

Ketija Bumbiere

OGLEKĻSAISTĪGA LAUKSAIMNIECĪBA CEĻĀ UZ KLIMATNEITRALITĀTI

Promocijas darba kopsavilkums



RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Ketija Bumbiere

Doktora studiju programmas "Vides inženierija" doktorante

OGLEKĻSAISTĪGA LAUKSAIMNIECĪBA CEĻĀ UZ KLIMATNEITRALITĀTI

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskās vadītājas

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

profesore *Dr. sc. ing.*
JEĻENA PUBULE

RTU Izdevniecība
Rīga 2024

Bumbiere, K. Oglekļasaistīga lauksaimniecība ceļā uz klimatneitralitāti. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2024. 51 lpp.

Publicēts saskaņā ar promocijas padomes “RTU P-19” 2024. gada 9. februāra lēmumu, protokols Nr. 188.

Vāka attēls no www.shutterstock.com

<https://doi.org/10.7250/9789934370601>

ISBN 978-9934-37-060-1 (pdf)

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

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2024. gada 23. maijā plkst. 14.30 Rīgas Tehniskās universitātes Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultātē, Āzenes ielā 12 k-1, 116. auditorijā.

RECENZENTI

Dr. sc. ing. Ainis Lagzdiņš,
Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte, Latvija

Dr. sc. (Tech.) Timo Laukkanen,
Ålto Universitāte, Somija

Ph. D. Lucia Rocchi,
Perudžas Universitāte, Itālija

APSTIRPINĀJUMS

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.

Ketija Bumbiere (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, atsauču saraksts, 33 attēli, 27 tabulas, kopā 125 lappuses (neietverot pielikumus), 227 lappuses (ietverot pielikumus). Literatūras sarakstā ir 283 atsauces.

SATURS

IEVADS	5
1. METODOLOĢIJA.....	12
1.1. Oglekļa bilances metode	12
1.2. Ilgtspējības SVID analīze.....	14
1.3. Daudzkritēriju analīze	15
1.3.1. Daudzkritēriju analīze ilgtspējīgai biogāzes izmantošanai.....	16
1.3.2. Daudzkritēriju analīze piemērotākajiem oglekļa saistīgas lauksaimniecības risinājumiem	17
1.5. Energoefektivitātes mērīšana	19
1.6. TIMES modelis	20
1.7. Sistēmdinamika	23
2. REZULTĀTI.....	29
2.1. Oglekļa bilances rezultāti, lai novērtētu ilgtspējīgu biogāzes ražošanu.....	29
2.2. iSVID analīzes rezultāti, lai novērtētu biogāzes nākotni Latvijā	31
2.3. Daudzkritēriju analīžu rezultāti.....	32
2.3.1. Piemērotāko bioresursu ranžēšana ilgtspējīgai biogāzes ražošanai.....	32
2.3.2. Ilgtspējīga biogāzes izmantošana enerģētikas sektorā	33
2.3.3. Piemērotākās oglekļa saistīgas lauksaimniecības metodes	34
2.4. Energo pārvaldības loma lauksaimniecībā	35
2.5. Resursu efektivitātes un produktu ražošanas ar augstāku pievienoto vērtību nozīme lauksaimniecībā	37
2.6. Lauksaimniecības sektora virzība uz klimatneitralitāti	40
3. REZULTĀTU KOPSAVILKUMS UN DISKUSIJA.....	43
SECINĀJUMI.....	49

IEVADS

Aktualitāte

Eiropā 20. gadsimtā jau pieredzēta vidējā gaisa temperatūras palielināšanās par 0,8 °C, un simulācijas liecina, ka nākotnē prognozētais temperatūras paaugstināšanās temps desmitgadē būs no 0,1 °C līdz 0,4 °C, ko izraisīs antropogēnas darbības radītas siltumnīcefekta gāzes (SEG) Globālā vidējā temperatūra 2021. gadā jau bija aptuveni par 1,1 °C virs 1850.–1900. gada vidējās temperatūras. UNFCCC puses 2015. gada 12. decembrī ratificēja Parīzes nolīgumu un apņēmas līdz 2030. gadam samazināt emisijas par vismaz 55 %, salīdzinot ar 1990. gada līmeni, savukārt līdz 2050. gadam – būt klimatneitrālām.

Enerģētikas sektors ir atbildīgs par 64,0 % no kopējām SEG emisijām Latvijā 2016. gadā, no kuriem transporta sektors ir atbildīgs par 44,2 %, lauksaimniecības sektors – par 23,6 % no kopējām Latvijas SEG emisijām. Lauksaimniecība ir vistiešākajā saskarē ar dabas resursiem – ūdeni, zemi, augiem, dzīvniekiem, dabīgajiem minerāliem, enerģiju – un ir tieši vai netieši saistīta ar visām pārējām nozarēm, tostarp enerģētikas un transporta nozari. Ne tikai saistība ar citām nozarēm un visa veida resursiem, bet arī darbības daudzveidība padara lauksaimniecību par ļoti sarežģītu, grūti organizējamu nozari, bet tas ir ļoti nozīmīgs ieguldījums gan vides, gan arī ekonomikas attīstībā. Transformācijas virzienu ietekmē dažādas stratēģijas. Klimatneitralitātes stratēģijas 2050 pasākumi plānotā mērķa sasniegšanai ir panākt resursu efektīvu lauksaimniecību, kas ražo produktus ar augstu pievienoto vērtību un augstu produktivitāti, kā arī palielināt lauksaimniecības investīcijas bioenerģētikā, piemēram, biogāzes ražošanā. Efektīva lauksaimniecības nozares pārvaldība un biogāzes izmantošana varētu pozitīvi ietekmēt emisiju samazināšanu ne tikai lauksaimniecības sektorā, taču tikai biogāzes ražošanas attīstība nenodrošinās visas lauksaimniecības nozares dekarbonizāciju. Tāpēc ES mērķis ir atrast jaunus veidus, kā samazināt SEG emisijas, izmantojot jaunu pieeju Eiropai – ES oglekļa saistīgas lauksaimniecības iniciatīvu, norādot, ka lauksaimniecības prakse, kas no atmosfēras izvada CO₂, ir jāatlīdzina saskaņā ar jaunu ES uzņēmējdarbības modeļu izstrādi. Tomēr Eiropas Komisija atzīst, ka oglekļa lauksaimniecība ir sākumstadijā un vēl ir daudz jārisina, jāizstrādā, un ir ļoti svarīgi un izaicinoši īstenot energoefektivitātes un resursu efektivitātes pasākumus, vienlaikus nesamazinot produktivitāti, jo viens no galvenajiem izaicinājumiem, ar ko saskaras lauksaimniecības nozare, ir pārtikas nodrošināšana pieaugošajam populācijas skaitam, vienlaikus samazinot tās ietekmi uz klimatu un vidi.

Iekļaujoša, ilgtspējīga, izaugsmi veicinoša un vienlīdzīga visu lauksaimniecības apakšnozaru attīstība varētu būtiski ietekmēt ne tikai pašu lauksaimniecības nozari, bet arī citas nozares, kurās nepieciešams samazināt SEG emisijas. Taču neprofesionāli pieņemta politika, kas vērsta tikai uz konkrētām lauksaimniecības apakšnozarēm vai uzņēmumu grupām, var ne tikai aizkavēt šos mērķus, bet pat novērst. Ir ļoti svarīgi ņemt vērā to, ka lauksaimniecība ir ļoti sarežģīta sistēma, kurā ar vienkāršiem taupīšanas pasākumiem un zināšanām nepietiek, lai vienlaikus sasniegtu gan šos ietaupījumus, gan produktivitāti.

Izvirzītās tēzes

Darbā tika izvirzītas vairākas tēzes.

- Resursu pārvaldība ir būtisks priekšnosacījums, ar ko būtu iespējams ilgtspējīgi nodrošināt lauksaimniecības sektora virzību uz klimatneitralitāti.
- Resursu efektivitāte ir būtisks priekšnosacījums, ar ko būtu iespējams ilgtspējīgi nodrošināt lauksaimniecības sektora virzību uz klimatneitralitāti.
- Oglekļa saistīga lauksaimniecība ir būtisks priekšnosacījums, ar ko būtu iespējams ilgtspējīgi nodrošināt lauksaimniecības sektora virzību uz klimatneitralitāti.
- Produktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošana ir svarīgs faktors lauksaimniecības sektora virzībā uz klimatneitralitāti, lai saglabātu uzņēmumu un nozares ekonomisko ilgtspēju.
- Biogāzei ir liels potenciāls Latvijā un virzībā uz lauksaimniecības sektora klimatneitralitāti.

Mērķis

Promocijas darba mērķis ir izpētīt klimatneitralitātes pasākumu ietekmi uz lauksaimniecības nozari un definēt galvenos priekšnosacījumus nozares attīstībai ceļā uz oglekļa saistīgu, ilgtspējīgu un dzīvotspējīgu lauksaimniecību. Mērķa sasniegšanai definēti vairāki uzdevumi.

- Analizēt biogāzes sektoru un piedāvāt ilgtspējīgākos risinājumus.
- Izpētīt un noskaidrot labākās oglekļa saistīgās lauksaimniecības metodes Latvijai, galvenokārt uzsverot lauka augkopības nozari.
- Izpētīt energoefektivitātes un resursu efektivitātes vadību un noteikt to ieviešanas nozīmi lauksaimniecības uzņēmumos.
- Izpētīt, kā palielināt ekonomisko piensumu lauksaimniecības sektoram no lopkopības atlikumproduktiem, ražojot produkciju ar augstāku pievienoto vērtību.
- Veikt gadījuma izpēti, lai novērtētu inovāciju ieviešanas nozīmi otrajā lielākajā lauksaimniecības apakšnozarē – lopkopībā.

Zinātniskā novitāte

Pētījuma novitāte ir transversālā analīze pārejai uz klimatneitrālu lauksaimniecību un resursu pārvaldības, energoefektivitātes un oglekļa lauksaimniecības ieviešanu divos dažādos, bet savstarpēji saistītos līmeņos – valsts (pirmais līmenis) un uzņēmumu (otrais līmenis), t. sk. visaptverošs uzsvars uz lauksaimniecības nozari.

Novitātes pirmais līmenis saistīts ar Latvijas lauksaimniecības nozares līmeni, un ir izstrādāta:

- oglekļa saistīgas lauksaimniecības zinātniskās idejas testēšana, izmantojot daudzkritēriju analīzes metodi;
- biogāzes potenciāla noteikšana ar ilgtspējības SVID analīzi;
- *TIMES* modelis, lai novērtētu produktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošanu no lopkopības produkcijas atlikumproduktiem;

- ilgtspējīgas biogāzes lietošana enerģētikas sektorā, izmantojot daudzkritēriju analīzi.

Otrais līmenis ir saistīts ar uzņēmumu darbības analīzi, modelēšanu, simulēšanu un prognozēšanu dažādās lauksaimniecības sektora apakšnozarēs, izmantojot tradicionālās un netradicionālās metodes un modeļus.

Lai izstrādātu integrējošu lēmumu pieņemšanas metodiku lauksaimniecības nozares pārejai uz klimatneitralitāti, tika izmantots atšķirīgs pētījumu metožu sadalījums gan kvantitatīvi, gan kvalitatīvi. Pētījuma novitāte ir arī vairāku akadēmisko metodoloģiju izmantošana, lai noteiktu virzienu uz rezultātā balstītu lauksaimniecības nozari un klimatneitralitāti. Tika izmantotas šādas metodes un izveidoti modeļi:

- 1) oglekļa bilance, lai novērtētu biogāzes izejvielu ilgtspējību;
- 2) ilgtspējības SVID analīze, lai novērtētu pašreizējo situāciju un nākotnes perspektīvu biogāzes sektorā;
- 3) daudzkritēriju analīze, lai novērtētu Latvijas apstākļos piemērotākās izejvielas biogāzes ražošanai, ilgtspējīgu biogāzes izmantošanas veidu enerģētikā, kā arī piemērotākās oglekļsaistīgas lauksaimniecības metodes vietējiem uzņēmumiem;
- 4) energoefektivitātes analīze, lai novērtētu enerģijas un resursu pārvaldības nozīmi un ieviešanas iespējas jebkurā lauksaimniecības uzņēmumā;
- 5) *TIMES* modelis, lai novērtētu produktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošanu no atlikumproduktiem lopkopības nozarē.

Hipotēze

Efektīva virzība uz klimatneitralitāti lauksaimniecības nozarē ir ilgtspējīga, ja vienlaikus notiek:

- efektīva resursu izmantošana un pārvaldība;
- produkcijas ar augstāku pievienoto vērtību ražošana;
- oglekļsaistīgas lauksaimniecības principi.

Praktiskā nozīme

Promocijas darbam ir liela praktiskā nozīme nacionālā un Eiropas kontekstā. Šī pētījuma rezultāti un secinājumi ir noderīgi Latvijas lauksaimniecības politikas pilnveidošanas procesā uz klimatneitralitāti. Šo darbu var izmantot jebkurš lauksaimniecības uzņēmums dažādu valsts dokumentu izstrādē, lēmumu pieņemšanas procesā, studijās un citos mācību procesos.

Struktūra

Promocijas darba pamatā ir deviņas saistītas zinātniskās publikācijas, galvenokārt pievēršot uzmanību Latvijai piemērotiem risinājumiem, kā arī metožu izstrādei, kas palīdzētu ilgtspējīgas politikas izstrādē Zaļā kursa kontekstā. Promocijas darbu ievada literatūras apskats, kurā ir aplūkoti Zaļā kursa mērķi lauksaimniecības kontekstā, literatūras analīze, kas sniedz pamatzināšanas, kas ir kritiski nepieciešamas šāda pētījuma veikšanai, kā arī izklāsts, kas ietver izmantoto metodoloģiju, pētījumu rezultātus un secinājumus. Kopumā darba struktūra burtiski atbilst lauksaimniecības nozares **ceļam** uz klimatneitralitāti (1. att.).



1. att. Promocijas darba struktūra.

Promocijas darba struktūra un publikāciju nozīme redzama 1. tabulā.

