmantotas promocijas darbā

Aspekti	Nr.	Publikācijas nosaukumus
Tehnoloģiskais	1.	<i>Analysis of CO<sub>2</sub> Valorisation Options for Regional Development</i>
Tehnoloģiskais	2.	<i>Regional Development Scenarios and Model Boundaries for CCU in Energy Sector in Latvia</i>
Tehnoloģiskais, vides	3.	<i>Barriers and Driving Factors for Sustainable Development of CO<sub>2</sub> Valorisation</i>
Sociālais	4.	<i>CO<sub>2</sub> as a Resource. Society's Willingness to Pay Analysis</i>
Likumiskais	5.	<i>Legal Framework Analysis for CO<sub>2</sub> Utilisation</i>
Likumiskais	6.	<i>Policy Instruments for CO<sub>2</sub> Valorisation Support</i>
Tehnoloģiskais, vides	7.	<i>CO<sub>2</sub> Storage in Logging Residue Products with Analysis of Energy Production Scenarios</i>
Tehnoloģiskais, vides	8.	<i>Calculation of Greenhouse Gas Savings: Switch from Electricity Production to Biomethane</i>
Tehnoloģiskais, vides	9.	<i>Sustainability Assessment of CO<sub>2</sub> Valorisation Routes for Latvia: LCA and S-LCA Approach</i>
Tehnoloģiskais, sociālais, likumiskais, vides	10.	<i>Co-creating low-carbon futures: An open innovation roadmap for regional CO<sub>2</sub></i>

**Promocijas darba aprobācija**

1. Starptautiskā zinātniskā konference CONECT 2021, 12.–14.11.2021., Rīgas Tehniskā Universitāte, Rīga, Latvija.
2. 2021 IEEE 62<sup>nd</sup> International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON), 15.–17.11.2021., Rīgas Tehniskā Universitāte, Rīga, Latvija.
3. Starptautiskā zinātniskā konference CONECT 2022., 11.–13.05.2022., Rīgas Tehniskā Universitāte, Rīga, Latvija.
4. 17<sup>th</sup> SDEWES Conference Paphos 2022, 06-10.11.2022, Pafa, Kipra.
5. Starptautiskā zinātniskā konference CONECT 2023., 10.–12.05.2023., Rīgas Tehniskā Universitāte, Rīga, Latvija.

6. Starptautiskā zinātniskā konference CONECT 2024, 15.–17.05.2024., Rīgas Tehniskā Universitāte, Rīga, Latvija.
7. Starptautiskā zinātniskā konference CONECT 2025, 14.–16.05.2025., Rīgas Tehniskā Universitāte, Rīga, Latvija.

Promocijas darba pētījuma izstrādi finansēja Latvijas Zinātnes padome, projekts *CO<sub>2</sub> Deal: Effective Valorisation of CO<sub>2</sub> for Decarbonised Regional Development*, projekta Nr. Izp-2020/1-0302.

Promocijas darbs ir izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu darbības programmas “Growth and Employment” (“Izaugsme un nodarbinātība”) 8.2.2. specifiskā mērķa “To Strengthen Academic Staff of Higher Education Institutions in Strategic Specialisation Areas” (“Stiprināt augstākās izglītības iestāžu akadēmisko personālu stratēģiskās specializācijas jomās”) projektā Nr. 8.2.2.0/20/I/008 “Strengthening of PhD students and academic personnel of Riga Technical University and BA School of Business and Finance in the strategic fields of specialisation” (“Rīgas tehniskās universitātes un BA Biznesa un finanšu augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskajās specializācijas jomās”).

# 1. METODOLOĢIJA

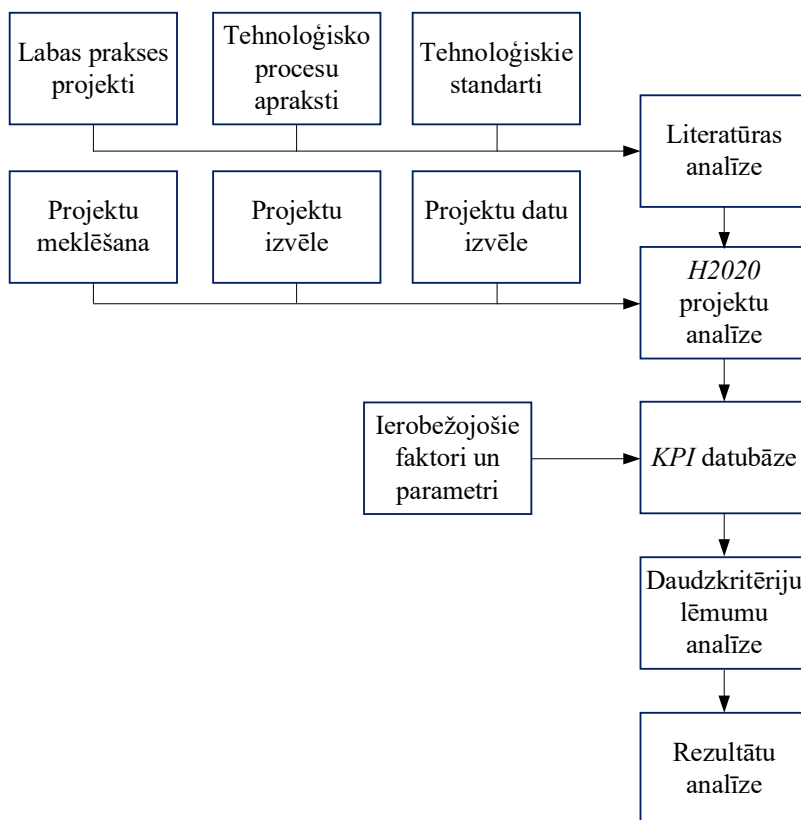
Šajā nodaļā sniegta visaptveroša metodoloģija CO<sub>2</sub> valorizācijas ceļu analīzei, integrējot gan kvalitatīvas, gan kvantitatīvas pieejas, lai novērtētu CCUS tehnoloģiju ieviešanu un izmantošanu. Nodaļā aplūkoti dažādi rīki CO<sub>2</sub> valorizācijas scenāriju novērtēšanai. Šie rīki ietver *KPI*, *MCDA*, *SVID* analīzi, ĢIS kartēšanu, anketēšanu, *SEG* inventarizāciju, *LCA* un *S-LCA*. Šī nodaļa, kas strukturēta deviņās apakšnodaļās, katrai koncentrējoties uz atšķirīgu analītisko metodi, analizē dažādus CO<sub>2</sub> valorizācijas scenārijus, lai novērtētu optimālo CCUS tehnoloģiju ieviešanas ceļu.

## Galveno izpildes rādītāju novērtēšanas pieeja

Pirmais solis metodoloģijā definē snieguma rādītājus, lai novērtētu CO<sub>2</sub> valorizācijas scenāriju iespējamību un efektivitāti. Tas ir nepieciešams, lai izprastu tehnoloģiju prasības (CO<sub>2</sub> valorizācijai) un sekojošu jau esošo tehnoloģiju analīzi Latvijā.

Pētījumā par CO<sub>2</sub> valorizācijas iespēju tika izmantota metodoloģiju kombinācija – literatūras sistemātiskā analīze, *HORIZON2020* projektu datu analīze (*H2020*), galveno veiktspējas (jeb izpildes) rādītāju (*KPI*) analīze un daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīze.

Literatūras avoti tika izmantoti, lai meklētu metodes CO<sub>2</sub> izmantošanai ražošanā, gāzes nepieciešamos parametrus, daudzumus un citus svarīgus datus. Analīze ietvēra pieejamo tehnoloģiju, tehnisko ziņojumu, *H2020* projektu pārskatu (kopumā 32 000 projekti, no kuriem 242 ietvēra CO<sub>2</sub> izmantošanu un/vai uzglabāšanu). Pēc tam tika izveidota *KPI* tabula, kurā apkopoti 47 vispārējie rādītāji (kas piemērojami dažādiem ražošanas sektoriem) un 28 ražošanas specifiskie rādītāji (kas piemērojami tikai konkrētai jomai). Kur iespējams, rādītāji ietver CO<sub>2</sub>. *KPI* kvantitatīvie dati tika izmantoti kā atsaucis punkts daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīzei. Algoritms redzams 2. attēlā.



2. att. Metodoloģijas shēma.

Galvenās jomas, kurām tika piešķirtas indikatoru vērtības (atsaucoties uz *H2020* projektiem), ir metanola un cementa ražošana, kā arī dzesēšanas iekārtas un aļģu dīķi. Alternatīvas, kas tika izvēlētas tālākai analīzei, ir metanola un cementa ražošana, aļģu dīķi/siltumnīcas, pārtika un dzērieni. Kā analīzes metode tika izvēlēta līdzības ar ideālo risinājumu priekšrocību secības noteikšanas metode, salīdzinot kritērijus (kritēriji un to vērtības tika izvēlēti, balstoties pieejamos *H2020* datos).

- Atļautais piejaukumu daudzums CO<sub>2</sub> plūsmā.
- Elektrība uz 1 tonnu produkta.
- Nepieciešamais CO<sub>2</sub> daudzums uz 1 tonnu produkta.
- Ražotais CO<sub>2</sub> daudzums.
- Tehnoloģijas ieviešanas vienkāršība jau eksistējošā procesā.

### Datu avoti un rīki ģeotelpiskai kartēšanai

Otrais metodoloģijas solis – ĢIS balstīta analīze – tiek izmantots, lai novērtētu CO<sub>2</sub> avotu un potenciālo izmantošanas vietu ģeogrāfisko izplatību. Šī metode tika izvēlēta, lai vizualizētu reģionālās atšķirības, infrastruktūras trūkumus un telpisko atkarību, kas ietekmē CCUS

ieviešanas praktiskumu. Analīze ir nepieciešama, lai noteiktu prioritārās zonas *CCUS* ieviešanai un novērtētu reģionālos emisiju datus, iespējamo tuvumu rūpniecības klasteriem.

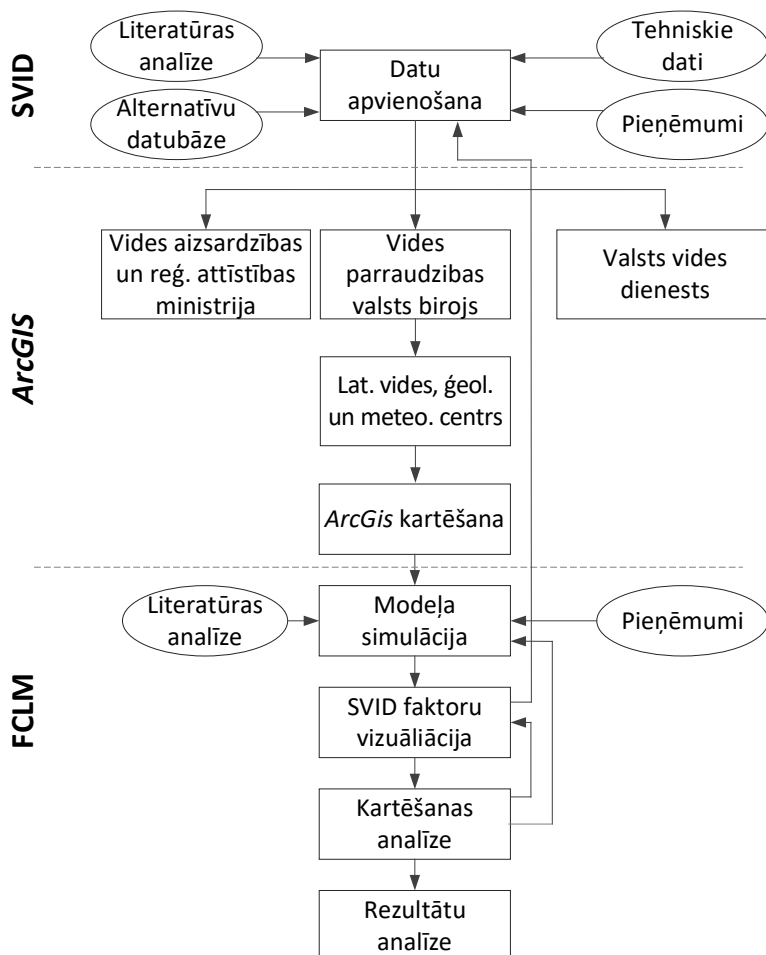
Lai noteiktu reģionu attīstības potenciālu un analizētu iespējas izmantot oglekļa dioksīda uztveršanas un izmantošanas tehnoloģijas enerģētikas nozarē, tika izpildīti vairāki uzdevumi.