1. tabula

Promocijas darba struktūra un publikācijas

Metode	Publikācijas Nr.	Publikācijas nosaukums	Pārvaldības līmenis
Oglekļa bilances metode	1.	Oglekļa bilances metodoloģijas izstrāde biogāzei, kas ražota no speciāli audzētiem substrātiem. Latvijas gadījuma izpēte	Uzņēmuma līmenis
Ilgspējības SVID analīze	2.	Kāda būs biogāzes sektora nākotne?	Valsts līmenis Uzņēmuma līmenis
Daudzkritēriju analīze	3.	Biogāzes ražošanas bioresursu reitings	Uzņēmuma līmenis
Daudzkritēriju analīze	4.	Ilgspējīgs biogāzes lietojums enerģētikas sektorā	Valsts līmenis Uzņēmuma līmenis
Daudzkritēriju analīze	5.	Oglekļa saistīgas lauksaimniecības risinājumu izstrāde un novērtēšana	Valsts līmenis Uzņēmuma līmenis
Energoefektivitātes pārvaldības metode	6.	Enerģijas pārvaldības loma lauksaimniecības sektorā. Galvenie priekšnosacījumi un ietekme	Uzņēmuma līmenis
<i>TIMES</i> metode	7.	<i>TIMES</i> lietojums bioresursu plūsmas optimizācijai – lopkopības gadījuma izpēte Latvijā, Eiropā	Valsts līmenis Uzņēmuma līmenis
Sistēmdinamika	8.	Lauksaimniecības nozares virzība uz klimatneitralitāti. Būtisku posmu noteikšana	Valsts līmenis Uzņēmuma līmenis

Pētījums sākas no vienkāršākā pamatposma, kurā biogāze tiek pētīta no tādiem aspektiem kā:

- ilgtspējīga biogāzes ražošana; izstrādājot oglekļa bilanci, lai objektīvi kvantitatīvi noteiktu dabiski vai antropogēni no atmosfēras pievienotā vai izņemtā oglekļa dioksīda, lai noteiktu biogāzes ražošanas ietekmi uz vidi no speciāli audzētas kukurūzas skābarības, ko var izmantot tās ietekmes uz vidi aprēķinos, šo bilances metodi iespējams izmantot arī jebkuram citam substrātam;

- biogāzes nākotne Latvijā; izpratni par neseno Latvijas biogāzes sektora novērtējumu nodrošinot ar literatūras, ziņojumu, likuma un zinātnisko rakstu analīzi, izmantojot ilgtspējas SVID analīzi;

- bioresursi ilgtspējīgai biogāzes ražošanai; veicot daudzkritēriju analīzi, lai noteiktu Latvijas biogāzes sektora potenciālu – prognozētu labāko izejvielu atkarībā no valstī pieejamajiem resursiem un noskaidrotu, kuriem no biogāzes ražošanas substrātiem ir vislielākais potenciāls un ilgtspējība;

- ilgtspējīga biogāzes izmantošana; veicot daudzkritēriju analīzi, lai noskaidrotu potenciāli labāko biogāzes lietojumu enerģētikā.

Lai gan biogāzei neapšaubāmi ir liela nozīme lauksaimniecības klimatneitralitātē, tā nākotnē būs arī nozīmīga oglekļa lauksaimniecības politikas sastāvdaļa, tāpēc tika veikts pētījums par oglekļa saistīgu lauksaimniecību, veicot daudzkritēriju analīzi, lai identificētu Latvijas apstākļiem piemērotākos oglekļa saistīgas lauksaimniecības risinājumus un noteiktu to nozīmi.

Lai gan oglekļa piesaiste ir svarīgs aspekts lauksaimniecības virzībā uz klimatneitralitāti, tā nav iespējama bez ekonomiska pamatojuma, tāpēc pētīta:

- energoefektivitāte, lai noskaidrotu, vai, īstenojot energopārvaldības darbības un piedāvāto ietvaru energopārvaldības sistēmai lauksaimniecības sektorā uzņēmuma līmenī, būtu iespējams panākt enerģijas un emisiju ietaupījumu;

- produkti ar augstāku pievienoto vērtību, pētījumā piedāvājot jaunu *TIMES* modelēšanas pieejā balstītu modeli, kas palīdz izpētīt jaunu tehnoloģiju lietojumu lauksaimniecības sektorā un izvērtēt ieguldījumu lauksaimniecības sektorā jaunu konkurētspējīgu produktu ražošanā, papildus attīstot biorafinēšanu, kas būtiski ietekmē gan lauksaimniecību, gan citas nozares, paaugstinot kopējo resursu efektivitāti.

Lai sasniegtu promocijas darba mērķi, tika veikts galapētījums par klimatneitrālu lauksaimniecību, kurā tika izveidots sistēmdinamikas modelis, gadījuma izpētei izmantojot Latvijas piensaimniecību, lai tas ne tikai sniegtu ieskatu sistēmas struktūrā, bet arī identificētu sistēmas vājos posmus un ļautu veikt aprēķinus un izstrādāt ieteikumus.

Diskusija par darba rezultātiem ir prezentēta atsevišķā (trešajā) nodaļā, kurā treknrakstā izcelti galvenie apgalvojumi, kas izceļ promocijas darbā paveiktos konstatējumus ar nākotnes ilgtspējas vērtību.

ZINĀTNISKĀ APROBĀCIJA

1. Bumbiere K., Pubule J., Blumberga D. What Will Be the Future of Biogas Sector? *Environmental and Climate Technologies*, 2021, Vol. 25, No. 1, pp. 295–305. Available: <https://doi.org/10.2478/rtuct-2021-0021>.
2. Bumbiere K., Gancone A., Vasarevičius S., Blumberga D. Ranking of Bioresources for Biogas Production. *Environmental and Climate Technologies*, 2020, Vol. 24, No. 1, pp. 368–377. Available: <https://doi.org/10.2478/rtuct-2020-0021>.
3. Gancone A., Bumbiere K., Pubule J., Blumberga D. Sustainable biogas application in energy sector. Conference paper. 2020 IEEE 61st Annual International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University, RTUCON 2020 – Proceedings, 9316593. Available: 10.1109/RTUCON51174.2020.9316593.
4. Bumbiere K., Pubule J., Gancone A., Blumberga D. Carbon balance of biogas production from maize in Latvian conditions. *Agronomy Research*, 2021, Vol. 19, Special issue 1. Available: <https://doi.org/10.15159/ar.21.085>.
5. Bumbiere K., Diaz Sanchez F. A., Pubule J., Blumberga D. Development and assessment of carbon farming solutions. *Environmental and Climate Technologies*, 2022, Vol. 26, No. 1, pp. 898–916. Available: <https://doi.org/10.2478/rtuct-2022-0068>.
6. Bumbiere K., Sereda S., Pubule J., Blumberga D. The Role of Energy Management in the Agricultural Sector: Key Prerequisites and Impacts. *Agronomy Research*, 2023, Vol. 21, Special issue 2, pp. 439–450. Available: <https://doi.org/10.15159/AR.23.034>.
7. Bumbiere K., Feofilovs M., Asaris P., Blumberga D. Application of TIMES for Bioresource Flow Optimization – Case study of Animal Husbandry in Latvia, Europe. *Recycling*, 2023, Vol. 8, No. 5, pp. 70. Available: <https://doi.org/10.3390/recycling8050070>.
8. Bumbiere K., Meikulane E., Gravelsins A., Pubule J., Blumberga D. Progress of the agricultural sector towards climate neutrality: identification of essential stages. *Sustainability*, 2023, Vol. 15, No. 14, 11136. Available: <https://doi.org/10.3390/su151411136>.

Konferences, kurās apspriesti un prezentēti pētījuma rezultāti

1. Bumbiere K., Pubule J., Blumberga D. What Will Be the Future of Biogas Sector? *International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT*, 2021 May 12–14, Riga, Latvia.
2. Bumbiere K., Gancone A., Vasarevičius S., Blumberga D. Ranking of Bioresources for Biogas Production. *International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT*, 2020 May 13–15, Riga, Latvia.
3. Bumbiere K., Gancone A., Pubule J., Blumberga D. Sustainable biogas application in energy sector. 2020 IEEE 61st Annual International Scientific Conference on Power

and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTU CON 2020):
Proceedings, Latvia, Riga, November 5–7, 2020.

4. Bumbiere K., Pubule J., Gancone A., Blumberga D. Development of a carbon balance methodology for biogas produced from specially grown substrates: A Latvian case study. Biosystems Engineering 2021 May 5–6, Tartu, Estonia.
5. Bumbiere K., Diaz Sanchez F. A., Pubule J., Blumberga D. Development and assessment of carbon farming solutions. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT, 2022 May 11–13, Riga, Latvia.
6. Bumbiere K., Sereda S., Pubule J., Blumberga D. The Role of Energy Management in the Agricultural Sector: Key Prerequisites and Impacts. 13th International Conference on Biosystems Engineering 2023 May 10–12, Estonia, Tartu.
7. Bumbiere K., Meikulane E., Gravelins A., Pubule J., Blumberga D. Progress of the agricultural sector towards climate neutrality: identification of essential stages. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT, 2023 May 10–12, Riga, Latvia.

Citas publikācijas

1. Bumbiere K., Barisa A., Pubule J., Blumberga D., Gomez-Navarro Tomas. Transition to climate neutrality at University Campus. Case study in Europe, Latvia. Environmental and Climate Technologies, 2022, Vol. 26, No. 1, pp. 941–954. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT, 2022 May 11–13, Riga, Latvia.
2. Vistarte L., Pubule J., Balode L., Kaleja D., Bumbiere K. An Assessment of the Impact of Latvian New Common Agriculture Policy: Transition to Climate Neutrality. Environmental and Climate Technologies, 2023, Vol. 27, No. 1, pp. 683–695. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies, CONECT, 2023 May 10–12, Riga, Latvia.

1. METODOLOĢIJA

Lai sasniegtu pētījuma mērķus, tika izmantotas vairākas metodes – oglekļa bilance, ilgtspējības SVID analīze, daudzkritēriju analīze, *TIMES* modelis un sistēmdinamikas modelis.

1.1. Oglekļa bilances metode

Tika veikta oglekļa bilance, lai kvantitatīvi noteiktu dabiski vai antropogēni no atmosfēras pievienotā vai izvadītā oglekļa dioksīda, lai noteiktu biogāzes ražošanas ietekmi uz vidi no substrāta, šajā gadījumā – no speciāli audzētas kukurūzas. Lai gan oglekļa bilances metode līdz šim ir izmantota, piemēram, lai modelētu zemes izmantošanas vai mežsaimniecības izmaiņas dažādu mežsaimniecības metožu ietekmē, nav pētījumu, kas izstrādātu oglekļa bilances, lai noteiktu substrātu izvēles ietekmi uz vidi biogāzes ražošanā. Metodoloģija balstījās dzīves cikla analīzē, kas ietvēra aprēķinus:

- kukurūzas audzēšanas emisijas augsnes apstrādes, slāpekļa minerālmēsli un degvielas izmantošanas dēļ;
- fotosintēzes procesa rezultātā savāktās emisijas;
- emisijas noplūdes no biogāzes ražošanas procesa;
- emisijas kukurūzas digestāta mēslojuma izmantošanas dēļ;
- ietaupītās emisijas, aizstājot minerālmēsli ar digestātu.

Lai aprēķinātu degvielas emisijas, tika savākti dati no kādas lauksaimniecības saimniecības Latvijā. Noskaidrojot zemāko dīzeļdegvielas sadegšanas siltumu, iespējams iegūt lauka apstrādei patērēto enerģiju. Taču, zinot lauka kultivēšanas procesā patērēto enerģiju, kā arī izmantojot 2006. gada Klimata pārmaiņu starpvaldību padomes (*IPCC*) vadlīniju emisijas faktorus, ir iespējams iegūt rezultātu degvielas izmantošanas radīto emisiju tonnās. Nosakot gada emisijas, tiek aprēķināti rādītāji – emisijas no 1 ha biogāzes ražošanai izmantotās kukurūzas pārstrādes.

Kukurūzas speciālās kultivēšanas laikā degviela nav vienīgais izmešu avots, to rada arī kultūraugu atlieku iestrāde augsnē, kā arī slāpekļa izmantošana, tādēļ tika izmantota *IPCC* 2006. gada vadlīniju 1. līmeņa metodika, lai aprēķinātu slāpekļa oksīda emisijas no apsaimniekotām augsnēm. Tiešajām slāpekļa oksīda emisijām no lauksaimniecības augsnēm tika izmantots 1.1. vienādojums.

$$N_2O-N = [(F_{SN} + F_{CR}) \cdot EF], \quad (1.1.)$$

kur:

$N_2O - N - N_2O$ emisijas slāpekļa vienībās (tiešās N_2O emisijas no apstrādātām augsnēm, kg $N_2O - N$ gadā⁻¹);

F_{SN} – slāpekļa daudzums augsnē uzklātajā mēslošanas līdzeklī (kgN/gadā);

F_{CR} – N kukurūzas atlikumu daudzums, kas katru gadu nonāk augsnē (virs un zem zemes);

EF – N_2O emisijas koeficients no N ievades, kg $N_2O - N$ kg⁻¹ N (ievade = 0,01).

Lai ziņotu par kg N₂O–N emisiju pret N₂O emisijām, tika izmantots 1.2. vienādojums.

$$N_2O = N_2O - N \cdot 44/28 \quad (1.2.)$$

Viens no aprēķinu parametriem tiešo slāpekļa oksīda emisiju novērtēšanai no N izmantošanas apsaimniekotajās augsnēs ir tīrā slāpekļa mēslojuma daudzums gadā. Dati par nepieciešamajiem neorganiskajiem mēslošanas līdzekļiem augsnēs ņemti no A. Kārkliņa grāmatas “Augsnes apstrādes un mēslošanas līdzekļu lietošanas aprēķina metodes un standarti”, kurā teikts, ka kukurūzas ražībai 31,8 t/ha nepieciešams N mēslojums 0,1 t/ha.

Inesīgums N gadā ir aprēķināts pēc IPCC 2006. gada pamatnostādņu 1. līmeņa metodoloģijas:

$$F_{CR} = Yield \cdot DRY \cdot Frac_{Renew} \cdot Area \cdot R_{AG} \cdot N_{AG} \cdot Area \cdot R_{BG} \cdot N_{BG}, \quad (1.3.)$$

kur:

Yield – novāktās kukurūzas raža (kg svaiga kukurūza/ha);

DRY – novāktās kukurūzas sausas daļa (kg sausas / kg svaigā masa);

Frac_{Renew} – kopējā kukurūzas platība;

Area – kopējā novāktās kukurūzas ražas platības daļa (ha/gadā);

R_{AG} – sauszemes, virszemes atlieku cietās masas (*AGDM*) un kukurūzas ražas (*Crop*), kg sausā masa (kg sausā masa)⁻¹;

N_{AG} – N virszemes augu atlieku saturs kukurūzā (kg N/kg sausas);

R_{BG} – pazemes atlikumu attiecība pret kukurūzas ražu (kg sausā frakcija/kg sausā frakcija);

R_{BG} var tikt aprēķināts, reizinot *RBG-BIO* ar kopējo virszemes biomasas un labības ražas attiecību ($R_{BG} = [(AGDM \cdot 1000 + Crop) / Crop]$);

N_{BG} – kukurūzas pazemes atlieku N saturs (kg N / kg sausas) (0,007).

Lai aprēķinātu kultūraugu atlieku gada produkciju *F_{CR}*, ir nepieciešams šāds aprēķins:

$$R_{AG} = AGDM \cdot 1000 / Crop, \quad (1.4.)$$

kā arī papildu vienādojums, lai novērtētu sauszemes virsmas cietās vielas *AGDM* (Mg/ha):

$$AGDM = (Crop/1000) \cdot slope + intercept. [16]. \quad (1.5.)$$

Korekcijas koeficients sausas ražas novērtēšanai tiek noteikts ar 1.6. formulu.

$$Crop = Yield Fresh \cdot DRY, \quad (1.6.)$$

kur:

Crop – novāktā sausas ražas frakcija T, kg sausas ha⁻¹;

Yield Fresh – svaigās frakcijas ražas daļa T, kg svaigā frakcija ha⁻¹;

DRY – novāktās ražas sausas frakcija T, kg sausas (kg sausas)⁻¹.

Lai gan digestāta izmantošana lauka mēslošanā samazina emisijas, salīdzinot ar minerālmēslojumu, augsnes mēslošana ar digestātu rada arī siltumnīcefekta gāzu emisijas. No kukurūzas biogāzi ražojošās saimniecības "X" iegūtie analīžu rezultāti liecina, ka digestāta mēslojuma N saturs ir vidēji 3,8 kg/t. Zinot N saturu digestātā un iegūtās digestāta tonnas, digestāta mēslošanas emisijas tika aprēķinātas saskaņā ar 2006. gada *IPCC* vadlīnijām.