1. Literatūras avotu analīze, lai identificētu iespējas izmantot gan tīru, gan industriālu CO<sub>2</sub> jaunu preču ražošanā. Tika identificēti faktori, kas ierobežo CO<sub>2</sub> izmantošanu konkrētajā tehnoloģijā.
2. Nacionālo datubāzu pētījums, lai identificētu CO<sub>2</sub> emitētājus un iespējamus utilizētājus Latvijā. Lielākie CO<sub>2</sub> emitētāji (A atļauja) ir rūpniecības sektors, enerģētikas nozare un poligoni. B atļaujas kategorijā lielākie emitētāji ir pārtikas un dzērienu, rūpniecības, enerģētikas, ķīmiskā un naftas pārstrādes nozares. Kur tas bija iespējams, dati par CO<sub>2</sub> daudzumu tika ņemti no uzņēmumu gada pārskatiem.
3. Trūkstāso datu analīze, tos papildinot ar statistisko datubāzu pētījumu. Šajā pētījumā netiek atdalīts CO<sub>2</sub> izcelsmes avots – vai tas bija rezultāts ēku apkures procesam, vai arī blakusprodukts ražošanas procesā. Pētījuma mērķis ir analizēt kopējo saražoto CO<sub>2</sub> daudzumu un iespēju to izmantot turpmāk.
4. Visu novēroto uzņēmumu (CO<sub>2</sub> ražotāju un utilizētāju) attēlošana kartēs, izmantojot *ArcGis* programmu.

### **CO<sub>2</sub> valorizācijas SVID analīzes ietvars**

Nākamajā metodoloģijas solī tika veikta SVID analīze, lai veiktu visaptverošu CO<sub>2</sub> uztveršanas un/vai izmantošanas iespēju analīzi trīs līmeņos – Eiropas Savienībā, Latvijā un uzņēmumos. SVID analīzes izmantošana kopā ar kartogrāfiskajām programmām (*ArcGis*) lēmumu pieņēmējiem ļauj izvērtēt piedāvātos problēmas risinājumus un pareizi noteikt to prioritātes. Veicot izvēli augstos līmeņos, šī kombinācija palīdzēs nodrošināt risinājuma pārredzamību un tā visaptverošumu.

Lai veiktu vēl plašāku tehnoloģiju ieviešanas problēmas analīzi, tika izvēlēta papildu analīze – izplūdušās loģikas kognitīvā kartēšana (*FLCM*). Šo analīzi var raksturot kā veidu, kas parāda izplūdušās loģikas saiknes starp dažādiem faktoriem. *FLCM* modeļi ir noderīgi, modelējot sarežģītas sistēmas un sistēmas, kurās ir liels faktoru skaits, kas ietekmē lēmumu pieņemšanu. Algoritms redzams 3. attēlā.



3. att. Veiktas analīzes algoritms.

### Anketēšanas izstrāde un ieinteresēto personu piesaistes metodes

Šajā metodoloģijas solī tika izstrādāta aptauja, kuras mērķis ir izprast sabiedrības un uzņēmēju uztveri, informētību par CO<sub>2</sub> valorizācijas pieņemšanu. Šī metode sniedz būtisku sociālo aspektu citādi tehniskajam novērtējumam. Par galveno pētījuma rīku tika izvēlēta respondentu anketēšana. Anketēšana (izmantojot *convenience sampling* jeb nereprezentatīvu paraugu ņemšanas metodi) tika veikta elektroniski, izmantojot anketu, jo anketēšanas laikā joprojām pastāvēja vairāki *Covid-19* ierobežojumi, kas neļāva veikt respondentu klātienēs aptauju.

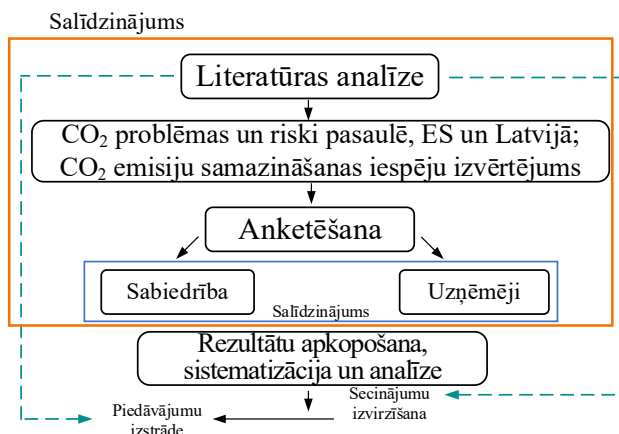
Literatūras analīze un galveno faktoru identificēšana, kas ietekmē CCS un CCUS tehnoloģiju ieviešanu, veido darba pamatu. Tālāk tika definēta aptaujas mērķauditorija. Šī aptauja tika izstrādāta divām galvenajām grupām – uzņēmējiem un sabiedrībai. Pētījuma

mērķis bija noskaidrot cilvēku viedokļus par CO<sub>2</sub> emisijām, iespējamajiem pasākumiem to mazināšanai un respondentu gatavību maksāt par šīm emisijām.

Sabiedrība tika aicināta atbildēt uz deviņiem slēgtā tipa jautājumiem (papildus galvenajiem jautājumiem par vecumu, iegūto izglītību un pašlaik ieņemamo amatu). Respondentiem tika lūgts norādīt savu viedokli par CO<sub>2</sub> emisiju jautājumu nozīmīgumu un to, kādi ar emisijām saistīti jautājumi viņiem šķiet īpaši aktuāli gan globāli, gan attiecībā uz valsti un konkrēti viņiem. Īpaša uzmanība tika pievērsta jautājumam par sabiedrības viedokli – vai ir vērts veikt izmaiņas valstī, lai cīnītos ar emisijām, kā arī cilvēku pašu viedoklim / gatavībai finansiāli ieguldīties šajā cīņā.

Uzņēmējiem paredzētā anketa ietvēra piecus atvērtā tipa jautājumus (papildus galvenajiem jautājumiem par uzņēmuma nozari). Respondentiem tika lūgts norādīt īpaši svarīgus iemeslus, kāpēc viņi varētu veikt izmaiņas uzņēmumā saistībā ar CO<sub>2</sub> emisijām, kā arī kas varētu viņus motivēt veikt šīs izmaiņas.

Pētījums tika veikts saskaņā ar 4. attēlā redzamo algoritmu.



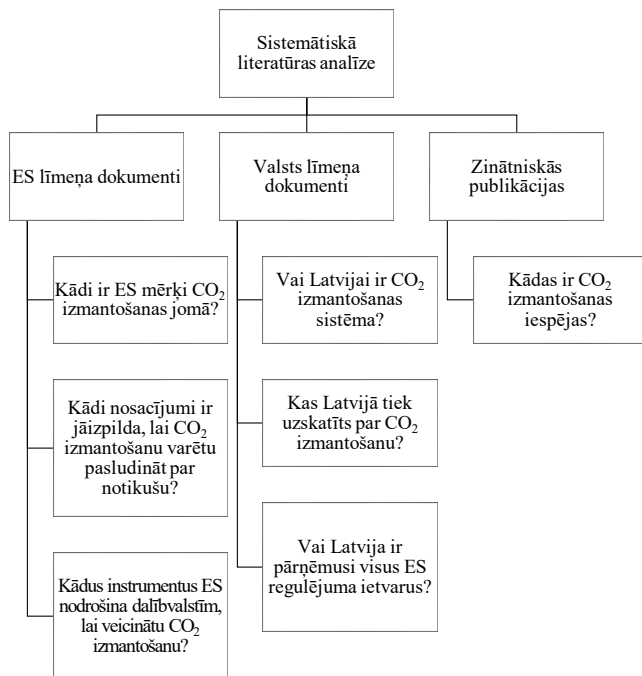
4. att. Pētījuma algoritms.

## Nacionālās un starptautiskās CO<sub>2</sub> valorizācijas politikas likumiskais apskats

Nākamais metodoloģijas solis ir salīdzinošās likumu pārskatīšanas metode, kas tiek izmantota, lai analizētu CO<sub>2</sub> izmantošanas regulējumu gan valsts, gan starptautiskā līmenī. Šī metode balstās likumiskajā tekstā, politikas dokumentos un stratēģisko ietvaru strukturētā satura analizē. Tās mērķis ir identificēt regulējuma nepilnības, atbilstību klimata mērķiem un spēkā esošo likumu veicinošo vai ierobežojošo raksturu.

Pētījums ietver aprakstošu un sistemātisku literatūras analīzi gan starptautiskajos, gan nacionālajos tiesību aktos attiecībā uz CO<sub>2</sub> emisijām. Pētījumā tika iekļauta un uzskaitīta CO<sub>2</sub>, CCS, CCUS, CCU, oglekļa/CO<sub>2</sub> izmantošana, oglekļa/CO<sub>2</sub> uztveršana un oglekļa/CO<sub>2</sub> uzglabāšana. Tiesību avotu analīze par iespējām izmantot, uztvert un uzglabāt CO<sub>2</sub> balstījās

politiskajā ietvarā, politikas instrumentos un CO<sub>2</sub> emisiju izmantošanas likumdošanā Latvijā un Eiropas Savienībā. Sistemātiskai literatūras analīzei tika izvēlētas trīs dokumentu grupas – ES līmeņa dokumenti, Latvijas līmeņa dokumenti un zinātniskās publikācijas, katrai no tām tika definēti specifiski jautājumi (5. att.).



5. att. Sistemātiskā literatūras analīze.

Izpētot, cik lielā mērā valsts valdība ir orientēta uz CO<sub>2</sub> uztveršanu/reģenerāciju, šis pētījums analizēja Latvijas un ES nacionālos likumus. Papildus tika veikta vairāku ES dalībvalstu likumu izpēte – Lielbritānijas (ES dalībvalsts līdz 2020. gadam), Vācijas, Zviedrijas, Lietuvas un Igaunijas likumi.

## Atbalsta likumdošanas pasākumu novērtēšana

1.6. apakšnodaļa paplašina iepriekšējo apakšnodaļu, īpaši koncentrējoties uz mehānismiem, kas veicina un atbalsta CO<sub>2</sub> valorizāciju un motivē *CCUS* ieviešanu. Šajā pakāpju analīzē ir sniegta sistemātiska ES dalībvalstu tiesību aktu analīze. Mērķis ir novērtēt, kā atbalstoša politikas vide ietekmē *CCUS* tehnoloģiju dzīvotspēju un mērogojamību.

Sistemātiskā literatūras analīze par CO<sub>2</sub> valorizācijas atbalsta politikas instrumentiem ietver visaptverošu un strukturētu pieeju, lai identificētu un novērtētu attiecīgo literatūru, kas saistīta ar politikas instrumentiem, kas atbalsta CO<sub>2</sub> valorizācijas tehnoloģiju attīstību un ieviešanu. Literatūras analīze ietvēra dokumentus no trīs grupām:

- 1) pasaules līmeņa dokumenti, piemēram, Parīzes klimata nolīgums;

2) Eiropas līmeņa dokumenti, piemēram, Eiropas Parlamenta un Padomes Regula (ES) 2021/1119;

3) citu valstu piemēri cīņā pret klimata pārmaiņām un zinātniskā literatūra.

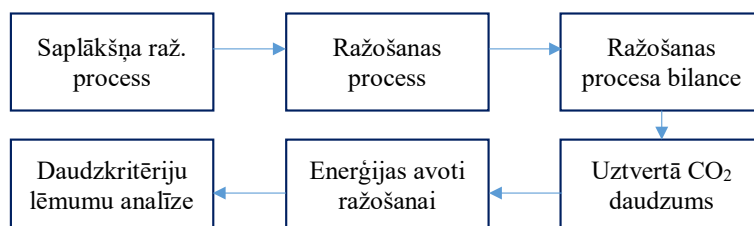
Sistemātiskā literatūras analīze ir būtisks instruments pētniecības jautājuma analīzei. Šī metode atšķiras no parastās literatūras analīzes ar to, ka tā balstās iepriekš definētā jautājumā, uz kuru atbildes tiek meklētas sistemātiski.