Aplūkojot emisijas no biogāzes ražošanas procesa, jāņem vērā, ka, lai gan biogāze tiek ražota no kukurūzas, kas ir atjaunojams resurss un atgūst oglekļa emisijas, ko augi ir absorbējuši augšanas procesā, tiek ņemtas vērā biogāzes ražošanas procesa emisijas. Pamatojoties uz zinātniskajiem rakstiem, emisiju noplūdes veido 1 % no biogāzes zudumiem biogāzes ražošanā, kas ietver gan tajā esošos 52 % metāna, gan atlikušos 48 %, kas tiek pieņemts kā oglekļa dioksīds.

Lai gan SEG emisijas rodas no lauka kultivēšanas kukurūzas audzēšanas laikā, kukurūzas augšana ietver fotosintēzes procesus, kas atdala CO₂ no atmosfēras. Lai aprēķinātu CO₂ daudzumu, kas gadā uztverts noteiktā biogāzes kukurūzas audzēšanas platībā, sausnas daudzums jāreizina ar CO₂ absorpcijas koeficientu.

Visi emisiju zudumi ir apkopoti, uzrādot vidējās vērtības.

1.2. Ilgtspējības SVID analīze

Ilgtspējības SVID analīze, kurā tiek analizētas stiprās puses, vājās puses, iespējas un draudi, ir jauns pavērsiens pazīstamajā SVID, kurā var iekļaut daudz vairāk nekā vides problēmas. Tā ir ļoti vienkārša metode, ko var efektīvi izmantot ne tikai uzņēmumi resursu plānošanai, bet arī stratēģijas prioritāšu noteikšanai rūpniecības un politikas līmenī. Tas ir paredzēts, lai veicinātu sadarbību saistībā ar vides izaicinājumiem, iespējamiem riskiem un iespējām, kas pretējā gadījumā var palikt nepamanītas.

Šī pētījuma daļa ir literatūras apskata rezultāts, galvenokārt analizējot ziņojumus, tiesību aktus, zinātniskos rakstus, kas tika identificēti kā būtiski materiāli, lai sniegtu izpratni par neseno Latvijas biogāzes nozares novērtējumu. Izvēloties informācijas avotus, priekšroka tika dota jaunākajiem rakstiem:

- īpaša uzmanība tika pievērsta atbilstošu darbu atlasei, piemēram, nacionālie plāni, tehnoloģiskie un ekonomiskie ziņojumi Latvijas enerģētikas, biogāzes sektoram, žurnālu raksti, lai objektīvi aplūkotu pēdējo 20 gadu aktuālākos jautājumus un notikumus;
- zinātniskie raksti, kas publicēti recenzējamos žurnālos angļu valodā.

Tajā tiek pētīta Latvijas biogāzes nozares attīstība, kas ir īpaši aktuāla un interesanta tās nestabilitātes un straujā mainīguma dēļ. Analīze izgaismo ekonomisko, vides, politisko un sociālo dinamiku, izmantojot ilgtspējas SVID (iSVID) metodi. Pamatojoties uz iegūto literatūras apskatu, attiecīgi tika izveidota tabula (uzrādīta rezultātu sadaļā), kurā definētas stiprās, vājās puses, iespējas un draudi.

1.3. Daudzkritēriju analīze

TOPSIS metode ir viena no metodēm, kas ļauj precīzi noteikt kritēriju vērtību dažādu vienību salīdzināšanai. Šajā darbā lēmuma pieņemšanai izmantotā *TOPSIS* metode ir “Klasiskā *TOPSIS* metode vienam lēmumu pieņemējam”. *TOPSIS* metode pētījuma veikšanai izvēlēta, jo tā pieļauj kompromisus starp kritērijiem, kur slikto rezultātu pēc viena kritērija var kompensēt ar labu rezultātu pēc cita kritērija, tādējādi nodrošinot reālistiskāku modelēšanu nekā metodes, kas ietver vai izslēdz alternatīvus risinājumus stingro ierobežojumu dēļ. Atšķirībā no citām metodēm *TOPSIS* metodē katram kritērijam tiek noteikta optimizācija (*max* vai *min*) vēlamajam rezultātam, piešķirot vērtību katrai alternatīvai.

Pētījuma pirmajā posmā tika veikta datu vākšana un analīze, tostarp zinātniskās literatūras, sākotnējo datu un noteikumu apskats. Pamatojoties uz pētījuma pirmā posma rezultātiem, tika identificēti un atlasīti daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas procesā izmantotie indikatori (tehniskie, vides un ekonomiskie). Nākamajā solī tika noteiktas rādītāju vērtības un pēc rādītāju normalizēšanas un svēršanas veikta reitinga un vērtēšanas *MCA*, lai atrastu labākos bioresursus biogāzes ražošanai. *TOPSIS* metode balstās septiņos galvenajos soļos:

- demonstrēt veiktspējas matricu;
- normalizēt lēmumu matricu;
- aprēķināt svērto normalizēto lēmumu matricu;
- noteikt pozitīvo ideālo un negatīvo ideālo risinājumu;
- aprēķināt atdalīšanas pasākumus;
- aprēķināt relatīvo tuvumu ideālajam risinājumam;
- sarindot preferenču secību.

MCA tika veikta, lai noteiktu Latvijas biogāzes sektora potenciālu – prognozētu labāko izejvielu atkarībā no valstī pieejamajiem resursiem, kam no biogāzes ražošanas substrātiem ir vislielākais potenciāls un ilgtspējība. Šajā daudzkritēriju analīzē tika analizētas šādas izejvielas: liellopu kūtsmēsli; cūku kūtsmēsli; mājputnu kūtsmēsli; notekūdeņu dūņas; organiskie atkritumi; koksne; salmi; kukurūzas skābarība. Datu vākšanai tika izmantots 2017. gads, un šis daudzkritēriju analīzē nav ņemts vērā saimniecību lielums, kas saistīts ar faktisko mājlopu skaitu, kūtsmēsļu savākšanas tehnoloģiju un transportēšanas attālumu no izejvielu ieguves vietas līdz biogāzes stacijai.

Tika analizēta dažādu izejvielu efektivitāte iznākuma izteiksmē, cik kubikmetru biogāzes var iegūt no tonnas konkrētās izejvielas. Šo izejvielu efektivitāte tika noteikta kā vidējā vērtība un apkopota. Lai noteiktu konkrēta substrāta izmantošanas nozīmi biogāzes ražošanā, tika apkopoti dati par to, cik daudz emisiju tas varētu novērst, tādējādi tuvinot to pieejamības un nozīmīguma proporciju un ietekmi uz vidi atkarībā no tā, cik šī materiāla tiek saražots vienā gadā, un tā emisijas koeficientu. Lai objektīvi aprēķinātu potenciāli novēršamo emisiju daudzumu (gan slāpekļa oksīds, gan metāns), emisijas tika salīdzinātas ar oglekļa dioksīda ekvivalentiem un summētas. 1 kg slāpekļa oksīda tika aprēķināti kā 298 kg oglekļa dioksīda, 1 kg metāna – kā 25 kg oglekļa dioksīda.

Kopumā tika apsvērti trīs galvenie kritēriji. Eksperti balsoja par svarīgākajiem kritērijiem, un “klimata draudzīgums” tika novērtēts ar 35 %, ekonomiskais pamatojums – ar 35 %, tehnoloģiskie aspekti – ar 30%.

Lai noteiktu kūtsmēslu potenciālu biogāzes ražošanai, tika veikts aprēķins, lai summētu īpatnējo izejvielu emisiju apjomu Latvijā vienā gadā. Lai noteiktu, kura izejviela ir ekonomiski izdevīgākā biogāzes ražošanai, tika apkopota informācija par izejvielu cenām. Lai iegūtu 1 m³ biogāzes ražošanas izmaksas no noteikta substrāta, substrāta cena tika dalīta ar substrāta efektivitāti. Salīdzinājumam 1.1. tabulā apkopoti trīs galvenie kritēriji, kas identificēti kā biogāzes substrāta izvēles noteicošie faktori.

1.1. tabula

Daudzkritēriju analīzes vērtību matrica

	Efektivitāte (biogāzes iznākums), m ³ /t	Vides faktors (uzņemtās emisijas Latvijas teritorijā), ktCO ₂ eq/gadā	Ekonomiskais faktors, €/m ³ biogāze
Liellopu kūtsmēsli	35,0	115,47	0,09
Cūku kūtsmēsli	44,0	25,71	0,02
Vistu kūtsmēsli	80,0	4,73	0,03
Notekūdeņu dūņas	218,0	113,53	0,01
Organiskie atkritumi	100,0	403,50	-0,74
Koksne	35,5	0,00	1,18
Salmi	190,0	0,00	0,08
Kukurūza	202,0	-6,56	0,25

1.3.1. Daudzkritēriju analīze ilgtspējīgai biogāzes izmantošanai

Lai arī biogāzes ražošana Latvijai ir īpaši piemērota, kopš 2016. gada, kad darbojās 56 biogāzes stacijas, līdz 2020. gadam savu darbību ir pārtraukušas septiņas stacijas, turklāt vairāku biogāzes staciju darbu vēl plānots pārtraukt. Vienlaikus transporta nozare ir lielākā SEG emisijas nozare Latvijā un, lai gan ES dalībvalstīm līdz 2020. gadam transporta sektorā ir jānodrošina 10 % no atjaunojamās enerģijas patēriņa, 2018. gadā tās īpatsvars bija tikai 4,7 %, turklāt biogāze transportā netiek izmantota vispār. Ņemot vērā to, ka lielākā patēriņa nozare enerģijas galapatēriņā ir transports, kā arī to, ka transporta nozare ir lielākais SEG emisiju avots, svarīgi no 2022. gada noteikt iespējami zemāko akcīzes nodokļa likmi biometānam un biodegvielai, izvērtējot iespēju diferencēt samazinātās likmes pirmās paaudzes biogāzei.

Tāpēc šajā pētījumā uzmanība tiek pievērsta lauksaimniecības biogāzei, ko transporta sektorā var izmantot diviem mērķiem: (a) sadedzināt koģenerācijas sistēmās, kā arī autotransportam izmantoto elektroenerģiju; (b) attīrīt līdz biometānam un izmantot kā autotransporta degvielu. Metodoloģija tiek demonstrēta kā Latvijas gadījuma izpēte. Lai analizētu biogāzes izmantošanas iespējas enerģētiskā, tika izmantoti seši kritēriji (1.2. tab.).

1.2. tabula

Biogāzes lietošanas scenāriju novērtēšanai izmantotie kritēriji

Dimensija	Indikators	Mērvienība	Vēlamais rezultāts	Indikatora svars %
Tehniskā	Visas sistēmas efektivitāte	%	<i>Max</i>	10
	Efektivitātes pieaugums transporta nozarē	%	<i>Max</i>	20
	Saražotā enerģija transporta nozarei	MWh	<i>Max</i>	10
Vides	Samazinātās SEG emisijas	ktCO ₂ ekv.	<i>Max</i>	30
Ekonomiskā	Izmaksas	€/MW	<i>Min</i>	30

Šie seši kritēriji no trim dimensijām tika izmantoti analizēto scenāriju novērtēšanai. Kritēriju svarus noteica jomas eksperti. Rādītāju vērtības tika iegūtas gan no literatūras analīzes, gan Latvijas Biogāzes asociācijas. Labākā scenārija noteikšanai biogāzes izmantošanai enerģijas transportā izmantota daudzkritēriju analīzes metode *TOPSIS*. Normalizētā un svērtā lēmumu pieņemšanas matrica redzama 1.3. tabulā.

1.3. tabula

Normalizētā un svērtā lēmumu pieņemšanas matrica

Indikatori	Tehniskie indikatori			Vides indikatori	Ekonomiskie indikatori
	Visas sistēmas efektivitāte, %	Efektivitātes pieaugums transporta nozarē, %	Saražotā enerģija transporta sektoram, MWh	Samazinātās SEG emisijas, ktCO ₂ ekv.	Izmaksas, €/MW
1. scenārijs	0,076	0,093	0,098	0,291	0,260
2. scenārijs	0,065	0,177	0,021	0,073	0,150

1.3.2. Daudzkritēriju analīze piemērotākajiem oglekļa saistīgas lauksaimniecības risinājumiem

Šī pētījuma mērķis – identificēt oglekļa saistīgas lauksaimniecības risinājumus Latvijas gadījumam un noteikt to nozīmīgumu SEG emisiju kontekstā. Tajā salīdzinātas sešu oglekļa saistīgu lauksaimniecību iespējas, izsverot piecus dažādus parametrus – vienu ekonomisko pamatojumu, divus vides parametrus un divus tehnoloģiskos aspektus, un nozares eksperti novērtēja tos vienlīdzīgā nozīmīguma svarā. Metodoloģiskais algoritms tika izmantots Latvijas gadījuma izpētē, taču to var izmantot dažādiem pētījumiem, kuriem nepieciešams atrast labāko risinājumu atkarībā no šiem kritērijiem.

Kā viens no kritērijiem *TOPSIS* analīzei tika pieņemta jau Latvijā šim procesam atvēlētā platība, neveicot nekādus uzlabojumus vai paplašināšanu. Potenciālā teritorija ir noteikta arī tāpēc, lai noskaidrotu oglekļa saistīgo metožu iespējamo potenciālu ne tikai esošajās teritorijās,

bet arī nākotnē, paplašinot plašāku teritoriju apsaimniekošanu ar ilgtspējīgu praksi. Lauksaimniecības dati Latvijā tiek atjaunoti salīdzinoši reti, tāpēc tika akceptētas statistikas datubāzēs norādītās 2016. gada izmantotās platības. Ņemot vērā to, ka nav zināmi dati par uztveršanas apmēru ar augsnes izmantošanu Latvijas teritorijā, tai atvēlētā platība šobrīd tiek pieņemta kā visa lauksaimniecībā izmantojamā platība, jo šīs prakses lietojuma apjoms ir ļoti plašs, taču tajā pašā laikā ir milzīgs uzlabojumu potenciāls. Biogāzes un biometāna ražošanai nepieciešamās platības tika aprēķinātas, ja biogāze 100 % ražota no šobrīd Latvijā esošo lauksaimniecības dzīvnieku kūsmēsliem, ņemot vērā ganībām nepieciešamās platības, kā arī platības, kas nepieciešamas šiem dzīvniekiem nepieciešamās barības saražošanai. Biogāzes un biometāna platību paplašināšana nav pieņemama, jo biogāze un biometāns ir produkti, kas ražoti no atkritumiem, nevis kā primārais produkts, līdz ar to šīs metodes attīstība nebūs noteicošais faktors lauksaimniecības dzīvnieku skaita palielināšanai uzņēmumos. Lai aptuveni noteiktu patlaban izmantojamo platību biogāzes/biometāna ražošanai, tika noteikts 2016. gadā saražotās enerģijas apjoms no Latvijā iegūtās biogāzes un, ņemot vērā, cik lielu ražu var iegūt no 1 t attiecīgā kūsmēsli veida, tika aprēķināts, ka tiek izmantoti tikai 16,2 % no Latvijā pieejamā kūsmēsli resursa. Attiecīgi patlaban teorētiski izmantotā teritorija ir pielīdzināta biogāzes ražošanas apjomam. Tiek pieņemts, ka potenciālā paplašināšanās vieta tādām darbībām kā agromežsaimniecība un daudzgadīgie augi ir neapsaimniekoti Latvijas krūmāji. Pieejamā budžeta noteikšanai tika ņemta informācija no Latvijas Kopējās lauksaimniecības politikas (KLP) stratēģiskā plāna 2023–2027 un Kohēzijas fondu informācijas biometāna attīstībai.