Tika izstrādāta meklēšanas stratēģija, lai identificētu atbilstošu literatūru par politikas instrumentiem, kas atbalsta CO<sub>2</sub> valorizācijas tehnoloģiju attīstību. Šajā procesā tika noteikti atbilstoši atslēgvārdi, datubāzes un meklēšanas termini. Par optimālu analīzes rīku tika izvēlēta atslēgvārdu meklēšana. Meklēšanai tika noteikti iekļaušanas un izslēgšanas kritēriji, lai nodrošinātu, ka analīzē tiek iekļauta tikai atbilstoša literatūra. Tika analizētas tikai tās politikas, kas ietvēra tehnoloģijas un/vai pasākumus CO<sub>2</sub> uztveršanai un/vai valorizēšanai jebkurā gatavības posmā. Analīze ietvēra politikas neatkarīgi no valodas, kurā dokumenti tika sagatavoti, tomēr tika ņemtas vērā tikai Eiropas Savienības valodas. Atsauktie likumdošanas dokumenti netika iekļauti analīzē. Tieši tādi paši kritēriji tika piemēroti visiem zinātniskajiem pētījumiem (ne vecākiem par pieciem gadiem). Vecāki dokumenti tika izmantoti tikai gadījumā, ja netika atrasti jaunāki dokumenti.

Pirmais uzdevums bija saprast, kuras valstis ir izstrādājušas nozīmīgākās klimata politikas, kas ietver politikas un politikas instrumentus. Otrajā solī šie politikas un politikas instrumenti tika kategorizēti pēc ietekmes un veida. Trešajā solī tika izvēlētas svarīgākās kategorijas, kas saistītas ar darba aktualitāti. Šīm kategorijām tika piešķirtas vērtības atbilstoši to nozīmei darba mērķiem un uzdevumiem. Kad katras valsts politikas un instrumenti tika izanalizēti, kategorizēti un novērtēti, rezultāti tika apkopoti, lai redzētu, kuri sabiedriskie politikas instrumenti un politikas ir visatbilstošākie promocijas darba mērķiem.

## SEG inventarizācijas metodoloģija mežistrādes atlikumu scenārijiem

Nākamais solis metodoloģijā ir CO<sub>2</sub> daudzuma noteikšana, ko var uzglabāt jaunā produktā, un tika izvēlēta plātņu koksnes izolācijas materiāla ražošana. Ražošanas metodoloģija ietver tādus posmus kā ražošanas procesa apraksts un nepieciešamo izejvielu aprēķins, kā arī CO<sub>2</sub> daudzuma aprēķins, ko var uzglabāt galīgajā produktā. Tika salīdzināti trīs dažādi scenāriji, izmantojot daudzkritēriju analīzes metodi. Visi metodoloģijas posmi redzami 6. attēlā.



6. att. Pētījuma algoritms.

Jaunās šķiedru plāksnes siltumizolācijas materiāla ražošanas procesam tika izvēlēts standarta sausais ražošanas process no labākās pieejamās tehnoloģijas koka paneļu ražošanai (*BAT Reference Document for the Production of Wood-based Panels*), kas tika pielāgots plāksnes ražošanai. Tika aprēķināts mizas, saistvielu un pildvielu, mitruma un koka svars 1 m<sup>3</sup> gatavās siltumizolācijas plāksnēs, ņemot vērā izvēlēto materiālu blīvumu un materiālu bilanci.

Tika pieņemts, ka jaunā rūpnīca gadā ražos 300 000 m<sup>3</sup> šķiedru plāksnes siltumizolācijas materiāla. Pieņemot, ka esošai rūpnīcai elektriskā jauda ir 5 MW, siltuma jauda ir 10 MW un tā darbojas 8000 stundas gadā, ražošanas rūpnīcai nepieciešams 0,13 MWh elektroenerģijas un 0,26 MWh siltumenerģijas, lai ražotu 1 m<sup>3</sup> šķiedru plāksnes siltumizolācijas materiāla.

Lai aprēķinātu iespējamo CO<sub>2</sub> daudzumu, kas var tikt uzglabāts materiālā, tika pārskatīti un izmantoti astoņi dažādi standarti biogēnā oglekļa uzskaitē produktos. Patlaban nav zinātniskas vienošanās par to, kurš standarts un metode ir vispiemērotākie izmantošanai, tāpēc tika ierosināts izmantot vidējo vērtību, kas iegūta no visiem standartiem.

Pirmais aprēķins par CO<sub>2</sub> uzglabāšanu materiālā tiek pieņemts kā vienāds visiem standartiem un tiek aprēķināts šādi:

$$mCO_2 = m_{\text{saus}}(\text{koksne}) \times C_f \cdot \frac{m \cdot m_{CO_2}}{m \cdot m_C}, \quad (1)$$

kur

$mCO_2$	sekvestrētā CO <sub>2</sub> masa, kgCO <sub>2</sub> ;
$m_{\text{saus}}(\text{koksne})$	sausās koksnes masa gatavā produktā, kg;
$C_f$	oglekļa saturs sausnā (koksnei = 0,5);
$m \cdot m_{CO_2}$	CO <sub>2</sub> molekulārā masa = 44 g/mol;
$m \cdot m_C$	oglekļa atoma masa = 12 g/mol.

Tiek aprēķināts tikai CO<sub>2</sub>, kas tiek uzkrāts no koka un mizas sastāva jaunajā produktā. Tiek pieņemts, ka mizas oglekļa saturs ir vienāds ar koka oglekļa saturu (50 %).

Lai maksimizētu CO<sub>2</sub> uzglabāšanas potenciālu jaunajam šķiedru plāksnes siltumizolācijas materiālam, ir jāizvērtē un jāanalizē enerģijas ražošanas avoti ražošanas procesam, jo enerģijas ražošana ir vienīgais nozīmīgākais emisiju avots un var potenciāli līdzsvarot CO<sub>2</sub>, kas tiek uzglabāts produktā. Tomēr atjaunojamo energoresursu izmantošana ne vienmēr var būt vispiemērotākā tehnoloģiski un ekonomiski izdevīgā izvēle. Tika novērtēti trīs enerģijas ražošanas scenāriji, pamatojoties uz piedāvāto ražošanas rūpnīcas jaudu – 5 MW elektriskā jauda un 10 MW siltuma jauda.

1. Siltuma un elektroenerģijas ražošanai izmantot biomasas katlu, kā kurināmo izmantojot koka skaidas.
2. Dabasgāzes katls ar gāzes turbīnas tehnoloģiju.
3. Koka biomasas katls, kas ražo tikai siltumenerģiju, izmantojot koka skaidas kā kurināmo un apvienojot to ar saules paneļiem (PV) elektroenerģijas ražošanai.

Lai izvērtētu vides ietekmi, katram scenārijam tika ņemti vērā pieci dažādi emisiju rādītāji: NO<sub>x</sub>, CO, VOC, PM un CO<sub>2</sub>.

Kapitāla izmaksas atsevišķai biomasas dedzināšanas stacijai tika pieņemtas par 30 % zemākas nekā attiecīgās siltuma jaudas katlam. Līdzīgi emisiju līmeņi atsevišķam biomasas

dedzināšanas katlam tika pieņemti tādi paši kā biomasas katlam, tomēr tie tika pārskaitīti, ņemot vērā kopējo siltuma efektivitāti (85 % vietā 60 %) un attiecas tikai uz ražoto siltumenerģiju.

Saules paneļu instalācija ar 4 MWe elektrisko jaudu tika pieņemta, ka tās maksimālā jauda ir 5,4 MWp. Šāda izmēra instalācijai kapitāla izmaksas ir 510 EUR/kWp, O&M (operāciju un uzturēšanas) izmaksas – 6,5 EUR/kWp.

Izmantojot daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīzi, tika salīdzināti trīs scenāriji. Kritēriji tika izvēlēti, ņemot vērā ekspertu viedokli, kuru darba profils ir tieši saistīts ar būvniecību, ilgtspējību un inovācijām, kā arī literatūras analīzi.

## Pārejas emisiju analīze. Pāreja uz biometāna ražošanu

Cita CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanas metode ir izvairīšanās metode. Šajā solī tiek pārbaudīta biogāzes stacijas pārejas no biogāzes ražošanas uz biometāna ražošanu un tās sekojošās integrācijas dabasgāzes tīklā efektivitāte. Šis solis palīdz izprast šādas pārejas iespējamību un atbilstību Eiropas tiesību aktiem attiecībā uz šādām iniciatīvām. Pētījums ietver šīs pārejas aprēķinus – siltumnīcefekta gāzu ietaupījumus, ņemot vērā resursu daudzveidību. Šajā darbā netika ņemts vērā attālumš līdz tīkla punktam.

Biogāzes stacija atrodas Latvijas centrālajā reģionā, Zemgalē, kur dzīvo 5 500 cilvēku. Reģiona kopējā platība ir 311,6 km<sup>2</sup>.

Pēc iegūtās informācijas, 2021. gadā stacija izmantoja nelielu daudzumu vairāk par 57 000 tonnu substrāta. Kopumā tika izmantoti 13 substrāti biogāzes ražošanai. Šis daudzums saražoja 5 621 708 Nm<sup>3</sup> biogāzes norādītajā periodā ar siltumspēju 29 860,417 MWh. Biogāze tika izmantota, lai ražotu 11 325,577 MWh siltumenerģijas un 11 619,62 MWh elektroenerģijas.

SEG aprēķins tika veikts, pamatojoties uz Direktīvu 2018/2001/EU (*REDII*).

Ir divi veidi, kā aprēķināt siltumnīcefekta gāzu ietaupījumus – faktiskajā vērtībā un noklusētajā vērtībā balstīta pieeja. Ņemot vērā to, ka noklusētā metode balstās ierobežotā un specifiskā resursu veidā (biogāzei – mitrie mēsli, sausie mēsli, sadzīves atkritumi), siltumnīcefekta gāzu ietaupījumu aprēķināšanai darbā tika izmantota faktiskā vērtības aprēķina metode.

2. vienādojums parāda emisiju aprēķinu gadījumā, ja tiek veikta kofermentācija ar dažādiem substrātiem biometāna ražošanā no biogāzes:

$$E = \sum S_n \cdot (e_{ec,n} + e_{td,feedstock,n} + e_{1,n} - e_{sca,n}) + e_p + e_{td,product} + e_u - e_{ccs} - e_{ccr} \quad (2)$$

kur

*E* kopējais emisiju daudzums no biometāna ražošanas (pirms pārejas), kgCO<sub>2</sub>eq/ton;

*S<sub>n</sub>* izejvielu (*n* tipa) daļa, izteikta kā frakcija no kopējā digestatorā ievadītā daudzuma;

*e<sub>ec,n</sub>* emisiju apjoms no izejvielu ieguves/audzēšanas (*n* tipa), gCO<sub>2</sub>eq/MJ galaprodukta;

*e<sub>td,feedstock,n</sub>* emisiju daudzums no *n* izejvielu transportēšanas līdz tvertnei, CO<sub>2</sub>eq/MJ galaprodukta;

$e_{l,n}$	gada emisijas no oglekļa krājumu izmaiņām, kas radušās zemes izmantošanas rezultātā $n$ izejvielu iegūšanai, gCO <sub>2</sub> eq/MJ galaprodukta;
$e_{sca,n}$	emisiju ietaupījumi no uzlabotas $n$ izejvielu lauksaimnieciskās apsaimniekošanas, gCO <sub>2</sub> eq/MJ galaprodukta;
$e_p$	emisijas no pārstrādes, g CO <sub>2</sub> /MJ galaprodukta;
$e_{td, product}$	emisijas no biometāna transportēšanas un izplatīšanas, gCO <sub>2</sub> eq/MJ galaprodukta;
$e_u$	emisijas no degvielas izmantošanasuse, g CO <sub>2</sub> /MJ galaprodukta;
$e_{ccs}$	emisiju ietaupījumi no oglekļa dioksīda uztveršanas un ģeoloģiskās uzglabāšanas, gCO <sub>2</sub> eq/MJ galaprodukta;
$e_{ccr}$	emisiju ietaupījumi no oglekļa uztveršanas un aizvietošanas, gCO <sub>2</sub> eq/MJ galaprodukta.

Vērtības  $e_{ec}$ ,  $e_t$ ,  $e_p$ , and  $e_u$  tiek aprēķinātas, izmantojot 3. vienādojumu:

$$e_{ec}, e_{td}, e_p, e_u = \frac{\sum \text{Materiāla ievades daudzums} \cdot \text{materiāla emisiju koeficients}}{\text{Materiāla iznākums}} \quad (3)$$

2. un 3. vienādojums ir sekojošo aprēķinu pamats.

## LCA un S-LCA metodoloģijas CO<sub>2</sub> valorizācijas projektiem

Piedāvātās metodoloģijas pēdējais solis ir CCUS tehnoloģiju dzīves cikla un sociālā dzīves cikla analīze. Šajā solī tiek apskatītas dzīves cikla emisijas, resursu izmantošana, darba apstākļi un ietekme uz sabiedrību. Apvienotā metode atbalsta holistisku ilgtspējības novērtējumu visā vērtību ķēdē.

Šajā apakšnodaļā sniegta analīzes metodoloģija diviem CO<sub>2</sub> izmantošanas scenārijiem – metanola un SAF etanola ražošanai. Abus produktus var izmantot kā enerģijas avotus, gan kā neatkarīgos kurināmos, gan kā alternatīvu fosilajiem kurināmajiem. Dzīvotspējas analīzes mērķis par CO<sub>2</sub> izmantošanu ražošanā ir novērtēt sociālās un vides ietekmes, kas saistītas ar CO<sub>2</sub> ražošanu, izmantošanu un iznīcināšanu šajos scenārijos. Dzīves cikla un sociālā dzīves cikla analīzē tika izvērtēti aspekti, kas saistīti ar visu CO<sub>2</sub> izmantošanas dzīves ciklu, tostarp augšupējo un lejupējo procesu, lai sniegtu visaptverošu izpratni par CO<sub>2</sub> izmantošanas potenciālajām sociālajām sekām. Abās dzīves cikla analīzēs tika izmantota pieeja “gate-to-gate” (no vārtiem līdz vārtiem), analizējot ietekmi, kas saistīta ar visu CO<sub>2</sub> izmantošanas dzīves ciklu ražošanas iekārtās. Sociālā dzīves cikla analīzē tika izmantota *SimaPro HotSpot* datubāze, savukārt dzīves cikla analīzē – *SimaPro Ecoinvent* datubāze. Analīzes metode – *ReCiPe Endpoint*. Analīzes telpiskā mēroga raksturs ir sektorāls, jo darbs analīzē konkrētas ražošanas procesus. Analīze salīdzina divus scenārijus un parāda, kurš no tiem būtu optimāls CO<sub>2</sub> izmantošanai Latvijā.

## 2. REZULTĀTI

Šajā nodaļā sniegti un interpretēti rezultāti, kas iegūti, izmantojot 1. nodaļā izklāstītās analīzes metodes. Secinājumi ilustrē katra CO<sub>2</sub> valorizācijas iespēju novērtēšanā piemērotā metodoloģiskā soļa rezultātus un ietekmi.

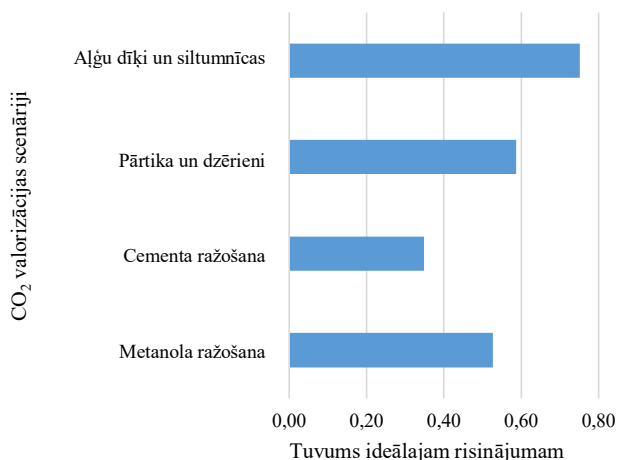
### CO<sub>2</sub> valorizācijas *KPI* novērtējuma secinājumi

CO<sub>2</sub> valorizācijas metožu analīzes procesā tika pētīti gan esošie un pašlaik notiekošie projekti CO<sub>2</sub> izmantošanai ražošanā, gan *H2020* programmas projekti. Analizējot *H2020* projektus (kuru mērķis ir izmantot CO<sub>2</sub> jaunu produktu ražošanā), tika izveidots un papildināts galveno rādītāju saraksts.

Izveidotajā galveno rādītāju tabulā ir 47 vispārējie rādītāji, no kuriem 17 ir saistīti ar enerģiju, ūdeni un materiāliem, 12 – vides jautājumiem, 18 – ekonomiku. Tabulā ir iekļauti arī 28 rādītāji, kas ir specifiski potenciālajām CO<sub>2</sub> izmantošanas jomām, piemēram, metanola ražošana, cementa ražošana, aļģu un siltumnīcu izmantošana.

Attiecībā uz daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīzi tika norādīts, ka optimālais veids CO<sub>2</sub> valorizēšanai ir tā izmantošana ķīmisko vielu, metanola, pārtikas un dzērienu ražošanā, kā arī cementa ražošanā (materiāla papildu karbonizēšanai). Tehnoloģijas CO<sub>2</sub> izmantošanai šajās jomās ir visattīstītākās un pieejamākās.

Scenāriji tika vērtēti pēc tādiem kritērijiem kā elektroenerģijas patēriņš (uz ražotā produkta vienību), pieļaujamais piemaisījumu daudzums CO<sub>2</sub> plūsmā (%), ražotā CO<sub>2</sub> daudzums (uz tonnu produkta) un tehnoloģijas vienkāršība/pieejamība (skalā no 1 līdz 5). Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīzes rezultāti ar katra scenārija tuvāko ideālajam vērtībai redzami 7. attēlā.



7. att. CO<sub>2</sub> valorizācijas daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīzes rezultāti.

Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīze parādīja, ka optimālais scenārijs CO<sub>2</sub> izmantošanai varētu būt aļģu dīķi / siltumnīcas un pārtikas ražošanas uzņēmumi. Aļģu dīķi ir

pievilcīga opcija, jo aļģes spēj uzņemt lielu CO<sub>2</sub> daudzumu, aug ātrāk un šo biomasu var izmantot kā enerģijas avotu vai mēslojumu. Otra opcija būtu pārtikas rūpniecība – CO<sub>2</sub> var izmantot kā gāzi, lai aizsargātu produkciju un izejvielas no kaitēkļiem un pagarinātu produkta derīguma termiņu, kā arī kā vielu dzērienu karbonizēšanai. Kā papildu CO<sub>2</sub> izmantošanas veidi – dzesēšanas iekārtas un kā tīrīšanas līdzeklis. CO<sub>2</sub> ir vērtīgs un bieži vien neaizstājams pārtikas rūpniecības elements, taču tā izmantošanai ir jānodrošina gāzes augstu tīrības pakāpi (vismaz 98 %).

Tehnoloģijas CO<sub>2</sub> izmantošanai siltumnīcās un aļģu dīķos ir salīdzinoši lētas, kas ir noteikta priekšrocība šo tehnoloģiju ieviešanai reģionos. Vēl viena priekšrocība aļģu dīķu uzstādīšanai reģionos ir fakts, ka ir pietiekami daudz vietu šādu iekārtu būvniecībai.

## CO<sub>2</sub> valorizācijas potenciāla telpiskais sadalījums

Saskaņā ar iegūtajiem datiem, 2019. gadā Latvijā strādāja 48 A kategorijas uzņēmumi un 610 B kategorijas uzņēmumi, kas savā darbībā emitēja CO<sub>2</sub>. Uzņēmumi galvenokārt atrodas Rīgas reģionā, kur attālums līdz potenciālajam patērētājam ir vismazākais. Rīgas reģionā atrodas 64 % no visiem CO<sub>2</sub> ražotājiem valstī, savukārt Vidzemē šis skaits ir mazāks par 2 %.

Analizējot potenciālo CO<sub>2</sub> patērētāju sarakstu, tika izveidots uzņēmumu saraksts. Tajā iekļauti uzņēmumi, kuru galvenā darbība saistīta ar enerģijas, pārtikas un dzērienu ražošanu, kā arī aļģu dīķiem / siltumnīcām. Saskaņā ar rezultātiem, CO<sub>2</sub> ražotāju skaits ir daudz lielāks nekā CO<sub>2</sub> izmantošanas uzņēmumu skaits (2. tab.).

2. tabula

CO<sub>2</sub> īpatsvars reģionos

	CO <sub>2</sub> Ražošanas/Izmantošanas īpatsvars	CO <sub>2</sub> uz patērētāju, %	CO <sub>2</sub> uz reģionu, %
Kurzeme	4,76	1,04	25,94
Zemgale	2,79	0,08	3,23
Vidzeme	2,68	0,10	1,97
Latgale	7,29	0,32	4,43
Rīgas reģions	3,98	1,15	64,42

Rīgā un tās reģionā atrodas liels ražošanas uzņēmumu skaits (tai skaitā arī uzņēmumi ar A kategorijas piesārņojuma atļaujām), piemēram, katlumājas, pārtikas ražošanas uzņēmumi, farmācijas uzņēmumi, koksnes apstrādes uzņēmumi. Kurzemes reģionā lielākais CO<sub>2</sub> emisiju avots ir cementa ražošanas uzņēmums.

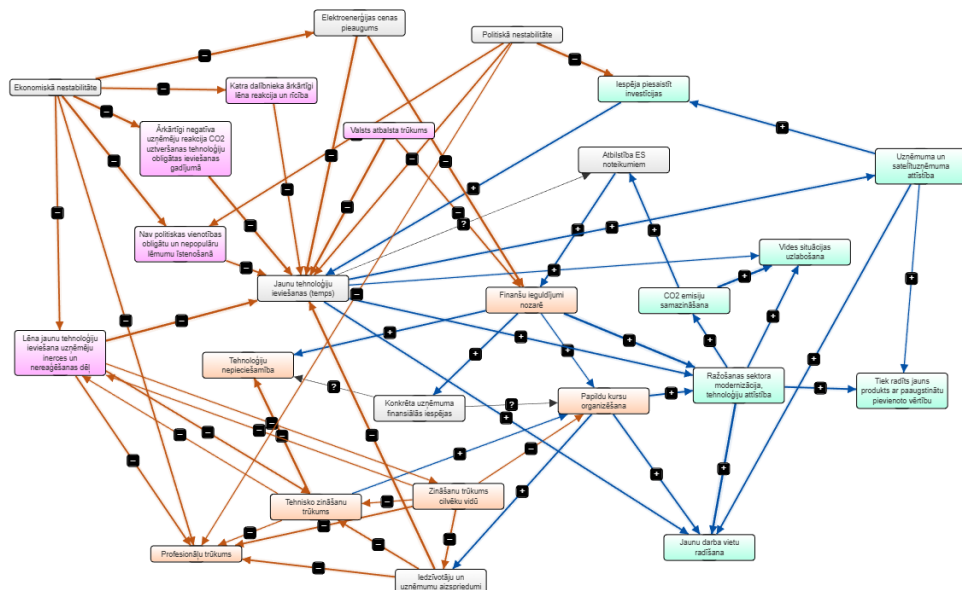
Diemžēl vairāki ierobežojumi kavē CSSU tehnoloģiju ieviešanu. Viens no galvenajiem ierobežojumiem ir nepieciešamais CO<sub>2</sub> tīrības līmenis. Daudziem procesiem tīrības līmenim jābūt vismaz 99,5 %. Iekārtas ar tik augstu attīrīšanas efektivitātes līmeni bieži vien var būt finansiāli neizdevīgas. Taču uzņēmumi, kas cenšas ieviest CSSU tehnoloģijas, var pieteikties Eiropas fondiem.