Tika pieņemts SEG emisiju piesaistes apjoms kilotonnās viena gada laikā pēc katras metodes patlaban piešķirtajās platībās. Precīzu datu par to, cik daudz emisiju notiek šajos procesos/nozarēs, nav, tāpēc aprēķini tika veikti, pamatojoties uz zinātnisko publikāciju pieņēmumiem.

Nulles augsnes apstrāde paredz emisiju samazinājumu par 41 %, minimālā augsnes apstrāde – par 26 %, salīdzinot ar tradicionālo, tāpēc, lai aprēķinātu aptuveno ikgadējo CO₂ekv. samazinājumu, tika izmantoti tradicionālās kukurūzas audzēšanas dati. Pašreizējais biogāzes un biometāna potenciāls tiek aprēķināts, ņemot vērā IPCC noklusējuma SEG emisijas faktorus un vidējo slāpekļa izdalīšanos uz vienu dzīvnieku gadā. Taču jāņem vērā, ka reālais emisiju samazinājums būtu krietni lielāks, jo šajā aprēķinā ņemtas vērā tikai tās emisijas, kas tiek novērstas, apsaimniekojot lauksaimniecības dzīvnieku kūsmēsļus, savukārt, ja aprēķins tiktu veikts citādi – ne pēc izmantojamās platības, kur SEG emisiju samazinājums vistiešākajā veidā ir atkarīgs no izmantojamās teritorijas, bet no iespējamā biogāzes/biometāna patēriņa Latvijā, ja dabasgāzes un fosiliju izmantošanu pilnībā aizstātu ar biogāzi un/vai biometānu (atbilstoši potenciālajam apjomam, ko var iegūt, var pārliecināties, ka Latvijas gadījumā tas ir reāli sasniedzams mērķis). Izmantojot Centrālās statistikas pārvaldes datus, kas norāda, ka 2016. gadā dabasgāzes patēriņš bija 1371 m³, un EPA kalkulatoru, ir aprēķināts, ka 2016. gadā dabasgāzes patēriņa dēļ radās 29 397 tCO₂ekv., kas nozīmē, ja tiktu izmantota biogāze, emisijas tiktu ne tikai novērstas par 100 %, bet tās pat būtu negatīvas, jo biogāzes izmantošana nodrošina emisiju samazinājumu par 240 %, salīdzinot ar fosilajiem resursiem, par 64 %, salīdzinot ar dabasgāzi enerģētiskā, un par 202 %, salīdzinot ar fosilās degvielas izmantošanu transportā.

Pieņemot vītola bioogles lietošanu visā lauksaimniecības aramzemes platībā pašreizējās teritorijās, kā arī zinot, ka vītola bioogles varētu kompensēt 7,7 % no ikgadējām SEG emisijām, kā arī to, ka 2018. gadā augsnes apstrāde Latvijā radīja 1547,4 ktCO₂ekv. emisijas, kas emisiju ziņā bija lielākā SEG emisiju apakšnozare lauksaimniecības sektorā, emisiju piesaiste varētu būt pat 119 ktCO₂ekv. gadā. Tomēr jāņem vērā, ka šis aprēķins ir idealizēts bez padziļinātas izpētes par tām teritorijām, kurās šāda bioogles izmantošana nebūtu vēlama. Tomēr, ņemot vērā plašo uztveršanas ar augsni metožu iespējām, pieņemam to kā aprēķinu visām lauksaimniecības augsnēm. Daudzgadīgie augi spēj piesaistīt ap 3,6 tCO₂/ha/gadā, un, zinot patlaban izmantoto un potenciālo teritoriju, var aprēķināt daudzgadīgo augu ietekmi uz vidi SEG emisiju kontekstā.

Aprēķinot, cik potenciāli būtu iespējams piesaistīt SEG emisijas, izmantojot visus konkrētajai metodei pieejamos resursus, var redzēt, cik lielas emisiju samazināšanas iespējas sniedz pozitīvas lauksaimniecības prakses ieviešana. Šajā aprēķinā biogāzes un biometāna potenciālā tiek ņemtas vērā tikai tās emisijas, ko var novērst kūtsmēsļu apsaimniekošanas dēļ. Tas neietver emisiju samazinājumu, kas rodas, kā mēslojumu izmantojot digestātu, tāpēc jāņem vērā, ka patiesais ieguvums būtu lielāks. Visas *TOPSIS* indikatoru vērtības apkopotas 1.4. tabulā.

1.4. tabula

TOPSIS indikatoru vērtības

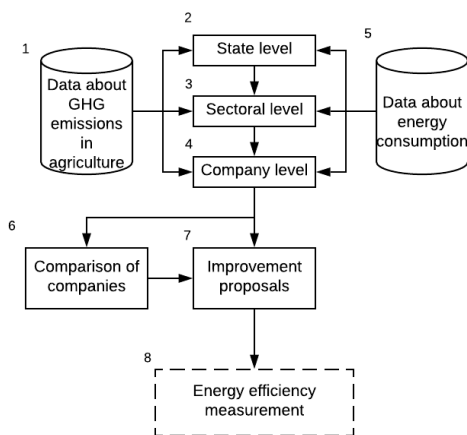
Metode	Platība 2020. gads, ha	Potenciālā platība, ha	Budžets, €	SEG emisiju piesaiste esošajās platībās, ktCO ₂ eq/gadā	Potenciāli iespējamā SEG emisiju piesaiste, ktCO ₂ eq/gadā
Nulles apstrāde	12 818	370 000	5 550 000	8,2	595,0
Minimālā apstrāde	68 388	370 000	5 550 000	27,9	377,3
Biogāze	180 216.1	1 112 445	0	61,6	380,1
Uztveršana augsnē	2 285 477	2 285 477	16 688 447.8	119,2	119,2
Daudzgadīgie augi	28 827	103 829	15 520 000	103,8	373,8
Biometāns	180 216.1	1 112 445	61 000 000	61,6	380,1
Agro- mežsaimniecība	0	103 829	4 055 000	0	37,4

1.5. Energoefektivitātes mērīšana

Metodoloģija tika balstīta *IPCC* vadlīnijās, kas rakstūtas 2017.–2018. gadā. Lai redzētu emisiju pieaugumu lauksaimniecības nozarē, 2005. gads tika salīdzināts ar 2015. gadu. Šajā pētījumā tika izmantotas šādas metodes, vadlīnijas un rokasgrāmatas: *IPCC* vadlīnijas, Latvijas SEG emisiju inventarizācijas ziņojums un rokasgrāmata “Rokasgrāmata lauksaimniekiem SEG

aprēķināšanai saimniecības līmenī un to samazināšanas pasākumi”. Darba gaitā tiks veikta lauksaimniecības uzņēmumu rādītāju analīze un salīdzināšana, izstrādāta metodoloģija, kas lietojama noteiktā līmenī.

Pētījuma mērķa sasniegšanai izstrādāts metodoloģijas algoritms (1.1. att.). Tas ir sadalīts astoņos posmos, kas parāda ieteicamās darbības katrā līmenī: (1) SEG emisiju datu izvērtēšana; (2) valsts līmeņa datu analīze; (3) nozares līmeņa datu analīze; (4) uzņēmuma līmeņa datu analīze; (5) enerģijas patēriņa datu analīze, (6) uzņēmumu salīdzinājums; (7) piedāvātie uzlabošanas pasākumi; (8) energoefektivitātes pasākumi. Algoritma pirmā daļa ir orientēta uz pašreizējās situācijas noteikšanu un analīzi. Savukārt otrā daļa ir nākotnes perspektīvu apzināšana, iespēju meklēšana un praktisku risinājumu ieviešana attīstības veicināšanai.



1.1. att. Metodoloģijas shēma.

Kā redzams shēmā, metodoloģija ietver astoņus moduļus, no kuriem trīs ir galvenie – valsts līmeņa (2), nozares līmeņa (3), uzņēmuma līmeņa (4). No pirmā līdz piektajam posmam datu vākšana un publiski pieejamie dati tiek analizēti, izmantojot datu analīzes metodes. Dati tiek salīdzināti no sestā līdz astotajam posmam, un tiek piedāvāti SEG emisiju un enerģijas samazināšanas pasākumi. Šos pasākumus sauc arī par energoefektivitātes pasākumiem.

Lauksaimniecības sektora emisijas tiek aprēķinātas šādās kategorijās: lauksaimniecības zemes; zarnu fermentācija; kūtsmēsli; zemes kaļķošana; urīnvielas izmantošana.

Pētījuma mērķis bija noskaidrot, vai, īstenojot energopārvaldības darbības, būtu iespējams ietaupīt enerģiju un emisijas un piedāvāt ietvaru energopārvaldības sistēmai lauksaimniecības sektorā uzņēmuma līmenī.

1.6. *TIMES* modelis

TIMES bioekonomikas vērtību modelis (*TIMES-BVM*) izstrādāts, lai modelētu bioresursu plūsmas un tehnoloģijas lopkopības nozares attīstībai, un to var izmantot arī tam, lai pētītu citas

lauksaimniecības apakšnozares, piemēram, graudkopību, lauka augu audzēšanu, siltumnīcu dārzkopību un citas. Modeļa mērķis ir palīdzēt saprast, kā lauksaimniecības apakšnozare var veicināt augstākas pievienotās vērtības mērķa sasniegšanu bioresursu pieaugumam 2030. gadam. Modelis pievēršas biorafinēšanas rūpnīcu attīstībai no dabisko ierobežojumu (resursu izmantošanas jaudas) perspektīvas, ekonomiskās dzīvotspējas (tehnoloģija, apkope un darbība) un sociālajiem ekonomiskiem aspektiem (algu palielināšana utt.). Pētījumā izveidotais modelis tiek izmantots, lai atrastu ekonomiski izdevīgāko scenāriju bioresursu vērtības palielināšanai. Tas tiek panākts ar optimizācijas tipa simulāciju, kurā tiek izmantoti 2015.–2019. gada vēsturiskie dati un nākotnes nozares attīstības tendenču prognoze, kā arī iespējas izmantot jaunas bioresursu tehnoloģijas augstākas pievienotās vērtības produktu ražošanai, sākot no 2023. gada.

Modeļa struktūra ir izveidota, pamatojoties uz vispārējo *TIMES-BVM* struktūru, kas ietver resursus (šajā gadījumā primāros lopkopības resursus, piemēram, olas, gaļu, pienu, vilnu un medu), tehnoloģijas (jēlproduktu pirmapstrāde un sagatavošana, pārtikas ražošana, lopbarības un citu produktu un blakusproduktu pārstrāde, produktu plūsmas (imports, eksports un vietējā ražošana) un pieprasījums. Struktūrā izmantotie procesi ir sadalīti primārajā ražošanā, importa un eksporta procesos, transformācijas darbībās, piemēram, biorafinēšanas rūpnīcās, un produktu pieprasījumā. Šie elementi ir definēti, pamatojoties uz statistikas datubāžu, piemēram, Latvijas Centrālās statistikas pārvaldes (CSP), *Eurostat* un *Faostat* datubāzes, datiem, literatūras datiem, uzņēmumu intervijām u. c.

Modelis ietver četras bioresursu stadijas – primārie un apstrādātie resursi, galaprodukts un pieprasījums. Primāro resursu piegādei ir integrēti dažādi tehnoloģiskie procesi attiecībā uz vietējiem un importētajiem resursiem, izmaksām, efektivitāti, jaudu, pieejamību un primāro un sekundāro resursu apstrādes tehnoloģiju ierobežojumiem. Katrs transformācijas ceļš modeļa simulācijā tiek aprēķināts, izmantojot optimizācijas pieeju, un rezultāti parāda labāko risinājumu pieprasījuma apmierināšanai ar viszemākajām izmaksām. Rezultāti ietver ceļu tehniskos un ekonomiskos raksturlielumus, pamatojoties uz modeļa inventarizāciju. Modeļa izlaide tiek iegūta kā kvantitatīvs rezultāts biomasas plūsmām un jaunu jaudu papildinājumiem tehnoloģijām, ko izmanto produktu ražošanā, lai apmierinātu pieprasījumu, kopējās izmaksas un piegādāto produktu kopējo pievienoto vērtību.

1.5. tabula

TIMES-BVM modeļa ievades dati

Daļas	Mainīgais	Mērvienība
Primārais resurss	Veids	Pašu saražotais/imports
	Krājuma kumulatīvā vērtība	Tūkstošs tonnas, kt
	Izmaksas	EUR/kt
	Ikgadējā produkcija	Tūkstošs tonnas, kt
	Limitējošie faktori	Augšējais/apakšējais
	Plūsma	Ievade/Izvade
Pārvēršana (esošās un jaunās tehnoloģijas)	Plūsma	Ievade/Izvade
	Efektivitāte	%
	Esošā uzstādītā jauda	Tūkstošs tonnas gadā, kta
	Utilizācija	%

1.5. tabulas turpinājums

	Investīcijas	EUR/кта
	Kalpošanas laiks	Gadi
	Fiksētās izmaksas (uzturēšana un ekspluatācija)	EUR/кт
	Pievienotā vērtība	EUR/кт
	Limitējošie faktori	Augšējā/apakšējā
Pieprasījums	Pieprasījuma vērtība	Tkt

TIMES-BVM struktūra paredz produkta pieprasījuma definīciju izvēlētajam simulācijas mērķa gadam, un tā tiek veikta, izmantojot prognozi, kas balstīta regresijas analīzē pēc literatūrā ieviestajām metodēm. Ieejas dati (1.5. tab.) gatavās produkcijas pieprasījumam ir fiksēti regresijas analīzē balstītā prognozē par gadiem līdz 2030. gadam. Regresijas analīze tiek veikta pirms modeļa palaišanas. Pieprasījums pēc gatavā produkta ir atkarīgs mainīgais regresijas analīzē.

Datu ievade par resursu importa, eksporta un vietējās ražošanas vērtībām ir balstīta statistikas tendenču ekstrapolācijā no 2015. līdz 2019. gadam ar regresijas analīzes palīdzību. Šo vērtību augšējā un apakšējā robeža ir ievadīta modelī $\pm 10\%$ diapazonā, izņemot gaļu, kuras diapazons ir $\pm 25\%$. Šie diapazoni ļauj veikt kompromisus starp citiem procesiem, lai apmierinātu pieprasījumu noteiktā tehnoloģiju un resursu ierobežoto jaudu komplektācijā. Izvēlētais robežas ļauj ražošanai pielāgoties pieprasījumam un izvairīties no modeļa nestabilitātes sliktas statistikas datu pieejamības un kvalitātes dēļ. Šis pieņēmums ļauj izvairīties no deficīta vai pārpalikuma, kas netiek ne patērēts, ne eksportēts.

Modeļa struktūrā iekļautās augstākās pievienotās vērtības produktu ražošanas jaunās tehnoloģijas ir šādas: uztura bagātinātāju ražošana no apstrādātām olu čaumalām; želatīna ražošana no gaļas pārstrādes blakusproduktiem; proteīna pulvera ražošana no piena pārstrādes blakusproduktiem; vilnas granulu ražošana no vilnas pārstrādes blakusproduktiem; medus produktu ražošana no medus blakusproduktiem.

Jauno tehnoloģiju pieejamības limits modelī noteikts līdz 2023. gadam, kas liecina par šo tehnoloģiju pašreizējo iespējamo ieviešanu. Ražošanas apjomus ierobežo esošo procesu blakusprodukti un atkritumi. Līdz ar to jaunu produktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošana ir atkarīga no pieprasījuma un arī no tradicionālās produkcijas vietējās ražošanas. Pieprasījums tika noteikts, pamatojoties uz vēsturiskiem vidējiem tirgus datiem par šiem segmentiem – kalcija karbonāts, želatīns un tā atvasinājumi (izņemot kazeīna līmes, kaulu līmes un stiklu), olbaltumvielu koncentrāti un aromatizēti vai krāsoti cukura sīrupi, presēta un aglomerēta granulas un briketes, koksnes un augu atkritumi un atgriezumi.

Citi faktori, kas ierobežoja blakusproduktu izmantošanu modelī, bija pieņēmumi par tehnoloģijām – procesa efektivitāte, resursu un produktu cenas un izmaksas, kā arī izejvielu un galaproduktu importa, eksporta un vietējās ražošanas augšējie un apakšējie ierobežojumi, kas ietekmē preču bilanci un tādējādi netieši ietekmē resursu pārstrādes nepieciešamību, kā rezultātā rodas dažādi blakusproduktu un līdz ar to arī jaunu produktu daudzumi.

Masas bilances validācija tiek izmantota kā būtisks elements *TIMES* modelī, lai garantētu atklājumu noturīgumu. Masas bilances aprēķins ir pārņemts no standarta *EN 16785-2* “Bio-

based products–Bio-based content–Part 2: Determination of the biobased content using the material balance method". Ja tiek konstatētas neatbilstības masas bilancē, tiek veikti papildu pētījumi, lai noteiktu precīzus modeļu pieņēmumu kļūdu cēloņus un iespējamus kļūdu avotus. Tās varētu būt drukas kļūdas datu ievadē, datu avotu nepietiekamība vai nereāli modelēšanas pieņēmumi. Kad atšķirības ir identificētas, var veikt nepieciešamos labojumus, lai garantētu precīzāku modeļa simulācijas rezultātu attēlojumu.

1.7. Sistēmdinamika

Stella Architect modelēšanas rīks tika izmantots, lai vienkāršotā matemātiskā veidā parādītu lauksaimniecības apakšnozari (piena lopkopību) simulācijas modelī. Šis rīks izvēlēts, jo tas ne tikai vizuāli parāda struktūru, bet arī ietver skaitļus, vienādojumus un dažādu ietekmju savstarpējo mijiedarbību. Tas ietver ekonomiskos, vides un tehnoloģiskos aspektus. Tika veikta literatūras analīze, kurā tika analizēti zinātniskie raksti un politikas dokumenti, vēlāk sasaistot praktiskās un teorētiskās zināšanas, veicot aprēķinus ar reāla uzņēmuma datiem, lai atrastu nozares aklos punktus un spētu izdarīt pēc iespējas reālistiskākus secinājumus.

Modeļa mērķis ir izveidot piena lopkopības saimniecības darbības modeli, kas atspoguļo investīciju ieviešanas nozīmi gan ekonomiskajā, gan vides kontekstā, kur iespējams novērot emisiju samazinājuma apjomu. Ievērojot vairākus savstarpēji saistītus ietekmējošos faktorus piena lopkopības saimniecības modelī, ir iespējams prognozēt investīciju ieviešanas nozīmi un emisiju izmaiņas. Lai identificētu galvenos virzītājus un vājās saites, bija nepieciešams modelēt investīciju ieviešanas nozīmi un emisiju izmaiņas. Kopumā modelis tika iedalīts četrās nozarēs: slaucamās govīs; investīcijas piena lopkopība; ekonomiskie faktori; emisijas. Katrs sektors tika modelēts tā, lai to varētu izmantot katram emisiju scenārijam. Nosakot modeļa pētījuma robežas, tika noteikts, ka radītās emisijas tiks aplūkotas divējādi un tiks mērītas ktCO₂ekv. gadā, kā arī radītās emisijas uz vienu produkcijas vienību tiks mērītas ktCO₂ekv. gada ražošanas apjomā. Tālāk tika noteikts, ka emisiju izmaiņas modelī tiks noteiktas trīs scenārijos:

- 1) piensaimnieks neiegulda līdzekļus nevienā no piena lopkopības saimniecības darbības uzlabošanas pasākumiem;
- 2) piensaimnieks investē tikai kūtsmēslu apsaimniekošanas uzlabošanā;
- 3) piensaimnieks iegulda līdzekļus visos saimniecības uzlabošanas pasākumos, t. sk. termoregulācijā un kūtsmēslu apsaimniekošanā.

Lai modeļa datus varētu salīdzināt ar reālo dzīves situāciju un izdarīt secinājumus, tika izvēlēts modeļa simulācijas laiks no 2012. līdz 2022. gadam.

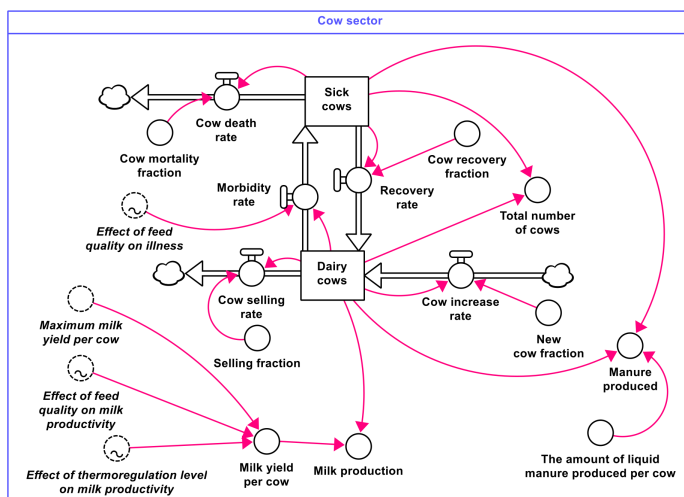
Slaucamās govīs ir svarīgākais elements piensaimniecības fermā, jo iegūtais svaigpiens ir galvenais produkts, kas uzņēmumam nes peļņu. Slaucamās govīs galvenokārt ir vismaz divus gadus vecas un sasniegušas savu pirmo laktāciju. Govju sektors modelī sastāv no diviem galvenajiem krājumiem: slaucamās govīs un slimās govīs (1.2. att.). Slaucamo govju krājumam ir gan izejošā, gan ienākošā plūsma. Lai palielinātu govju skaitu, saimnieks iegādājas jaunas slaucamās govīs vai audzē teles. Ja govīs piena ražošana samazinās, govīs tiek pārdotas. Slimās govīs ārstē, bet, kad ārstēšana ir nesekmīga un prasa lielus resursus, kas ietekmētu ne tikai

izmaksas, bet arī ražu, tās parasti tiek nosūtītas uz kautuvi vai iet bojā dabiski. Mājlopu veselību īpaši ietekmē kvalitatīvas barības pieejamība, dzīves apstākļi un termoregulācija.

Slaucamo govju krājuma ienākošā plūsma noteikta, ņemot vērā maksimālo govju guļvietu skaitu kūtī. Bet krājumu “pārdošanas” aizplūšanu nosaka, pārdošanas koeficientu reizinot ar slaucamo govju skaitu.

Līdzīgs princips attiecas uz slimo govju izārstēšanas un mirstības plūsmu, bet slimo govju pieplūdumu ietekmē barības kvalitātes līmenis. Barības kvalitātes ietekme uz saslimstību tiek iegūta no nelineāras attiecības, kurā kā arguments tiek izmantots barības kvalitātes novērtējums. Ietekme uz saslimstību svārstās no 0 līdz 1.

Govis ražo arī kūtsmēslus no savas gremošanas sistēmas. Kūtsmēslus var iedalīt šķidros un pakaišos (cietos). Pakaišu kūtsmēsli ir govju ekskrementi ar/bez pakaišiem un lopbarības paliekām, šķidrie mēsli – ar urīna un/vai ūdens piejaukumu. Kopējais saražoto kūtsmēsļu daudzums tika aprēķināts kā tonnas/gadā.

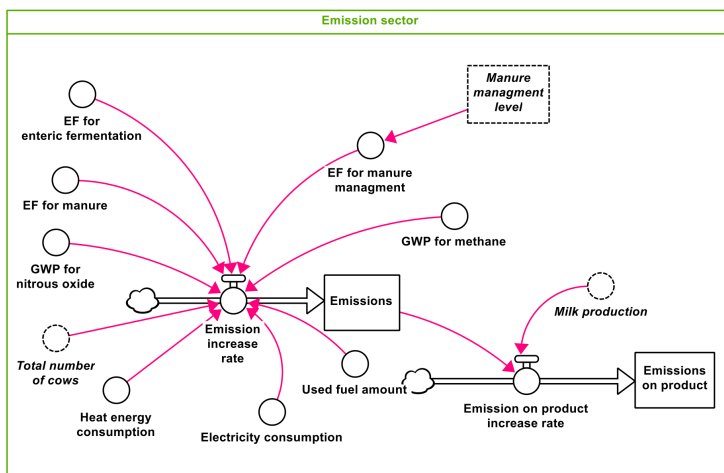


1.2. att. Govju modeļa daļas struktūra.

Saražotā un realizētā piena daudzums tonnās ir atkarīgs no govju skaita un vienas govju vidējās ražas. Kopumā izslaukumu no govju ietekmē vairāki parametri, tostarp termoregulācijas līmeņa un barības kvalitātes ietekme uz izslaukumu. Gan barības kvalitātes, gan termoregulācijas ietekmi uz izslaukumu raksturo nelineāra sakarība, kas svārstās robežās no aptuveni 0 līdz 1, kurā kā arguments tiek izmantots barības kvalitātes vērtējums jeb termoregulācijas līmenis. Modelī vidējais izslaukums 2012. gada sākumā ņemts no apskatītās piena lopkopības saimniecības datiem, lai pēc tam varētu salīdzināt, kā investīcijas termoregulācijas un barības kvalitātes uzlabošanas tehnoloģijās palielina izslaukumu.

Emisijas sektors modelī atspoguļo uzņēmuma emisijas, kā arī emisijas uz produkcijas vienību. Ir nepieciešams aprēķināt emisijas, lai varētu novērtēt virzību uz klimatneitralitāti. Piena lopkopībā galvenās SEG emisijas rodas no fermentācijas zarnās un kūtsmēsļu apsaimniekošanas. Lai gan dokumentācijā degvielas patēriņa, elektroenerģijas un siltuma

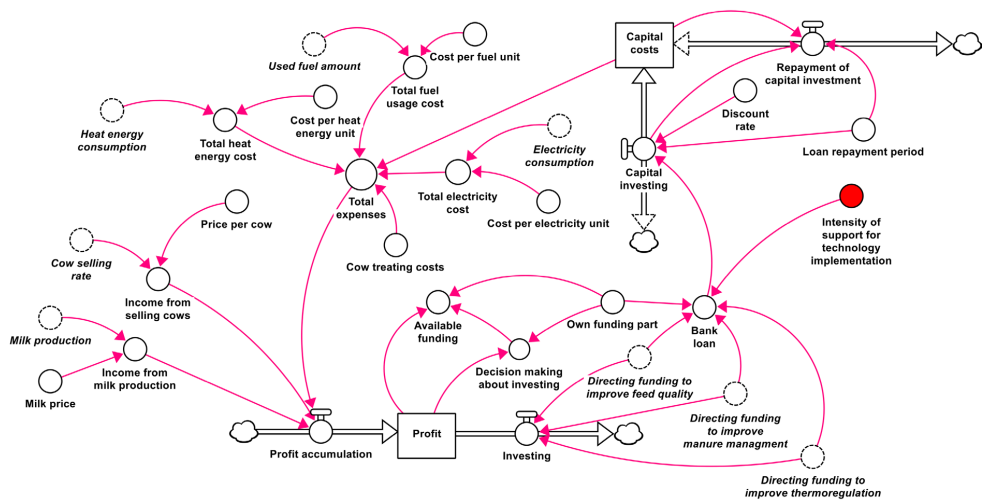
ražošanas emisiju aprēķins ir zemāks par enerģētikas un transporta sektoru, ir svarīgi to iekļaut. Modelī emisiju sektoram ir divi galvenie krājumi un divas galvenās plūsmas (1.3. att.).



1.3. att. Emisiju modeļa daļas struktūra.

Aprēķinātas metāna emisijas zarnās fermentācijas procesos, SEG emisijas, kas rodas patērētās elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanā, kā arī SEG emisijas, kas rodas degvielas patēriņa dēļ. Aprēķinātas arī kūtsmēsli emisijas, tomēr, aprēķinot kūtsmēslus, jāņem vērā vairāki parametri. Organiskās vielas un ūdens veido lielāko daļu kūtsmēsli sastāva. Kūtsmēsli izdala gan metānu, gan slāpekļa oksīdu. Cik daudz metāna izdalās no kūtsmēsliem, ir atkarīgs no to skābekļa, ūdens satura, pH līmeņa un barības sagremojamības. Slāpekļa oksīda daudzums ir atkarīgs no klimata, pH un kūtsmēsli apsaimniekošanas. Lai varētu veikt vienotu emisiju uzskaiti, nepieciešams pāriet uz CO₂ekv. Kopumā aprēķinām tika ņemti gan piensaimniecības fermas dati, gan iepriekš noteiktas konstantes.

Svarīgi izpētīt ekonomisko sadaļu, jo tā ir viens no investīciju un uzkrājumu noteicošajiem faktoriem, kas zemniekam nodrošina drošības tīklu un drošības sajūtu, ka uzņēmumam pēc riska jaunās investīcijās būs lielākas iespējas izkļūt no finansiālajām grūtībām. Piena lopkopībā lielākos izdevumus veido elektroenerģijas patēriņa maksa, slaucamo govju ārstēšanas izmaksas un kapitāla izmaksas, savukārt ienākumus veido piena ražošana un realizācija, kur tos ietekmē realizētais piena apjoms, kas ir atkarīgs no piena iegūtās ražas. Govs un piena cenas nosaka kooperatīvs, papildu ienākumi nāk arī no izbrāķēto govju pārdošanas, kur cena par vienu govī ir atkarīga no tirgus. Ienākumi ir tieši tas faktors, kas veicina peļņas uzkrāšanu, jo pat tad, ja izdevumi ir ļoti lieli, ja ir lieli ienākumi, arī uzkrātā peļņa būs normas robežās. Atgriezeniskā saite tiek veidota arī no uzkrātās peļņas apjoma, jo investīciju lēmumi tiek pieņemti no uzkrātās peļņas un pašu pieejamā finansējuma apjoma. Ja tiek pieņemts lēmums veikt ieguldījumus, tad nesadalītās peļņas samazinājumu nosaka finansējuma novirzīšana investīcijām un pašu finansētā daļa (1.4. att.).