## Valorizācijas stipro un vājo pušu, iespēju un draudu noteikšana

SVID analīzes rezultāti rāda, ka uzņēmēju līmenī bažas par finansiālo stabilitāti, izmantojot tehnoloģijas CO<sub>2</sub> sagūstīšanai un izmantošanai/pārvadāšanai, ir nopietns faktors. Finansiālā nestabilitāte ir galvenā problēma CCSU ieviešanā. Tomēr, ņemot vērā to, ka katru gadu prasības attiecībā uz ražošanas procesu “tīrību” tikai pieaugs, uzņēmējiem agrāk vai vēlāk nāksies saskarties ar nepieciešamību samazināt radīto CO<sub>2</sub> jebkādā iespējamā veidā. Lai pieteiktos Eiropas fondu finansējuma saņemšanai, uzņēmumam būs jāiesniedz patiešām inovatīvs projekts. Ja valdība ievieš jaunus nodokļus (vai paaugstinās esošos) un palielinās CO<sub>2</sub> izmaksas, uzņēmējiem būs jāuzlabo ražošanas līnijas. Tomēr paralēli jaunu nodokļu ieviešanai valdībai būtu jāsubsīdē pasākumi, kas vērsti uz industriālo un enerģētikas sektoru dekarbonizāciju, jāsamazina elektroenerģijas izmaksas un/vai jāsniedz finansiāla palīdzība nepieciešamo iekārtu iegādei. Vēl viena iespēja, kā motivēt uzņēmējus un padarīt CCSU tehnoloģijas pievilcīgākas, ir mainīt nodokļu sistēmu, kā tas tika darīts Amerikas Savienotajās Valstīs. Katrs uzņēmums varētu saņemt nodokļu atlaidi par katru notvērto tonnu CO<sub>2</sub>. Lai patiešām veicinātu CCSU ieviešanu un aktīvu izmantošanu, ir nepieciešams pievērst lielu uzmanību atbilstošu tehnoloģiju pētniecībai un attīstībai.

SVID analīzes rezultāti tika apvienoti ar kartēm, kas izveidotas *ArcGis* programmā. Izveidotās kartes parādīja, ka “ražotāju” un “patērētāju” uzņēmumi atrodas tuvu pilsētām (vai pašās pilsētās). Šo faktu var uzskatīt par pozitīvu, jo pilsētas apstākļos, pateicoties lielam iedzīvotāju blīvumam, izmaiņas notiek biežāk. Savukārt reģionālie uzņēmumi var piegādāt ražoto CO<sub>2</sub> biogāzes ražošanas iekārtām, kas pozitīvi ietekmētu reģiona attīstības līmeni. Tā kā rūpnīcas atrodas pilsētas teritorijā, cilvēki, kas strādā šajās rūpnīcās, ir mazāk jutīgi pret iespējamo darbavietu samazināšanu, salīdzinot ar cilvēkiem, kas dzīvo vietās ar mazāku darbavietu skaitu. Tomēr jaunās tehnoloģijas prasa augstāku zināšanu līmeni un, iespējams, papildu apmācību.

Turpmāk apvienotie SVID un kartēšanas rezultāti tika izmantoti izplūdušās loģikas kognitīvā kartēšanā, lai iegūtu attēlu par dažādu faktoru savstarpējo ietekmi un to attiecībām (šajā gadījumā – attiecības nacionālajā līmenī, 8. att.).



8. att. Izplūdušās loģikas kognitīvās kartēšanas rezultāti.

Zilās līnijas norāda pozitīvu ietekmi uz faktoru, savukārt oranžās līnijas – negatīvu ietekmi. Pelēkās līnijas attēlo neitrālu vai potenciālu ietekmi. Violetie bloki – politiskie faktori, pelēkie – ārējie faktori, zaļie – pozitīvi gan uzņēmumam, gan sabiedrībai, oranžie – negatīvi.

Galvenais faktors, ko visvairāk ietekmē citi, ir jaunu tehnoloģiju ieviešanas ātrums. Tehnoloģiju ieviešanas ātrumu ietekmē politiskie faktori un tā sauktie sabiedriskie faktori, piemēram, aizspriedumi par CO<sub>2</sub> bīstamību un vajadzību pēc pārmaiņām. Visi faktori, kas minēti SVID analizē, ir iekļauti izplūdušās loģikas kognitīvā kartēšanā. Tomēr *FLCM* ļauj vizuāli redzēt visu ķēdi un skaidrāk novērtēt, kurš faktors ir primārais, kurš – sekundārais.

## Anketēšanas rezultāti. Ieinteresēto personu uztvere par CO<sub>2</sub> emisijām

### Sabiedrības anketēšana

Lai veiktu šo metodoloģijas soli, tika organizēta anonīma aptauja, izmantojot internetu. Anketa tika nosūtīta 189 cilvēkiem, atbildes tika saņemtas no 82 respondentiem. Lielākā daļa respondentu bija vecuma grupā no 19 līdz 25 gadiem (42 %) un no 26 līdz 40 gadiem (40 %). 28 % no respondentiem ir augstākā profesionālā izglītība un 22 % – bakalaura grāds. Jāņem vērā, ka daudzas izglītības iestādes cenšas informēt studentus par vides problēmām un to risināšanas veidiem, tāpēc visi respondenti ir kompetenti cilvēki.

Saskaņā ar rezultātiem 93 % no respondentiem ir apzinājušies CO<sub>2</sub> emisiju problēmu. 48 % uztrauc šī problēma, savukārt 51 % atzina, ka tiem nav pietiekami daudz informācijas par šo problēmu vai viņi par to neuztraucas. Tikai 16 % respondentu uzskata, ka CO<sub>2</sub> problēma ir aktuāla Latvijai. No visiem iespējamajiem atbilžu variantiem respondenti uzskata, ka emisiju

samazināšana ir svarīgāka pašai sabiedrībai (57 %). 52 % respondentu ir pārliecināti par nepieciešamību samazināt CO<sub>2</sub> emisiju apjomu, 70 % ir gatavi mainīt savus ieradumus, lai mazinātu savu ietekmi uz klimata pārmaiņām.

### **Uzņēmēju anketēšana**

Tika veikta uzņēmēju aptauja. Diemžēl atbildes bija virspusējas – tikai 11 % no anketām tika aizpildītas.

40 % respondentu strādā lauksaimniecības nozarē, 20 % – ražošanā, pārējie 40 % – ķīmiskajā nozarē, ražošanas sektorā, metālapstrādē un kuģu remontā. 90 % no respondentu strādā vairāk nekā 20 gadu. Tikai puse no respondentiem norādīja, ka CO<sub>2</sub> emisiju problēma viņiem nav tik aktuāla. Tomēr, ņemot vērā to, ka vairums respondentu darbojas lauksaimniecības nozarē, šāds rezultāts bija gaidāms. Saskaņā ar atbildēm, 50 % respondentu visaktuālākais iemesls CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanas kontekstā ir atbilstība prasībām un likumdošanai. Respondenti atzina, ka viņiem varētu būt finansiāli grūti izpildīt likumdošanas prasības, un, ja tiks ieviesta stingrāka likumdošana un nodokļi, viņi apsvērs iespēju mainīt uzņēmuma atrašanās vietu. Daži respondenti ieteica rīkoties ilgtermiņā un pieņemt tāds likumus, kas būtu visefektīvākie Latvijas kontekstā, bet nenodarītu neatgriezenisku kaitējumu rūpniecības sektoram. Saskaņā ar saņemtajām atbildēm, 70 % respondentu ir gatavi uzstādīt papildu aprīkojumu, kas samazinātu CO<sub>2</sub> emisijas viņu uzņēmumā. 40 % respondentu ir gatavi ieguldīt zaļajās tehnoloģijās, bet ne vairāk kā 10 % no viņu ikmēneša ienākumiem. Visas intervētās kompānijas atzina modernizācijas nozīmi un nepieciešamību, neskatoties uz citiem faktoriem. Viņi apstiprināja arī savu gatavību piedalīties CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanas politikā tādā vai citā veidā.

## **CO<sub>2</sub> tiesību aktu salīdzinošā analīze dažādās jurisdikcijās**

Starptautiskajā likumdošanā par vides aizsardzību ir vairāki likumi un nolīgumi. Ne visi pieņemti dokumenti ir saistoši, bet tie ietver vairākas rekomendācijas un metodoloģijas gan valstīm, gan uzņēmējiem. Šo likumu un direktīvu galvenais mērķis ir klimata pārmaiņu un CO<sub>2</sub> emisiju mazināšan.

Eiropas Savienības Komisija ir apņēmusies veicināt *CCSU* tehnoloģiju attīstību. Tika analizēta gan esošā pieredze, gan visi piedāvātie jauninājumi un projekti. 2021. gada oktobrī tika rīkots forums, kas veltīts *CCUS* tehnoloģiju jautājumiem, un šo pasākumu var uzskatīt par veiksmīgu soli pareizajā virzienā. Visi minētie Eiropas Savienības likumdošanas dokumenti apkopoti 3. tabulā.

## Eiropas Savienības likumi un fondi

Nosaukums	Kam	Mērķis
Parīzes nolīgums	Visām valstīm, kas parakstīja dokumentu (191)	Kontrolēt un robežot globālās temperatūras paaugstināšanu
Eiropas Klimata likums	Visam ES valstīm	Rīks globālās temperatūras paaugstināšanas robežošanai
Emisiju tirdzniecības sistēma (ETS)	Visam ES valstīm + EEZ	Rīks emisiju daudzuma kontrolēšanas un samazināšanai
Modernizācijas fonds (Kioto protokols)	BG, EST, LV, LT, HU, RO, PO, CR, SL, CR	Lai veicinātu tehnoloģisko attīstību; līdz 30 mljn. ETS atļaujām
Inovāciju fonds	Visam ES valstīm	Lai veicinātu CCUS tehnoloģijas; ~ 2,5 mljrd. eiro
CCS Direktīva	Visam ES valstīm	Lai palīdzēt ievest CCS tehnoloģijas

Kā Eiropas Savienības dalībvalstij Latvijai, tāpat kā jebkurai citai dalībvalstij, jāievēro Eiropas Savienības noteikumi un likumi. Ja nepieciešams, nacionālā līmeņa noteikumus var mainīt; tomēr Eiropas Savienības likumdošana un pieņemtie noteikumi ir prioritāte to īstenošanā un nevar tikt ignorēti, ja tie ir pretrunā ar vietējiem likumiem. Tādējādi Latvijā ir septiņi dažādi dokumenti, kas paredzēti CO<sub>2</sub> emisiju mazināšanai vai uzskaitēi (4. tab.).

Likumdošanas dokumenti par CO<sub>2</sub> Latvijā

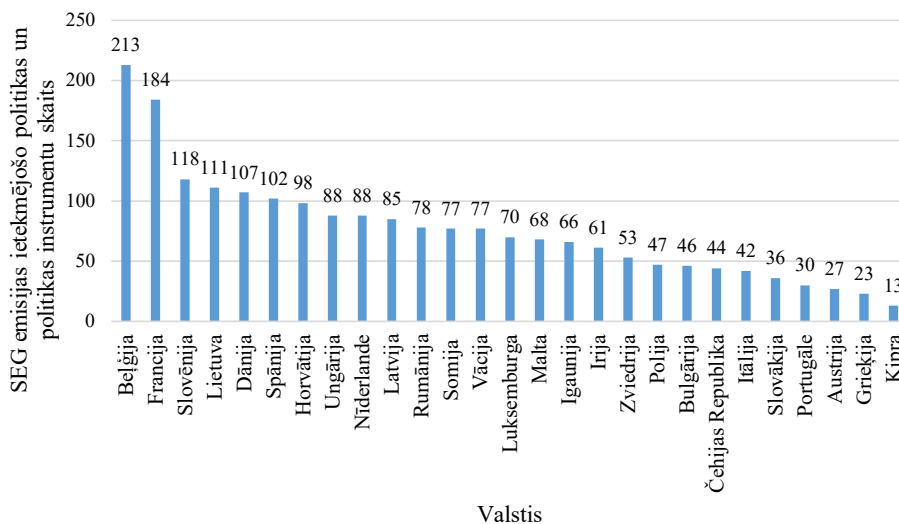
Nosaukums	Mērķis
Likums par piesārņojumu	Lai novērstu un/vai mazinātu klimata pārmaiņu radīto negatīvo ietekmi
Emisiju kvotu izsolišanas procedūra Latvijā	Nosaka noteikumus emisiju kvotu tirdzniecībai
Metodoloģija SEG emisiju aprēķināšanai	Novērtēt konkrēto plānoto un/vai jau īstenoto klimata pārmaiņu pasākumu ietekmi
Eiropas Klimata akts	Ierobežot klimata pārmaiņas un nodrošināt pielāgošanos klimata pārmaiņām valstī. Izstrādes procesā. Aizstās likumu "Par piesārņojumu"
SEG monitorings un atskaitīšanas	Procedūras siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju uzraudzībai, aprēķināšanai un ziņošanai
Gaisa piesārņojuma mazināšanas plāns 2020.–2030. gadam	Izstrādāts saskaņā ar likumu "Par piesārņojumu". Mērķis ir samazināt emisiju daudzumu, izmaksas un darba laika zudumus, ko izraisa gaisa piesārņojums veselības problēmu un vīzīšu pie ārsta dēļ
Nacionālais enerģētikas un klimata plāns	Nosaka Latvijas valsts enerģētikas un klimata politikas pamatprincipus, mērķus un darbības virzienus

Papildus šajā pētījumā tika salīdzinātas CO<sub>2</sub> samazināšanas likumdošanas normas Eiropas Savienības valstīs (un Lielbritānijā). Var secināt, ka, neskatoties uz vāji attīstītu likumdošanu Baltijas valstīs, pastāv iespēja sadarboties CCSU tehnoloģiju īstenošanā.