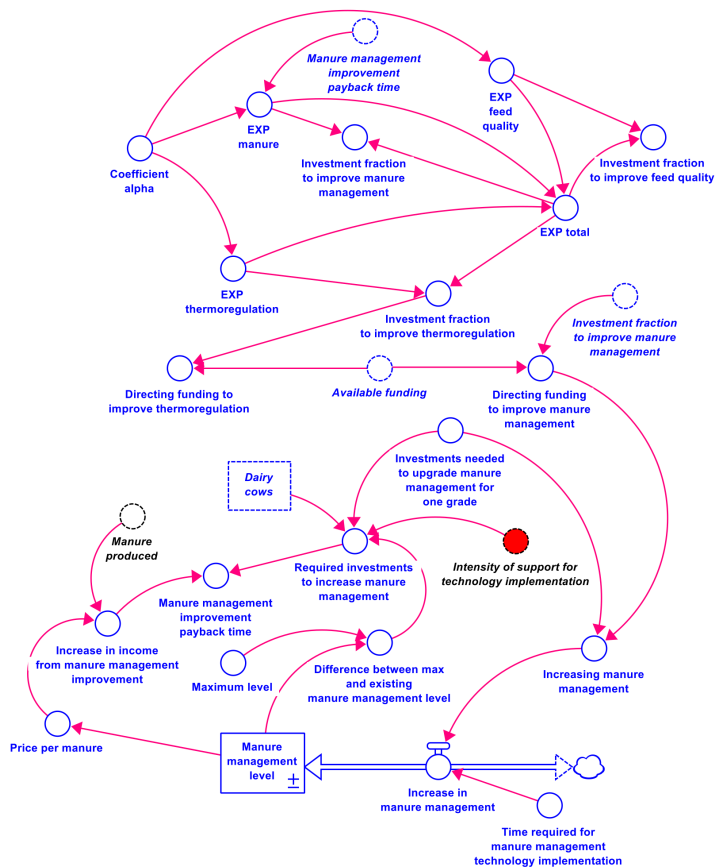


1.4. att. Ekonomiskā modeļa daļas struktūra.

Kapitālizmaksu sektoru veido viena galvenā frakcija – kapitāla izmaksas, kuru pieaugumu nosaka kapitālieguldījumu veikšana, ko ietekmē diskonta likme, bankas aizdevums un kredīta atmaksas termiņš, savukārt krājuma samazinājumu ietekmē atmaksas termiņš, kapitāla ieguldītājs un pašas kapitāla izmaksas. Piena uzņēmumam bankā nepieciešams ņemt kredītu, lai segtu saimniecības labiekārtošanas izmaksas, ko nekompensē valsts piedāvātais atbalsts.

Slaucamo govju kūtsmēsļu apsaimniekošanai ir iespējams izmantot dažādas apsaimniekošanas metodes. Katrs kūtsmēsļu apsaimniekošanas veids modelī ir novērtēts punktos, kur tie nosaka apsaimniekošanas līmeni saimniecībā.

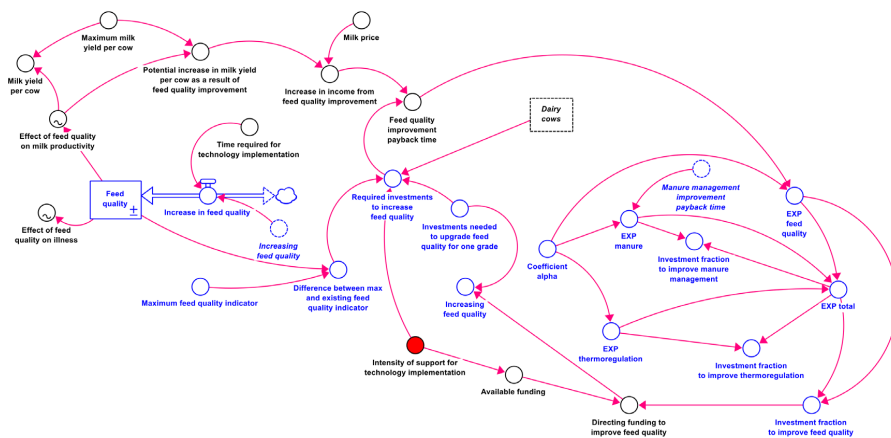
Modelī tiek ņemts vērā laiks, kas nepieciešams uzlabojumu ieviešanai vadības līmenī (1.5. att.). Līmeņa uzlabošanas ietekmē arī attiecība starp uzlabošanai novirzīto finansējumu un investīcijām, kas nepieciešamas kūtsmēsļu apsaimniekošanas uzlabošanai par vienu punktu. Nepieciešamās investīcijas uzlabošanai uz vienu govi nosaka nepieciešamās investīcijas kvalitātes rādītāja paaugstināšanai par vienu punktu, starpība starp maksimālo un apsaimniekošanas līmeni saimniecībā, kā arī pieejamie atbalsta pasākumi. Lai noteiktu, vai ir vērts ieguldīt kūtsmēsļu apsaimniekošanas uzlabošanā, uzlabošanas pasākumu īstenošanas laiku nosaka tas, vai kūtsmēsļu apsaimniekošanas uzlabošana veicina ienākumu pieaugumu. Ja kūtsmēsli tiek izmantoti biogāzes ražošanai, piensaimniekam ir iespēja saņemt samaksu par biogāzes stacijai pārdotajiem kūtsmēsļiem, ja vien lauksaimnieks pats nav ieguldījis biogāzes stacijā.



1.5. att. Investīcijas kūtsmēsļu apsaimniekošanā modeļa daļas struktūra.

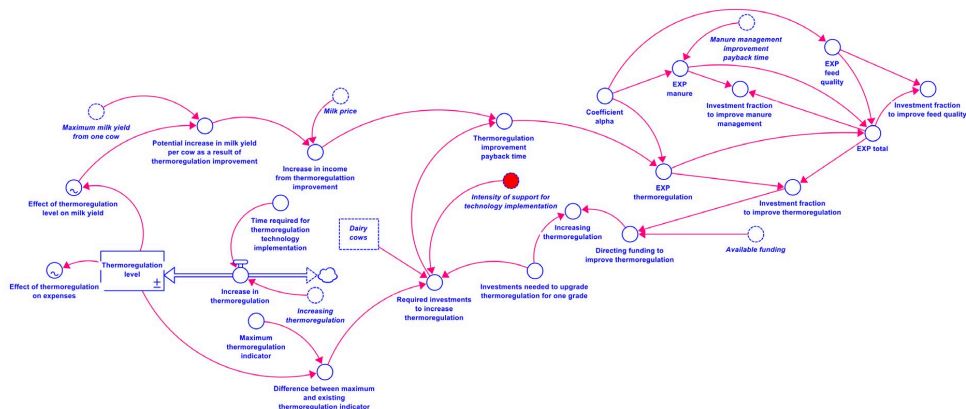
Barības kvalitāte ir iekļauta, jo tā ietekmē izslaukumu, govju veselību, radītās emisijas un saimniecības peļņu (1.6. att.). Svarīgākais rādītājs, pēc kura tiek noteikta barības kvalitāte, ir barības sagremojamība (%). Modelī barības kvalitāte tiek mērīta skalā no 1 līdz 10, kur 1 ir sliktākais barības kvalitātes rādītājs, 10 – labākais. Tomēr, lai sasniegtu augstu barības kvalitāti, ir nepieciešams investēt tehnoloģijās, lai sasniegtu izvirzīto mērķi. Barības kvalitātes ietekme uz izslaukumu svārstās no aptuveni 0,1 līdz 1, un to atvasina no nelineāras attiecības, kā argumentu izmantojot barības kvalitātes rādītāju. Modelis arī pārbauda, kā ienākumi varētu palielināties, palielinoties barības kvalitātei, lai noteiktu atmaksāšanās periodu. Barības kvalitātes pieaugumu ietekmē laiks, kas nepieciešams jaunas tehnoloģijas ieviešanai, kā arī attiecība starp kvalitātes uzlabošanai novirzīto finansējumu un investīcijām, kas nepieciešamas kvalitātes uzlabošanai par vienu punktu. Uzlabošanai nepieciešamo ieguldījumu uz vienu govi nosaka nepieciešamās investīcijas kvalitātes rādītāja paaugstināšanai par vienu punktu, starpība starp maksimālo un esošo barības kvalitātes līmeni saimniecībā, kā arī pieejamie atbalsta pasākumi.

Būtiski ir veikt termoregulācijas uzlabojumus, lai uzlabotu liellopu labklājību, kas būtiski ietekmētu arī izslaukumu un samazinātu saslimšanu skaitu. Modelī termoregulācijas līmenis tiek novērtēts skalā no 1 līdz 10, kur 1 ir sliktākā termoregulācija, 10 – labākā. Termoregulācijas līmeņa ietekme uz ražu svārstās no 0,1 līdz 1, un to atvasina no nelineāras attiecības, kā argumentu izmantojot termoregulācijas līmeņa rādītāju. Modelis arī pēta, kā ienākumi varētu palielināties, ja tiek paaugstināts termoregulācijas līmenis, lai noteiktu atmaksāšanās periodu (1.6. att.).



1.6. att. Investīcijas barības uzlabošanā modeļa daļas struktūra.

Termoregulācijas kvalitātes pieaugumu ietekmē arī laiks, kas nepieciešams jaunas tehnoloģijas ieviešanai, kā arī attiecība starp termoregulācijas uzlabošanai novirzīto finansējumu un investīcijām, lai uzlabotu to par vienu punktu. Uzlabošanai nepieciešamos ieguldījumus uz vienu govi nosaka nepieciešamās investīcijas termoregulācijas uzlabošanai par vienu punktu, starpība starp maksimālo un esošo līmeni saimniecībā, kā arī pieejamie atbalsta pasākumi.



1.7. att. Investīcijas termoregulācijā modeļa daļas struktūra.

2. REZULTĀTI

2.1. Oglekļa bilances rezultāti, lai novērtētu ilgtspējīgu biogāzes ražošanu

Lai objektīvi noteiktu kopējo siltumnīcefekta gāzu emisiju daudzumu degvielas izmantošanas dēļ, nepieciešams tās pārvērst mērvienībā – CO₂ ekvivalentos. Ņemot vērā to, ka globālās sasilšanas potenciāls (*GWP*) 1 tonnai CH₄ ir vienāds ar 25 tonnām CO₂ un 1 tona N₂O vienāda ar 298 t CO₂, šīs vērtības tiek izmantotas, lai aprēķinātu kopējo SEG emisiju daudzumu.

Apkopojot rezultātus, 2017. gadā radās 3,53 ktCO₂ekv./gadā SEG emisijas kukurūzas audzēšanas dēļ. Zinot, ka 2017. gadā tika apsaimniekoti 5382 ha biogāzes kukurūzas audzēšanai, tika iegūts rezultāts, kas liecina, ka biogāzes kukurūzas lauku apsaimniekošanā ar lauksaimniecības tehniku, kas izmanto dīzeļdegvielu, gadā rodas 0,66 tCO₂ekv./ha SEG emisijas. Rezultātā lielākās emisijas uz ha rodas, izmantojot degvielu visu nepieciešamo darbību veikšanai (2.1. tab.). Emisijas no augsnes apstrādes ar slāpekļa mēslojumu un augu atlieku iestrādes augsnē pēc ražas novākšanas ir samērā līdzīgas, veidojot 0,468 tCO₂ekv./ha un 0,443 tCO₂ekv./ha. Kopējās indikatīvās emisijas no speciāli audzētas kukurūzas biogāzes ražošanai rada 1,567 tCO₂ekv./ha.

2.1. tabula

Kopējās indikatīvās emisijas no speciāli audzētas kukurūzas biogāzes ražošanai uz ha

Degvielas emisijas, tCO ₂ ekv./ha	Augu atlieku emisijas, tCO ₂ ekv./ha	N mēslojuma emisijas, tCO ₂ ekv./ha	Kopā, tCO ₂ ekv./ha
0,656	0,443	0,468	1,567

Biogāzes ražošanas procesā rodas ļoti vērtīgs blakusprodukts – digestāts. Tas satur ievērojamu daudzumu barības vielu, kas ir piemērotas augsnes bagātināšanai. Biogāzes ražošanā, izmantojot tikai kukurūzu, digestāta sausā masa ir aptuveni 58,22 %. Lauku šķelšana ar digestātu var netieši samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas, piemēram, digestāts no 1 ha kukurūzas zaļās vielas ar ražu 30 t/ha pilnībā nodrošina nepieciešamo kālija mēslojuma daudzumu un ietaupa 31 % fosfora un 44–45 % slāpekļa mēslojuma.

Attiecīgi, izmantojot kukurūzas ražu 31,8 t/ha, iespējams nodrošināt mēslojumu 1,06 ha kukurūzai. Kopumā 2017. gadā Latvijā izaudzēti 25 700 ha kukurūzas, tāpēc aktuāla ir digestāta izmantošana. Arī šī pētījuma gaitā veiktās intervijas ar zemniekiem atklāja, ka diemžēl digestāts lauku mēslošanai ir deficīta produkts, kas ir viens no iemesliem, kāpēc tiek izmantoti papildu minerālmēsli.

2017. gadā, izmantojot digestāta mēslojumu augsnes apstrādē, tika ietaupītas 1,19 ktCO₂ekv. emisijas, savukārt indikatīvās emisijas uzrāda samazinājumu par 0,22 tCO₂ekv./ha (2.2. tab.).

2.2. tabula

SEG emisiju samazinājums digestāta mēslojuma izmantošanas dēļ

Ražas platība, ha	Mēslošanas platība, ha	Nepieciešamā slāpekļa mēslojuma emisijas, ktCO ₂ ekv.	Potenciālie slāpekļa ietaupījumi, %	2017. gadā ietaupītās slāpekļa emisijas kukurūzas digestāta dēļ, ktCO ₂ ekv.	2017. gadā ietaupītās slāpekļa emisijas kukurūzas digestāta dēļ, tCO ₂ ekv./ha
5382,00	5704,92	0,0004683	-44,50	-1,19	-0,22

Lai gan digestāta izmantošana lauka mēslošanā samazina emisijas, salīdzinot ar minerālmēslojumu, augsnes mēslošana ar digestātu arī rada SEG emisijas, kas jāņem vērā bilances aprēķinā. Analīžu rezultāti, kas iegūti no saimniecības, kas ražo biogāzi no kukurūzas, liecina, ka N saturs digestāta mēslojumā ir 3,8 kg/t. Pieņemot, ka kukurūzas raža 2017. gadā ir 171 147,6 t un digestāta daudzums no bioreaktorā padotās masas daudzuma parasti svārstās no 90 % līdz 95 %, 2017. gadā tika iegūtas 158 311,53 t kukurūzas digestāta, tāpēc, zinot N saturu digestāta 1 tonnā, iegūts, ka kopējais N uz 5382 ha visas kukurūzas platības bija 0,60 kt. Pamatojoties uz 2006. gada IPCC vadlīniju 1. līmeņa metodoloģiju, noteikts, ka digestāta mēslojums 2017. gadā radīja 2,82 ktCO₂ekv. emisijas, kas liecina par indikatīvajām emisijām – 0,0005 tCO₂ekv./ha.

Zināms, ka tikai no kukurūzas skābbarības ražotās biogāzes metāna saturs ir 52 % un biogāzes iznākums no kukurūzas tonnas ir 202 kubikmetri, kas ļauj aprēķināt kopējo no Latvijā novāktās kukurūzas saražotās biogāzes apjomu, kas ir 34 571 815,2 m³ no 171 147,6 t kukurūzas.

Pie 1 % biogāzes noplūdes tās ražošanas procesā 2017. gadā atmosfērā tika izlaistas 2,63 tCO₂ekv./gadā jeb 0,4963 tCO₂ekv./ha SEG emisijas.

Veicot aprēķinus no iegūtajiem datiem, kas apkopoti 2.3. tabulā, tas uzrāda samazinājumu par 11,92 tCO₂ekv./ha gadā, izmantojot Latvijas apstākļos īpaši audzētu kukurūzu biogāzes ražošanai.