### CO<sub>2</sub> tehnoloģijas atbalstošo politikas instrumentu novērtējums

ES ir 27 dalībvalstis, no kurām katra īsteno savus pasākumus klimata pārmaiņu mazināšanai, kas izstrādāti, pamatojoties uz ES ieteikumiem un regulām, kā arī pasākumiem, ko valstis ir ieviesušas pēc savas iniciatīvas. EEA apkopotās informācijas pārskats ļauj novērtēt ES dalībvalstu politikas instrumentu daudzveidību un apjomu.

Saskaņā ar pētījuma rezultātiem, vislielākais politiku un politikas instrumentu īpatsvars ir Beļģijā – 213 dokumenti, tai seko Francija (184). Vismazākais politiku un politikas instrumentu skaits ir Kiprā (13) (9. att.).



9. att. Politiku un politikas instrumentu skaits, kas ietekmē siltumnīcefekta gāzu emisijas ES dalībvalstīs.

Novērtējot katras valsts politikas un politikas instrumentus, tos var sagrupēt vairākās kategorijās. Darbā tika iekļautas 11 kategorijas (P1–P11).

5. tabulā redzams, ka visas 27 dalībvalstis palielina atjaunojamo energoresursu īpatsvaru savos sektoros, ir pieņēmušas regulējumus, kas ierobežo vai aizliedz siltumnīcefekta gāzu emisijas. Dažās valstīs ir ieviesta CO<sub>2</sub> nodokļu sistēma. Daudzas valstis ir gatavas vai jau ir īstenojušas CCS/CCU tehnoloģijas.

## Politiku un instrumentu kategorizēšana, kas ietekmē siltumnīcefekta gāzu emisijas

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	Kopā
Austrija	1	–	–	2	1	2	2	3	3	–	–	14
<b>Beļģija</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>		<b>3</b>	–	<b>16</b>
Bulgārija	1	–	–	2	1	2	2	–	3	–	–	11
Čehijas Republika	1	1	–	2	1	2	2	–	–	–	–	9
Dānija	1	1	1	2	1	2	2	–	–	–	–	10
Francija	1	1	1	2	1	2	2	–	–	–	–	10
Griekija	1	–	–	2	1	2	2	–	–	–	–	8
<b>Horvātija</b>	<b>1</b>	<b>1</b>		<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	–	<b>18</b>
Igaunija	1	1	–	2	1	2	2	–	–	–	–	9
Itālija	1	–	1	2	1	2	–	–	–	3	–	10
Īrija	1	1	–	2	1	2	–	–	–	–	–	7
Kipra	1	–	–	2	1	2	2	–	–	–	–	8
Latvija	1	1	–	2	1	2	2	–	3	–	–	12
<b>Lietuva</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	–	–	<b>16</b>
Luksemburga	1	1	–	2	1	2	2	–	–	–	–	9
Malta	1	1	–	2	1	2	2	–	3	–	–	12
Nīderlande	1	1	1	2	1	2	2	3	–	–	–	13
Polija	–	1	–	2	1	2	2	3	3	–	–	14
Portugāle	1	1	–	2	1	2	2	3	–	–	–	12
Rumānija	1	1	1	2	1	2	2	–	–	3	–	13
Slovākija	1	1	–	2	1	2	2	–	–	–	–	9
Slovēnija	1	1	–	2	1	2	2	3	–	–	–	12
Somija	1	1	–	2	1	2	2	–	–	–	–	9
Spānija	1	1	–	2	1	2	2	–	–	–	–	9
Ungārija	1	–	1	2	1	2	2	–	–	–	–	9
Vācija	1	1	1	2	1	2	2	–	–	–	–	10
<b>Zviedrija</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	–	<b>19</b>
Kopā	26	20	10	27	27	27	25	9	8	5	0	

Četras dalībvalstis sasniedza labākos rezultātus, ņemot vērā politikas un politikas instrumentu nozīmi: Zviedrija (19), Horvātija (18), Lietuva (16) un Beļģija (16). Tas ir saistīts ar intensīvajām aktivitātēm šajās dalībvalstīs kategorijās P8–P10. Tādējādi, izstrādājot regulējošo ietvaru CCS un CCU iekļaušanai, mazām valstīm būtu jāņem vērā šo valstu pieredze.

### Emisiju daudzums no biomasas produktu scenārija

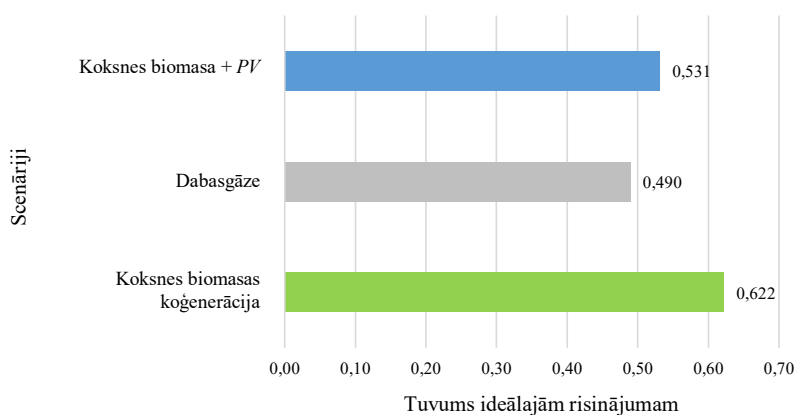
Šajā metodoloģijas solī tika analizēts uzglabātā CO<sub>2</sub> daudzums uz 1 m<sup>3</sup> jaunā šķiedru plātņu (saplāksnes) izolācijas materiālā. Saskaņā ar EN-15804 standartu tiek uzglabāts vislielākais CO<sub>2</sub> daudzums uz 1 m<sup>3</sup> produkta – 359 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, savukārt mazākais CO<sub>2</sub> daudzums tiek noteikts, izmantojot ISO-14040/44 – 90 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>. Ņemot vērā visus standartus, vidējais uzglabātā CO<sub>2</sub> daudzums ir 270 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, ja netiek izvēlēta viena konkrēta oglekļa uzskaites metode.

Aprēķinātās kritēriju vērtības un svarīgums trīs dažādiem enerģijas ražošanas scenārijiem apkopots 6. tabulā.

Kritēriju vērtības un svars

	Koksnes biomasa <i>CHP</i>	Dabagāze <i>CHP</i>	Koksnes biomasa <i>CP + PV</i>	Kritēriju svars
Degvielas enerģētiskā vērtība, GJ/m <sup>3</sup>	1,56	2,26	1,10	0,079
Kapitāla izmaksas, EUR/m <sup>3</sup>	12,68	38,01	8,45	0,210
Degvielas izmaksas, EUR/m <sup>3</sup>	55,17	37,75	47,80	0,288
Apkopes izmaksas, EUR/m <sup>3</sup>	1,10	0,94	0,89	0,152
Nopirkātā/Pārdotā elektrība, EUR/m <sup>3</sup>	3,84	-9,45	19,77	0,110
NO <sub>x</sub> emisijas, g/m <sup>3</sup>	3,14	4,95	2,36	0,028
CO emisijas, g/m <sup>3</sup>	0,86	5,78	0,64	0,016
GOS emisijas, g/m <sup>3</sup>	0	4,95	0	0,020
PM emisijas, g/m <sup>3</sup>	4,7	0	3,5	0,040
CO <sub>2</sub> emisijas, kg/m <sup>3</sup>	0	90	0	0,057

Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīzes scenāriju rezultāti parādīti 10. attēlā.



10. att. Daudzkritēriju analīzēs rezultāti.

Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīzes rezultāti rāda, ka labākais enerģijas ražošanas scenārijs ražošanas rūpnīcai ir koksnes biomasas koģenerācijas (*CHP*) stacija (0,622). Scenārijs ar dabagāzes izmantošanu rāda līdzīgu rezultātu, lai gan tas ir pēdējais. Tomēr ņemot vērā atjaunojamo energoresursu īpatsvara pieaugumu enerģijas tirgū, varētu būt iespējams, ka dabagāzes īpatsvars nākotnē samazināsies. Ir nepieciešami detalizētāki pētījumi, kuros jāņem vērā gan kvantitatīvie, gan kvalitatīvie dati, tostarp ekspertu un uzņēmumu viedokļi šajā jomā. Turpmākajos pētījumos būtu jāapsver arī sabiedriskie un politiskie aspekti.

## Galaprodukta izmaiņu ietekme uz SEG emisijām

### Emisijas rādītāju aprēķināšana

Parametrs  $e_{ec,n}$  attiecas tikai uz kukurūzas skābbarību, zāles skābbarību un nenobriedušām graudu kultūrām. Biogāzes stacija neveic nekādu augsnes oglekļa uzkrāšanos, piemēram, kultūraugu pārklājumu, uzlabotu mēslojuma pārvaldību vai kompostēšanu augsnes uzlabošanai. Tādējādi šos parametrus nevar ņemt vērā emisiju ietaupījumus aprēķinā.

Parametrs  $e_{l,n}$  ir gada emisijas no oglekļa krājumu izmaiņām. Šīs izmaiņas rodas, izmantojot zemi substrāta  $n$  audzēšanai. Biogāzes stacijā izmaiņas nenotika, tāpēc  $e_{l,n} = 0$  (līdzīgas vērtības būs parametriem  $e_{ccs}$ ,  $e_{ccr}$ ,  $e_{sca,n}$ ).

Biogāzes stacija strādā ar dažādiem substrātiem, tāpēc parametrs jāaprēķina katram no tiem. Jāņem vērā arī izmantotās degvielas veids, jo emisiju faktors (EF) no tā ir atkarīgs. Ņemot vērā loģistikas datus un izmantojot nepieciešamo aprēķinu formulu, tiek iegūts, ka  $e_{ld,feedstock,n}$  parametrs stacijai ir 0,0015 kgCO<sub>2</sub>ekv/t vienam substrāta veidam. Kopējās siltumnīcefekta gāzu emisijas no visiem 13 substrāta veidiem ir 1,96 kgCO<sub>2</sub>ekv/t.

### Ražošanas emisijas biogāzes stacijā

Nākamais solis ir noteikt emisijas, kas rodas biogāzes stacijas procesos viena gada periodā. Šim parametram –  $e_{p1}$  – ir jāzina enerģijas daudzums, kas iztērēts biogāzes ražošanai, kā arī metāna zudumi (pēc RED pieņēmuma ~ 1 %). Katram izmantotajam resursam – elektroenerģijai un siltumam – ir savs emisiju faktors.  $e_{p1}$  parametrs. Biogāzes stacijai tas ir 2,70 kgCO<sub>2</sub>ekv/m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>.

Tālāk nepieciešams aprēķināt emisijas, kas rodas biogāzes attīrīšanas procesā un tās piegādes sistēmā ( $e_{p2}$ ). Biogāzes apstrāde ir pēdējais ražošanas posms. Tieši šajā posmā biogāze tiek pārveidota par biometānu. Emisijas, kas rodas biogāzes apstrādē līdz biometānam, jāaprēķina, balstoties gada biometāna ražā, neatkarīgi no tā daudzuma, kas tiks tālāk sertificēts.

Biometāns nākotnē tiks izmantots tīklā, tāpēc ir jāzina emisijas, kas rodas tā transportēšanas un izplatīšanas laikā. Biogāzes pārstrādes stacijai ir jāpārbauda biometāna ietaupījumu potenciāls, kas tiks laists aprītē. Tas nozīmē identificēt emisijas, kas rodas biometāna saspišanas un transportēšanas posmā pa dabasgāzes tīkliem, kā arī biometāna saspišanas procesā konkrētajā stacijā, lai pārliecinātos, ka galaprodukts atbilst šīs stacijas prasībām.