2.3. tabula

Indikatīvās CO₂ekv. emisijas 2017. gadā no biogāzes ražošanas zudumiem pēc zinātniskā raksta principiem

Kukurūzas ražošanā radītās emisijas, tCO ₂ ekv./ha gadā	CO ₂ ko uzņēmusi kukurūza, tCO ₂ ekv./ha gadā	Emisiju zudumi biogāzes ražošanā (1 %), tCO ₂ ekv./ha gadā	Ietaupītās emisijas digestāta dēļ, tCO ₂ ekv./ha gadā	Digestāta emisijas, tCO ₂ ekv./ha gadā	Rezultāts, tCO ₂ ekv./ha gadā
1,61	14,32	0,49	-0,22	0,52	-11,92

2.2. iSVID analīzes rezultāti, lai novērtētu biogāzes nākotni Latvijā

Pamatojoties uz literatūras izpēti, attiecīgi tika izveidota iSVID (ilgtspējības stipro, vājo, iespēju un draudu) analīzes tabula (2.4. tab.), kurā tika definētas stiprās, vājās puses, iespējas un draudi ilgtspējības kontekstā, uzsverot neseno Latvijas biogāzes nozares novērtējumu.

2.4. tabula

Apkopotie aspekti iSVID analīzei

Stiprās puses	Vājās puses
<ul style="list-style-type: none"> - Uzkrāta liela pieredze un zināšanas darbā ar biogāzi; - attīstīta biogāzes nozare, jau veiktas lielas investīcijas esošajās iekārtās; - plaša un augsti attīstīta lauksaimniecības nozare. 	<ul style="list-style-type: none"> - Biogāzes potenciāls nav pilnībā izmantots; - negatīvs sabiedrības viedoklis un priekšstats par biogāzi saistībā ar iepriekšējo pieredzi ar obligātā iepirkuma komponenti; - nepieciešamas lielas investīcijas biometāna apstrādes un kompresijas iekārtās; - nevienmērīgs staciju sadalījums Latvijas reģionos; - nepieciešams katras biogāzes stacijas ietekmes un ilgtspējības novērtējums.
Iespējas	Draudi
<ul style="list-style-type: none"> - Samazināt emisijas no enerģētikas sektora, tostarp transporta sektora; - samazināt lauksaimniecības nozares emisijas un piesārņojumu; - iespēja pilnībā izmantot blakusproduktus, no kuriem nav iespēju ražot citu augstākas pievienotās vērtības produkciju; - iespēja Latvijai izpildīt klimata mērķus; - veicināt reģionu un uzņēmumu iesaisti un ieinteresētību sadarboties vienotas, efektīvas sistēmas izveidē. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nākotnē arvien vairāk attīstīsies bioekonomika, pārņemot daļu blakusproduktu krājuma; - ja tiktu samazināts finansiālais atbalsts biogāzes ražošanas sektoram; - strikti biogāzes ražošanas kritēriju stiprināšana; - cilvēciskais faktors darbības kontroles mehānismos.

Apkopotie aspekti liecina, ka nozare jau šobrīd saskaras ar dažādām grūtībām un nākotnes draudiem gaidāmo pārmaiņu dēļ, taču tai ir ne mazāk stipro pušu un iespēju. Raugoties uz stiprajām pusēm, ir skaidrs, ka biogāzes ražošana Latvijai ir īpaši piemērota tās attīstītās lauksaimniecības dēļ. Arī biogāzes nozare Latvijā ir attīstīta, tajā jau ir veiktas gan lielas uzņēmumu – ražotāju investīcijas, gan valsts iedzīvotāju investīcijas, par augstāku cenu iegādājoties no biogāzes koģenerācijas stacijās ražoto atjaunojamo enerģiju. Tas liecina par jau iegūtajām plašajām zināšanām un pieredzi. Taču tajā pašā laikā nozare ir ieguvusi sliktu reputāciju un attieksmi iedzīvotāju vidū nesakārtotās obligātā iepirkuma komponentes nosacījumu dēļ, izraisot lielu pretestību un aizdomas enerģijas patērētājos, kuri vairs nevēlas nozari finansiāli atbalstīt. Un, ņemot vērā to, ka biogāzes potenciāls nav pilnībā izmantots, pārejai no koģenerācijas uz biometāna ražošanu atkal būs nepieciešami ievērojami ieguldījumi. Latvijā ir daudzas, bet salīdzinoši mazas elektrostacijas, kas ir nevienmērīgi izvietotas visā valstī, tāpēc paliek jautājums, vai attīrīšanas un kompresijas iekārtas plānots būvēt atsevišķi katrai mazajai biogāzes stacijai. Pagaidām gan nav skaidrs, kā to izdarīt efektīvāk, jo nav veikts

ietekmes un ilgtspējas novērtējums katrai biogāzes stacijai, lai saprastu, cik piemēroti būtu stacijām veicināt pārmaiņas.

Ja pārejai uz biometānu būs nepieciešamas jaunas zināšanas par staciju darbību, viens no riskiem ir iespējamās cilvēciskā faktora pieļautās kļūdas, kas aizkavētu pareizu ražošanu un resursu pārvaldību. Tāpat jāpatur prātā, ka nākotnē, visticamāk, strauji attīstīsies bioekonomika, kas, iespējams, varētu pārņemt kādu no izejvielām, no kurām ražotu augstākas pievienotās vērtības produktus. Taču, ņemot vērā to, ka ir pieņemti tiesību akti, lai stiprinātu biogāzes ražošanas kritērijus, vienlaikus samazinot finansiālo atbalstu koģenerācijas stacijās no biogāzes ražotajai elektroenerģijai, pāreja uz biometāna ražošanu, šķiet, ir iespēja glābt biogāzes nozares dzīvotspēju Latvijā un palīdzēt nodrošināt atbilstību klimata prasībām, samazināt emisijas enerģētikas, transporta un lauksaimniecības nozarē un piesārņojumu, pilnībā izmantojot blakusproduktus. Lai gan nepamatota un tuvredzīga pārvaldība varētu būt nākamais drauds nozarei, pārdomāta pārvaldība vienlaikus varētu veicināt reģionu un uzņēmumu iesaistīšanos un ieinteresētību sadarboties, lai izveidotu saskaņotu ietvaru labi izstrādātai ilgtspējīgu investīciju stratēģijai, finansiālu autonomiju un neatkarību.

iSVID analīzē iegūtos rezultātus var izmantot ne tikai uzņēmuma, bet arī valsts mērogā, lai veiktu literatūras analīzes teorētisku apkopojumu par aktuālo jautājumu ilgtspējības kontekstā, taču rezultāti var mainīties atkarībā no izmaiņām valstī un pasaulē kopumā.

2.3. Daudzkritēriju analīžu rezultāti

2.3.1. Piemērotāko bioresursu ranžēšana ilgtspējīgai biogāzes ražošanai

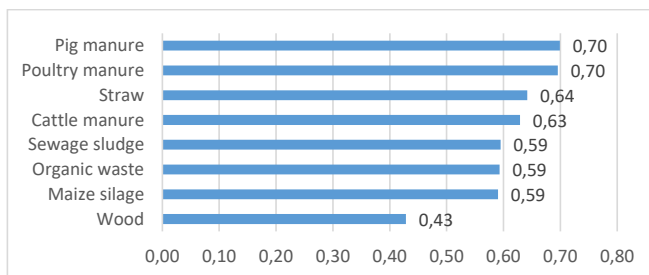
Pēc *TOPSIS* metodoloģijas aprēķinu veikšanas tika iegūts vērtējums, no kura pēc pieņemtajiem trīs kritērijiem (vides, tehniskais, ekonomiskais) var secināt, kurš apskatītais substrāts ir ierindots no biogāzes ražošanai piemērotākā substrāta Latvijā. Substrāti ierindoti no labākā (1. vietā) līdz sliktākajam (8. vietā) un apkopoti 2.5. tabulā.

2.5. tabula

Izejvielu rangs, kas noteikts ar *TOPSIS* metodi

	Vieta rangā
Cūku kūtsmēsli	1.
Vistu kūtsmēsli	2.
Salmi	3.
Liellopu kūtsmēsli	4.
Notekūdeņu dūņas	5.
Organiskie atkritumi	6.
Kukurūza	7.
Koksne	8.

Pirmās divās vietās pēc kritērijiem ierindojās cūku un putnu kūtsmēsli, trešajā vietā – salmi ar priekšapstrādi. Pēdējās trīs vietās ir organiskie atkritumi, kukurūza un koksne, kas reitingā pārliecinoši ieņēma pēdējo vietu (2.1. att.).



2.1. att. Relatīvais tuvums ideālajam risinājumam ar *TOPSIS* metodi biogāzes ražošanas izejvielu izvēlei.

2.3.2. Ilgtspējīga biogāzes izmantošana enerģētikas sektorā

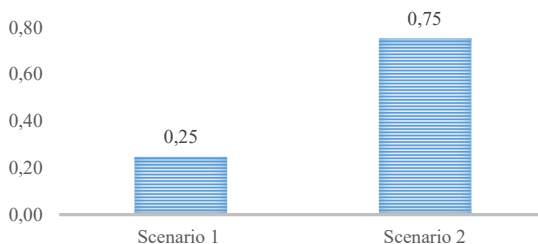
Pētījuma gaitā, ņemot vērā Latvijas apstākļus, par ilgtspējīgiem biogāzes izmantošanai enerģētikā tika atzīti divi scenāriji (2.6. tab.).

2.6. tabula

Biogāzes lietošanas scenāriju noteikšana

Apzīmējums	Biogāzes lietojums
1. scenārijs	Sadedzināšana koģenerācijas stacijā, kad saražoto elektroenerģiju tālāk izmanto transporta sektorā.
2. scenārijs	Biometāna ražošana, kad tas tiek izmantots transporta sektorā kā “degviela”.

Rezultāti, kas iegūti, izvērtējot scenārijus, izmantojot *TOPSIS*, parādīja, ka biogāzes modernizācija un biometāna kā transporta degvielas izmantošana ir optimālākais risinājums Latvijas gadījumam ar visaugstāko relatīvo tuvumu ideālajam risinājumam. Daudzkritēriju analīzes rezultāti parādīti 2.2. attēlā.



2.2. att. Relatīvais tuvums ideālajam risinājumam ar *TOPSIS* metodi biogāzes lietojumam.

Rezultāti liecina, ka biogāzes pārveidei par biometānu un tās turpmākai izmantošanai transporta sektorā kā transporta degvielai ir trīs reizes augstāks piemērotības novērtējums nekā biogāzes sadedzināšanai koģenerācijas iekārtās, lai saražoto enerģiju izmantotu transporta sektorā kā transporta “degvielu” elektriskajiem transportlīdzekļiem.

2.3.3. Piemērotākās oglekļa saistīgas lauksaimniecības metodes

Literatūras analīzē tika izvēlētas septiņas iespējamās oglekļa saistīgas lauksaimniecības metodes, kas būtu piemērojamas Latvijas apstākļiem un būtu saskaņā ar Latvijas Nacionālo enerģētikas un klimata plānu. Izvēle tika veikta, pamatojoties uz Eiropas Komisijas ziņojumu par ilgtspējīgiem oglekļa cikliem un Latvijas Kopējās lauksaimniecības politikas (KLP) stratēģisko plānu. Šīs metodes var izmantot arī citās valstīs ar atšķirīgu lauksaimniecības attīstības līmeni.

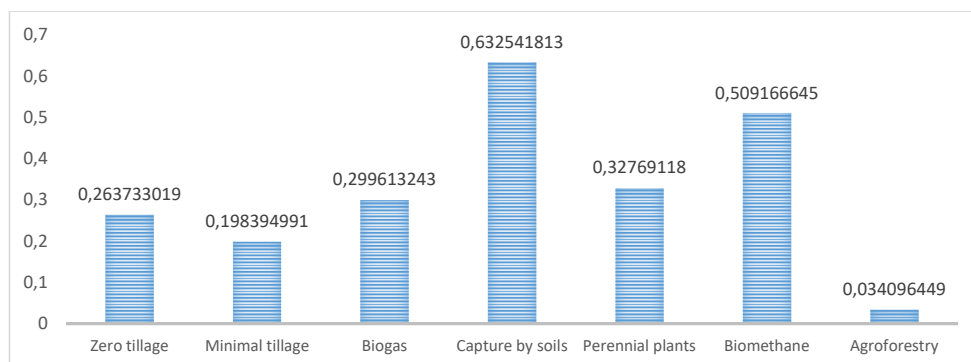
Šajā rakstā kā viens no risinājumiem tika minēta nulles un minimālā augsnes apstrāde, jo tā galvenokārt darbotos kā emisiju samazināšanas metode, jo būtiski samazināts dīzeļdegvielas patēriņš un minerālmēsli. Tika apsvērta oglekļa piesaiste ar augsnēm un daudzgadīgo augu audzēšanu, lai ne tikai uztvertu oglekli, bet arī to uzglabātu. Savukārt biogāzes ražošana jau pastāv, kas ir efektīva metode lauksaimniecības atlikumu resursu emisiju novēršanai un vērtīga un droša mēslošanas līdzekļa ražošanai. Tomēr biogāzes pārveide biometānā ir būtiska, lai palielinātu pievienoto vērtību un novērstu arī citu nozaru (piemēram, transporta) emisijas, kā tas tika atklāts iepriekšējos pētījumos par piemērotām biogāzes lietošanas iespējām. Agromežsaimniecība ir piemērota mazāka mēroga saimniecībām, lai palielinātu oglekļa piesaisti un uzglabāšanu gan augsnēs, gan kokos, samazinātu resursu patēriņu un līdz ar to arī emisijas, kā arī palielinātu ienākumus, tomēr tai ir jāatbilst biorafinēšanas pamatprincipiem un jākoncentrējas uz saimnieciskās darbības resursu efektīvu izmantošanu, lai sasniegtu vides, ekonomiskos un sociālos mērķus. Šīs metodes teorētiski atbilst ilgtspējīgas lauksaimniecības metodēm, kuras, iespējams, varētu ieviest ar finansējumu oglekļa saistīgai lauksaimniecībai, lai nodrošinātu ne tikai ekoloģiski ilgtspējīgu saimniekošanu nākotnē, bet arī ekonomisko attīstību, samazinātas izmaksas un maksimāli palielinātu vietējās lauksaimniecības nozares konkurētspēju.

Latvijā piemērotāko oglekļa saistīgas lauksaimniecības metožu rangs apkopots 2.7. tabulā.

Oglekļa saistīgas lauksaimniecības metožu potenciāla vērtējums

Rangs	Oglekļa saistīgas lauksaimniecības metode
1.	Uztveršana augsnē
2.	Biometāns
3.	Ilggadīgie augi
4.	Biogāze
5.	Nulles augsnes apstrāde
6.	Minimālā augsnes apstrāde
7.	Agromežsaimniecība

TOPSIS analīzes rezultāti apstiprina, ka pēc pašreizējās platības, budžeta un vides efektivitātes lielākais potenciāls ir tādām oglekļkopības metodēm kā uztveršana ar augsni un biometāna ražošana, bet Latvijas apstākļos nepiemērotākais risinājums būtu agromežsaimniecības attīstība (2.3. att.). Minimālā augsnes apstrāde un nulles augsnes apstrāde kā oglekļa lauksaimniecības risinājumi arī uzrāda ne pārāk augstus rezultātus.



2.3. att. Relatīvais tuvums ideālajam oglekļa saistīgas lauksaimniecības metožu risinājumam ar *TOPSIS* metodi.