### Substrāta sadalījums

Biometāna ražošanā tiek izmantoti daudzi dažādi substrāti – katrs no tiem ir jāanalizē atsevišķi noteiktajā laika periodā. Lai pareizi aprēķinātu biometāna ražu no katra substrāta, piegādāto substrāta tonnu skaits uz biogāzes staciju ir jāreizina ar 10 % – tās ir zudumu vērtības, kas saskaņā ar sertifikācijas sistēmām (REDcert un ISCC) parasti notiek un tādēļ tiek ņemtas vērā. Pēc tam tiek aprēķināta metāna proporcija katrā substrāta veidā.

### Kopējais emisiju daudzums

Kad ir noteikta metāna ražas proporcija katram substrātam, ir nepieciešams šo proporciju (%) attiecināt uz kopējo aprēķināto biometāna ražu (kopējais metāna daudzums mīnus 1 %

zudumi). Pēc tam, kad ir iegūtas parametru vērtības –  $e_{ec}$ ,  $e_{td,feedstock,n}$ ,  $e_{p1}$ ,  $e_{p2}$  un  $e_{td,product}$  – katram izmantotajam substrātam, šīs vērtības tiek summētas, lai izmantotu nākamajā formulā kopējo emisiju noteikšanai, balstoties uz 1 Nm<sup>3</sup> biometāna:

$$\text{Kopējās emisijas no m}^3 \text{ CH}_4 = \frac{(e_{ec} + e_{td,feedstock,n} + e_{p1} + e_{p2} + e_{td,product})}{\text{kopējais izmantojamais biometāna daudzums}} \quad (4)$$

Zinot, ka novērotajai biogāzes stacijai visu parametru summa visiem substrātiem ir 25 246 762,29 kgCO<sub>2</sub>ekv/gadā un kopējais biometāna daudzums ir 4 261 983,48 Nm<sup>3</sup>/gadā, tika noteikts, ka kopējais emisiju apjoms ir 5,92 kgCO<sub>2</sub>ekv/m<sup>3</sup> jeb 16,45 gCO<sub>2</sub>ekv/MJ emisiju.

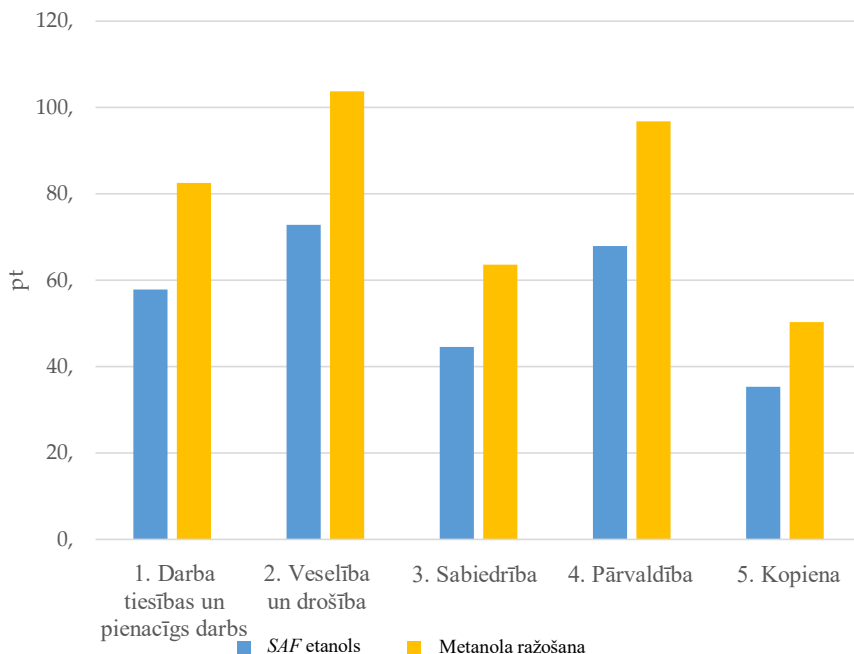
### **SEG emisiju ietaupījums**

Pēdējais solis ir tieši uzglabāto emisiju aprēķināšana no biometāna. Eiropas Savienības dalībvalstīm ir atļauts ražot tikai tādu biometānu, kura SEG emisijas nepārsniedz noteikto vērtību – 24 gCO<sub>2</sub>ekv/MJ. Šī vērtība balstās fosilā kurināmā salīdzinājuma rādītājā  $E$ , kā arī minimālajā pieļaujamo emisiju samazinājuma vērtībā – 35 %. Biogāzes stacijas gadījumā emisiju ietaupījums ir 80,36 %. Tomēr šī vērtība atspoguļo emisiju zudumu līmeni 1 % apmērā. *PSA* tehnoloģijā zudumi var sasniegt līdz pat 5 %, tāpēc mazākais aprēķinātais emisiju ietaupījums ir 76,34 %.

## **Vides un sociālā ietekme, pamatojoties uz *LCA* un *S-LCA***

### **Sociālā dzīves cikla analīze**

Galveno faktoru analīze parādīja, ka metanola ražošanas scenārijam ir lielāka ietekme visās aplūkotajās galvenajās kategorijās nekā *SAF* etanola ražošanas scenārijam (11. att.).



11. att. Novērtējums pēc galvenajām kategorijām (globāli uz vienu iedzīvotāju gadā, svērtais).

Gan metanola, gan etanola ražošanas procesos ražošanas iekārtas dzīves cikla laikā ir nepieciešamas dažādas ķīmiskas vielas, taču ilgtermiņā abos scenārijos ir paredzēts relatīvi lēts aprīkojums. Izvērtējot rezultātus pa kategorijām, abi scenāriji uzrāda visbūtiskāko ietekmi šādās kategorijās: 2A – “Arotoksikoloģija un bīstamība”; 2B – “Traumas un nāves gadījumi”; 3F – “Nabadzība un nevienlīdzība”; 4A – “Tiesību sistēma”; 4C – “Demokrātija un vārda brīvība”.

Visbūtiskākā ietekme metanola ražošanas scenārijā ir pašas rūpnīcas būvniecības posmam, kam seko elektroenerģijas un ūdens patēriņš.

SAF etanola ražošanas scenārijs ir līdzīgs metanola ražošanas scenārijam – būvniecības faktoram ir vislielākā ietekme uz visām kategorijām, kam seko elektroenerģijas patēriņš (kas ir īpaši augsts DAC tehnoloģijā) un nepieciešamo ķīmisko vielu daudzums.

### Dzīves cikla analīze

Abi scenāriji liecina, ka abiem ir būtiska ietekme uz globālo sasilšanu un ka metanola ražošanai šajā kategorijā ir lielāka ietekme.

Metanola ražošanai ir būtiska ietekme uz kategoriju “Globālās sasilšana”, jo process ietver lielu daudzumu ķīmisko vielu un, ja to nekontrolē, rada emisijas gaisā. Turklāt kālija, urīnvielas un fosfātu ražošana un izmantošana ir sarežģīts un energoietilpīgs process, kas ietekmē kopējo ietekmi uz vidi, savukārt slāpekļa savienojumu izmantošana negatīvi ietekmē cilvēku veselību, sauszemes ekosistēmas un smalko daļiņu rādītājus.

Etanola ražošanai nepieciešams ievērojams enerģijas daudzums, kā arī ķīmiskie reaģenti. Amonjaka un sērskābes izmantošana negatīvi ietekmē smalko daļiņu, sauszemes ekotoksicitātes un globālās sasilšanas kategorijas.

### 3. DISKUSIJA

Šajā darbā tiek izvērtēts CO<sub>2</sub> valorizācijas potenciāls, ieviešot CCUS tehnoloģijas Latvijā, koncentrējoties uz to lietojumu lauku un rūpniecības vidē. Rezultāti izceļ vairākus CO<sub>2</sub> valorizācijas ceļus, taču to praktiskā ieviešana saskaras ar ievērojamām problēmām.

Kā pirmais metodoloģijas solis darbā tiek piedāvāta KPI un MCDA analīze. Rezultāti identificēja aļģu dīķus / siltumnīcas un pārtikas rūpniecības lietojumus kā visizdevīgākos CO<sub>2</sub> izmantošanas veidus to tehnoloģiskās vienkāršības un augstā CO<sub>2</sub> patēriņa dēļ. Tomēr to ekonomiskie un mērogojamības ierobežojumi ir ievērojami. Aļģēs balstītas sistēmas, lai gan ir efektīvas CO<sub>2</sub> piesaistē, prasa ievērojamus zemes un ūdens resursus, kas var konkurēt ar lauksaimniecības prioritātēm Latvijas lauku apvidos. Salīdzinot ar pētījumiem tādos reģionos kā Nīderlande, kur aļģēs un siltumnīcās balstītu CCU atbalsta blīvi rūpniecības klasteri un valdības subsīdijas, Latvijas retā infrastruktūra un ierobežotais finansējums rada šķēršļus.

Darbā izstrādātā KPI tabula ir vērtīgs instruments nozaru salīdzināšanai, taču tās pašreizējie dati ierobežo tās piemērojamību. Lielāka rādītāju skaita izmantošana var palielināt rezultāta precizitāti, padarot to atbilstošāku un piemērojamāku konkrētajiem apstākļiem.

Metodoloģijas otrajā posmā tika analizētas CCU tehnoloģiju izmantošanas iespējas dažādās nozarēs un vietās Latvijas mērogā. CO<sub>2</sub> izmantošanas potenciāls biogāzes un biodegvielas ražošanā ir daudzsološs, īpaši Latvijas lauksaimniecības reģionos, piemēram, Latgalē un Kurzemē. Tomēr biogāzes staciju modernizēšanas augstās kapitālizmaksas CO<sub>2</sub> uztveršanai, kā atzīmēts līdzīgos projektos, rada būtisku šķērslī.

Pētījuma pieņēmums par biomasas pieejamību neņem vērā iespējamās piegādes ķēdes ierobežojumus, piemēram, sezonālās svārstības vai konkurenci ar pārtikas ražošanu, kas citos projektos ir bijuši kritiski ierobežojumi. Darbojošos biomasas ražošanas vietu (piemēram, aļģu dīķu) trūkums biodegvielas ražošanai Latvijā vēl vairāk uzsver infrastruktūras nepilnības, salīdzinot ar citām valstīm, kur šādas iekārtas atbalsta valdība. Koncentrēšanās uz Rīgas katlumājām kā galvenajiem CO<sub>2</sub> emitētājiem izceļ reģionālu problēmu, bet neņem vērā nepieciešamās infrastruktūras trūkumu. Citu valstu pieredze liecina, ka integrētiem CCUS tīkliem ir nepieciešamas ievērojamas investīcijas cauruļvados un uzglabāšanas vietās, kas Latvijai pašlaik trūkst.

SVID un FLCM analīze atklāj, ka CCU ieviešanā Latvijā dominē politiskie un finansiālie šķēršļi. Cilvēciskais faktors, tostarp sabiedrības un ieinteresēto personu pretestība, ir vēl viens būtisks šķērslis, kā redzams sabiedrības pretestības dēļ pamestajos CCS projektos. Lai iegūtu visaptverošākus rezultātus, jāizmanto ekonomiskā analīze, kas ietvertu ETS faktoru, jo oglekļa cenas būtiski ietekmē investīciju lēmumus CCUS sektorā.

Uzņēmējiem visā pasaulē un Latvijā ir jānovērtē sava ietekme uz vidi un darbības, ko viņi var veikt savā uzņēmumā. Aptaujas rezultāti liecina par zemu sabiedrības informētību un ierobežotu uzņēmēju vēlmi ieguldīt CCUS, atspoguļojot līdzīgus secinājumus Eiropas kontekstā. Zemais uzņēmēju atbilžu līmenis (11 %) liecina par iespējamu izlases

nepietiekamību, kas ierobežo secinājumu vispārināmību. Anketēšanas rezultātu uzlabošanai ir ieteicama detalizētākā anketēšana un jautājumu izvēle, iepriekšēja jautājumu pārbaude (izmēģinājuma anketēšana), plašāka respondentu izvēle. *CCUS* ieviešanas jomā Latvijas rūpniecības un lauksaimniecības nozarēs trūkst likumdošanas un finansiālā atbalsta, un šī problēma ir novērota arī citu Eiropas valstu *CCUS* centienos.

ES tiesību aktu analīze atklāj Zviedrijas vadošo lomu *CCUS* politikā, ko virza detalizēti un papildinoši noteikumi. Latvijas mazāk attīstītais regulējums ar neskaidrām *CCS/CCU* vadlīnijām atspoguļo izaicinājumus citās Baltijas valstīs. Skaidru, stimulus balstītu tiesību aktu izstrāde, kā tas redzams Zviedrijas politikā, varētu paātrināt *CCUS* ieviešanu. Tomēr darba uzmanības centrā ir tiesību aktu analīze, kas neņem vērā praktiskās ieviešanas problēmas, piemēram, izpildes spējas, kas var kavēt progresu.

Zviedrijas augstais vērtējums *CCUS* likumdošanas atbalstā kontrastē ar Latvijas nobriedušo *CCUS* regulējumu. *IPCC* uzsver, ka novēlota rīcība palielina emisiju samazināšanas slogu nākotnē, kas ir brīdinājums, ņemot vērā Latvijas lēno politikas progresu. Beļģijas plašais politikas portfelis (213 likumdošanas dokumenti) liecina, ka kvantitāte vien nav pietiekama bez saskaņotības, jo Zviedrijas mazāks skaits, bet mērķtiecīgu likumu uzrāda daudz labākus rezultātus  $\text{CO}_2$  valorizācijas jomā. Latvija varētu pārņemt Zviedrijas modeli, integrējot *CCUS* stimulus ar atjaunojamās enerģijas politiku, lai uzlabotu ekonomisko iespējamību, taču tas prasa pārvarēt birokrātisko inerci un nodrošināt ES finansējumu..

Metodoloģijas septītajā solī piedāvāta  $\text{CO}_2$  vērtības pieauguma analīze, uzglabājot to citā produktā. Piedāvātais koksnes šķiedru plātnes izolācijas materiāls piedāvā jaunu  $\text{CO}_2$  uzglabāšanas risinājumu apvienojumā ar optimālu enerģijas avotu, taču  $\text{CO}_2$  uzglabāšanas ieguvumi videi ievērojami atšķiras atkarībā no izmantotā uzskaites standarta. Šī atšķirība rada nenoteiktību apgalvojumos par ieguldījumu klimata neitralitātē. Priekšroka koksnes biomasas koģenerācijai, salīdzinot ar enerģiju, kuras pamatā ir fosilais kurināmais, atbilst ilgtspējības mērķiem, taču pieņem, ka biomasas piegāde ir stabila, un šis ierobežojums nav pilnībā atrisināts.

Astotajā metodoloģijas solī piedāvāts vēl viens  $\text{CO}_2$  valorizācijas veids – izvairīšanās no emisijām, mainot galaproduktu. Latvijas biogāzes stacijas pāreja no biogāzes uz biometāna ražošanu uzrāda ievērojamu emisiju ietaupījumu (līdz 80,34 %), kas ir salīdzināms ar citiem līdzīgiem projektiem. Tomēr *REDcert* metodes sarežģītība un paļaušanās uz standarta emisijas faktoriem rada nenoteiktību, īpaši attiecībā uz dažādiem substrātiem. Pētījuma koncentrēšanās uz vienu staciju ierobežo tā vispārināmību, jo substrātu pieejamības reģionālās atšķirības ietekmē rezultātus.

Metodoloģijas pēdējā solī veikta metanola un *SAF* etanola ražošanas *LCA* un *S-LCA*. Rezultāti izceļ to potenciālu, bet arī ievērojamo enerģijas pieprasījumu. Metanola liels gaistošo emisiju daudzums un lielais enerģijas pieprasījums uzsver nepieciešamību pēc atjaunojamo energoresursu integrācijas, lai uzlabotu ilgtspējību. *SAF* etanola ietekme uz vidi galvenokārt ir atkarīga no enerģijas avota, izmantotajiem katalizatoriem un tehnoloģijas attīstības. Nepietiekamas enerģijas infrastruktūras trūkums Latvijā ierobežo mērogojamību. Esošo

biogāzes staciju modernizēšana metanola ražošanai varētu samazināt sociālo un vides ietekmi, taču sabiedrības piekrišana joprojām ir šķērslis, ko nepieciešams pārvarēt.

## SECINĀJUMI

Šajā darbā tika veikta visaptveroša CO<sub>2</sub> uztveršanas un izmantošanas iespēju analīze, piedāvājot pieeju ilgtspējīgas attīstības un ekonomikas dekarbonizācijas nodrošināšanai, īpaši Latvijas kontekstā. Veiktās analīzes aptver gan lietišķās zinātnes, gan normatīvo un sociālo ietvaru, ļaujot attīstīt holistisku izpratni par *CCU* potenciālo integrāciju enerģētikas un rūpniecības infrastruktūrā.

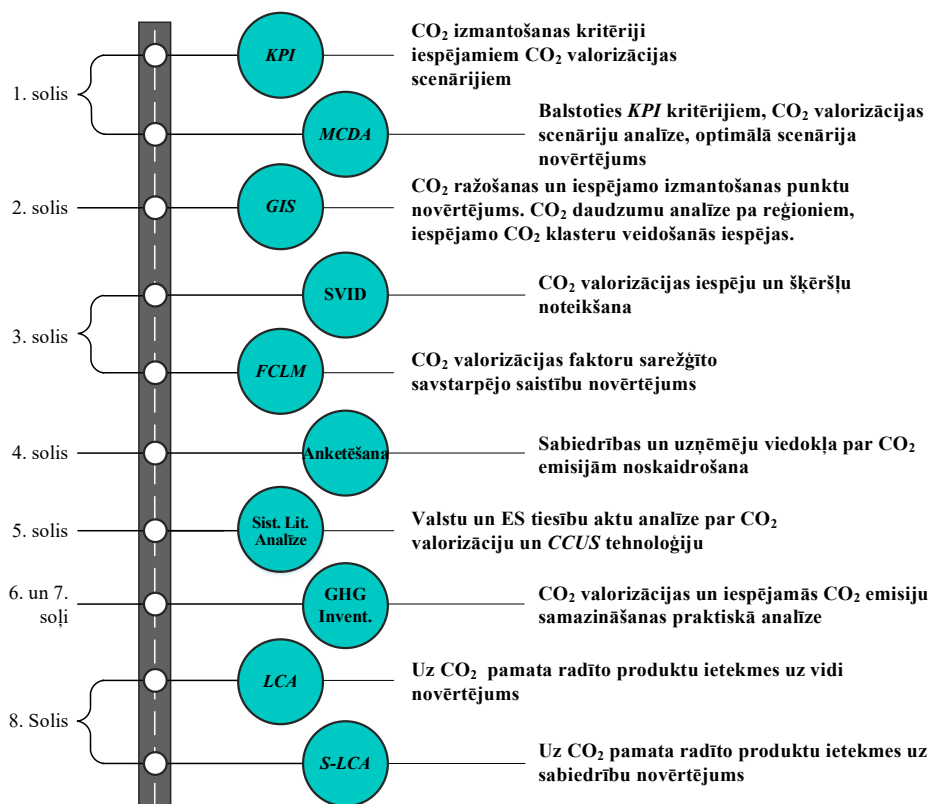
CO<sub>2</sub> novērtējums kā vērtīgs resurss aprites ekonomikas ietvaros uzsver ne tikai emisiju samazināšanas, bet arī jaunu pievienotās vērtības ķēžu veidošanas nozīmi, kurās CO<sub>2</sub> tiek uzskatīts par izejvielu, nevis atkritumiem. CO<sub>2</sub> pārveidošana šķidrā kurināmajā, būvmateriālos, ķīmikālijās un metabolisma veicinošos līdzekļos tiek uzskatīta par reālistisku ceļu uz ekonomisko un vides sinerģiju, īpaši lauku apvidos. Uzsvars uz Latvijas lauku apvidiem ir būtisks, jo šiem reģioniem ir vislielākais potenciāls biogēno CO<sub>2</sub> plūsmu izmantošanai un energoefektīvu ražošanas sistēmu attīstībai.

Regulējošās normas analīze atklāja likumdošanas nepilnības, kas kavē *CCU* plaša mēroga ieviešanu ES valstīs, tostarp Latvijā. Tā izceļ neatbilstību starp strauji attīstošajām tehnoloģijām un novecojušu tiesisko regulējumu. Lai gan *CCUS* ir potenciāls kļūt par valsts klimata politikas sastāvdaļu, pašlaik tas nav iespējams saskaņā ar spēkā esošo tiesisko regulējumu.

Lietoto tehnisko risinājumu analīze ļāva novērtēt *CCUS* tehnoloģiju izmantošanas potenciālu, tostarp CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanas metožu piemērošanu biogāzes pārvēršanas biometānā modelī un CO<sub>2</sub> uzglabāšanā produktos, tādējādi radot materiālus ar augstu pievienoto vērtību. Šādas pieejas veicina gan nozares, gan reģiona tehnoloģisko un ekonomisko attīstību.

Kopumā veikto analīžu rezultāti liecina, ka veiksmīgai *CCU* ieviešanai Latvijā ir nepieciešami koordinēti centieni tehnoloģisko, likumisko, ekonomisko un sociālo aspektu jomā. Tikai integrējot šos aspektus, var panākt pāreju uz ilgtspējīgu ekonomiku ar zemu oglekļa emisiju līmeni, kā arī izpildīt klimata saistības gan valsts, gan Eiropas līmenī.

Pārejot no vispārīgas analīzes uz praktisku lietojumu, veiktās analīzes kopumā veido strukturētu metodoloģiju, kas paredzēta uzņēmējiem, valsts iestādēm un politikas veidotājiem. Šī metodoloģija kalpo kā ceļvedis *CCUS* tehnoloģiju ieviešanai, kuru mērķis ir ilgtspējīga CO<sub>2</sub> emisiju samazināšana. Tā aptver galvenos posmus – no sākotnējā vietējā potenciāla novērtējuma un tehnoloģiskās pielāgošanas līdz normatīvo aktu saskaņošanai un sabiedrības iesaistīšanai, nodrošinot holistisku pieeju klimatneitralitātes stratēģiju īstenošanai gan reģionālā, gan valsts līmenī (12. att.).



12. att. CO<sub>2</sub> uztveršanas un izmantošanas integrētā metodoloģija/ceļvedis.

Pieejamo datu trūkuma dēļ analizēti dažādi CO<sub>2</sub> valorizācijas scenāriji. Šīs variācijas rada metodoloģisku pretrunu. Lai iegūtu precīzākus un salīdzināmākus rezultātus, visos analīzes posmos ir nepieciešams konsekventi piemērot vienu un to pašu scenāriju kopumu.

Promocijas darba mērķi ir sasniegti – novērtēts CCUS tehnoloģiju ieviešanas potenciāls Latvijā; izveidota integrētā CO<sub>2</sub> valorizācijas metodoloģija.

Šī darba rezultāti liecina, ka hipotēze ir apstiprinājusies un ka Latvijai ir potenciāls CCUS tehnoloģiju ieviešanai un izmantošanai CO<sub>2</sub> valorizācijai. Neskatoties uz relatīvi vāju likumdošanu CCUS jomā, valstī jau ir infrastruktūra, kas piemērota biodegvielas (metanola) ražošanai. Ja biogāzes ražošanas stacijas pārietu uz biometāna ražošanu, tās varētu ievērojami samazināt emitētā CO<sub>2</sub> daudzumu, tādējādi uzlabojot vides rādītājus reģionālā līmenī un atbalstot Eiropas Savienības dekarbonizācijas mērķus. Jaunu CCUS tehnoloģiju ieviešana veicinātu reģionu tehnoloģisko attīstību.



**Viktorija Terjaņika** dzimusi 1994. gadā Ventspilī. Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) ieguvusi bakalaura (2019) un maģistra (2021) grādu vides zinātnēs. 2018.–2024. gadā strādājusi RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūtā. Patlaban strādā SIA "Geo Consultants", ieņemot vides pārvaldības speciālistes amatu.

Zinātniskās intereses saistītas ar vides jautājumiem, ilgtspēju, ražošanas procesiem un emisijām.