2.4. Energo pārvaldības loma lauksaimniecībā

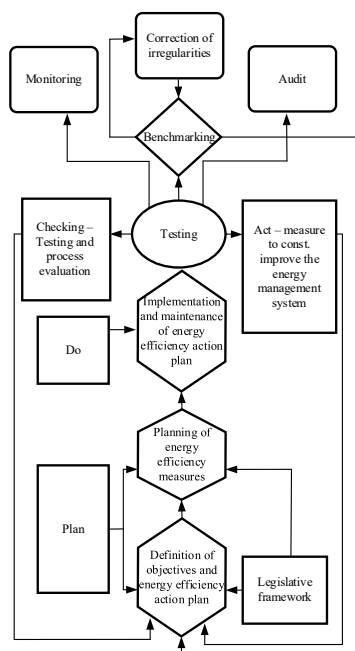
Ievērojama daļa SEG emisiju Latvijā rodas no lauksaimniecības augsnēm un liellopu zarnu fermentācijas, tāpēc promocijas darbā tiek piedāvāti SEG samazināšanas pasākumi tieši šajās jomās. Kā liecina literatūras analīze, ievērojamu emisiju daudzumu rada augsnes apstrāde. Saražoto SEG emisiju sadalījums abās jomās ir šāds:

- lauksaimniecības zeme – precīzas mēslošanas sistēmas ieviešana – plāna izstrāde un nepieciešamās tehnikas iegāde – augsnes analīzes veikšana; praktisku paņēmieni un tehnoloģiju izmantošana – kombinētās lauka apstrādes mašīnas, nulles vai minimālās augsnes apstrādes tehnikas realizācija; meliorācija vai labiekārtošana; tranšejas ap apstrādāto zemi, lai izvairītos no ūdens piesārņošanas ar mēslojumu;

- zarnu fermentācija – barības vielu devu pārvaldība (izstrādāts un ieviests plāns); uzturvielu piedevu izmantošana, lai uzlabotu gremošanu; tādu liellopu iegāde, kuri vielmaiņas procesos ražo mazāk metāna (CH₄).

Jāatzīmē, ka emisiju uzskaitē lauksaimniecības sektora emisijās nav iekļautas transporta izmantošanas un uzturēšanas radītās emisijas. Latvijas lauksaimniecības sektora emisijās degviela rada 11 % no kopējām SEG emisijām. Šis procents samazinātos, ja tiktu īstenoti oglekļa saistīgas lauksaimniecības pasākumi.

Apskatot zinātniskos rakstus un pārbaudot praksi šajā pētniecības jomā, tika noteikti pieci uzņēmuma līmeņa pasākumi, nosakot efektīvākos: optimizēta mēslojuma ražošana; enerģiju taupošas kultivēšanas metodes; uzlabota ūdens apsaimniekošana; labāka dzīvnieku barošana; atjaunojamo enerģijas avotu izmantošana. Ieviešot šos pasākumus, iespējams samazināt emisiju līmeni, patērēto enerģiju un resursus, kā arī izdevumus. Pētījuma laikā tika izstrādāta energopārvaldības sistēma (2.4. att.) lauksaimniecības nozarei uzņēmumu līmenī, ko var pielāgot dažādu lauksaimniecības uzņēmumu novērtēšanai un salīdzināšanai.

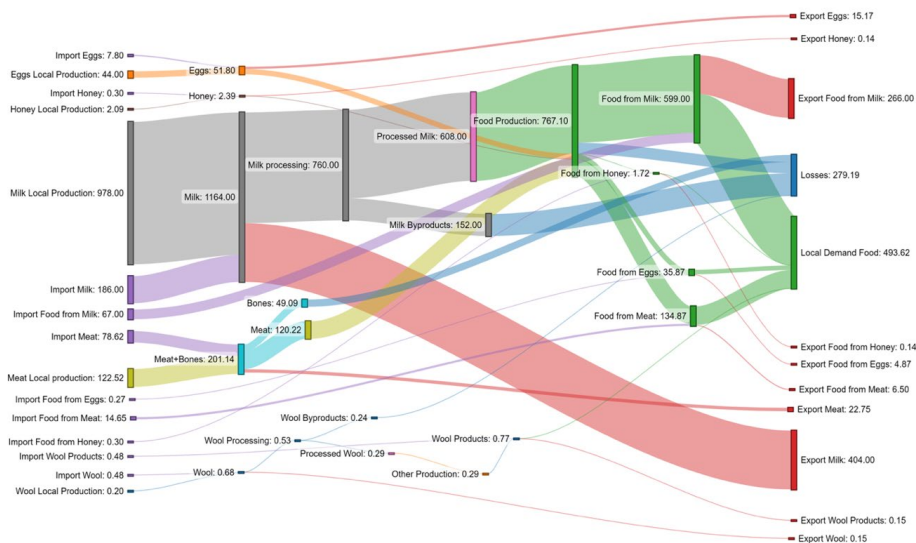


2.4. att. Energopārvaldības ietvars lauksaimniecības sektoram uzņēmuma līmenī.

Rezultāti liecina, ka piedāvāto rādītāju un salīdzinošās novērtēšanas izmantošana saimniecību salīdzināšanai ir izdevīga, lai uzlabotu lauksaimniecības nozari un samazinātu siltumnīcefekta gāzu emisijas un enerģijas patēriņu, tādējādi radot efektīvu, ilgtspējīgu un konkurētspējīgu lauksaimniecību.

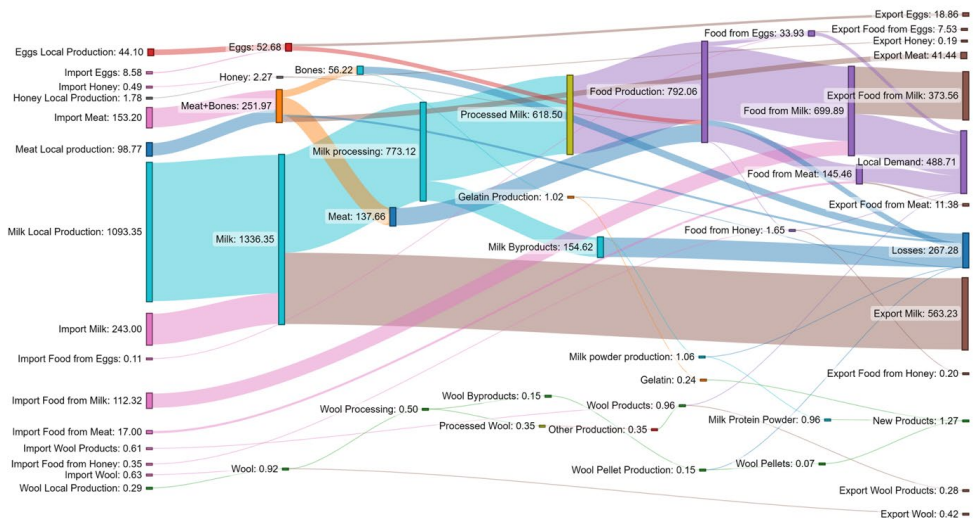
2.5. Resursu efektivitātes un produktu ražošanas ar augstāku pievienoto vērtību nozīme lauksaimniecībā

Pamatscenārija iznākumu attēlo plūsmās, kas ņemtas no statistikas datubāzēm un izmantotas kā ievades dati modelim ar masas bilanci. Bioresursu plūsmas 2015. bāzes gadam ir attēlotas *Sankey* diagrammā (2.5. att.). Materiālu ievades kritēriju apjomi ir noteikti, lai parādītu lopkopības nozares vēsturisko perspektīvu. Tas liecina, ka lielāko daļu iegūto dzīvnieku izcelsmes produktu masas vienībās veido vietēji ražots un importēts piens, vietēji ražota gaļa un olas. Apskatītajās masas vienībās iegūtā vilna un medus veido nelielu daļu no kopējā dzīvnieku izcelsmes produktu apjoma. Lielākā daļa piena un no piena saražotās pārtikas tiek eksportēta, un manāmi liela daļa saražotās produkcijas tiek izmantota vietējam patēriņam ar nelieliem zaudējumiem (pārsvārā no piena ražošanas).



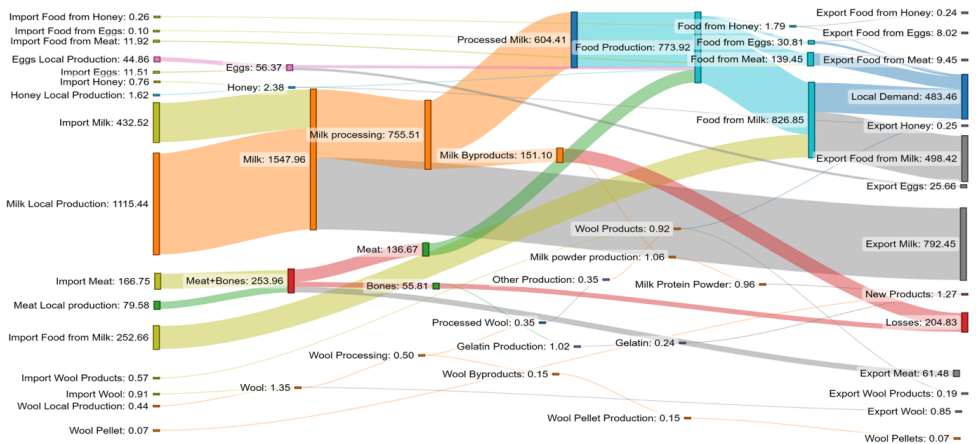
2.5. att. Bāzes gada rezultātu *Sankey* diagramma, kt.

Pat pēc jaunu tehnoloģiju ieviešanas vēlamais blakusproduktu pilnīgas izmantošanas rezultāts vēl nevienā scenārijā nav sasniegts vietējā tirgus pieprasījuma ierobežojumu dēļ. Tomēr var novērot, ka modeļa aprēķinātās tendences liecina par vietējo un importēto preču apjomu pieaugumu 2023. un 2030. gadā, salīdzinot ar 2015. gadu (bāzes gadu), vienlaikus samazinoties kopējiem materiālajiem zaudējumiem. Lai gan jauno produktu ražošanā izmantota tikai daļa blakusproduktu, to ekonomiskais piensums septiņu gadu laikā ir ievērojams. Ieviešot jaunas tehnoloģijas, tiek aprēķināta kumulatīvā pievienotā vērtība, kas sasniedz 62 % 2023.–2030. gadā gadījumā, ja šīs tehnoloģijas tiek ieviestas, sākot no 2023. gada (2.6. att.).



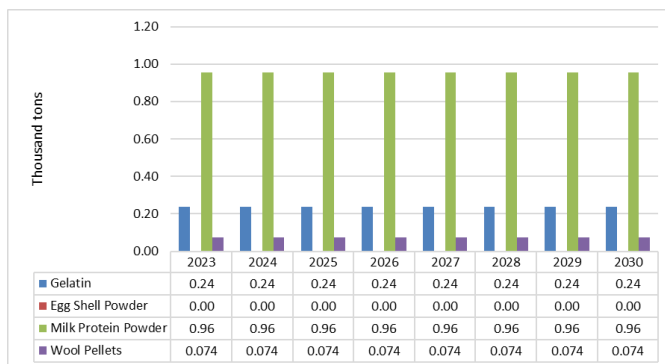
2.6. att. 2023. gada rezultātu *Sankey* diagramma, kt.

Līdzīgi *Sankey* diagramma 2030. gadam ar simulācijas rezultātiem, ieskaitot datus, kas pievienoti par jauniem produktiem (želatīns, vilnas granulas, piena sūkalu proteīna pulveris un olu čaumalu pulveris), redzama 2.7. attēlā. Grafikā redzams, ka pieaugs plūsmas gan iekšzemes piena ražošanai, gan importētajam pienam, kas ir lielākās plūsmas, kam joprojām sekos importētās piena pārtikas un gaļas produkcijas imports. Piena pārstrādes procesā radušies blakusprodukti ir gandrīz nemainīgi, kas ir galvenais blakusproduktu avots, taču, pateicoties jaunajiem produktiem, kopējais resursu zudums samazinās par 33,9 kt. Galīgās pārtikas plūsmas liecina, ka eksportētā piena apjoms, salīdzinot ar 2015. gadu, pieaudzis 1,6 reizes, savukārt no piena ražotā pārtika pieaugusi gandrīz 1,9 reizes. Būtiski augušas arī citas plūsmas, piemēram, gaļa eksportēta 2,7 reizes vairāk, vilna un tās izstrādājumi – 3,1 reizi, olas un to izstrādājumi – 1,7 reizes, taču šīs plūsmas uz kopējā fona masas vienībās ir mazākas.



2.7. att. Mērķa gada (2030. gads) rezultātu Sankey diagramma, kt.

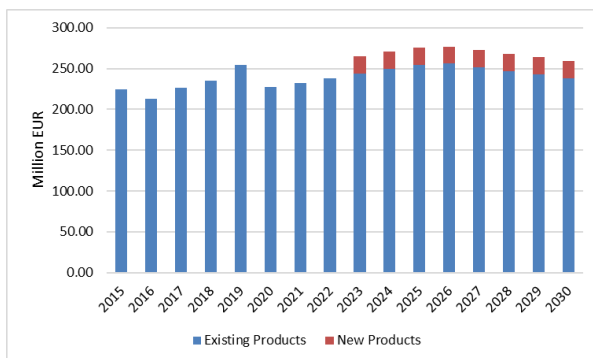
No jaunajiem produktiem modeļa rezultāti liecina par ražotu piena proteīna pulveri, želatīnu un vilnas granulām (2.8. att.), bet ne olu čaumalu pulveri. Jauno produktu ražošanu ietekmē ražošanas procesu efektivitāte un izmaksas, kā arī pievienotā vērtība uz vienu vienību, jo olu čaumalu pulverim ir salīdzinoši zema ražošanas efektivitāte masas attiecības dēļ un salīdzinoši lieli zudumi, ja pulveri ražo no veselas olas.



2.8. att. Jauno saražoto produktu daudzums, kt.

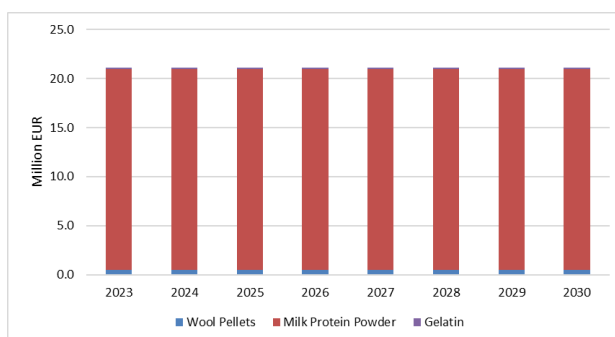
Modelis sasniedz piena proteīna pulvera un želatīna pieejamo resursu robežas (piemēram, resursu lietošanas kapacitāti, ekonomisko dzīvotspēju un pieprasījuma ierobežojumu), tādējādi katru gadu tiek saražots vienāds daudzums. Olbaltumvielu pulveris un želatīns sasniedz pieejamo resursu limitu uzreiz 2023. gadā, līdz ar to produktu ražošana ir nemainīga. Kas attiecas uz vilnas granulām, visi pieejamie vilnas resursi tiek izmantoti vilnas granulāšanai. Savukārt pēc granulām prognozētais pieprasījums ir 58,37 tūkst. t. Saražotās granulās ir tikai aptuveni 0,1 % no šīs pieprasījuma vērtības. Ja ņemtu prognozētās pieprasījuma vērtības, tad visu pievienoto vērtību segtu piena proteīna pulveris.

Jauno produktu pievienotā vērtība kā daļa no kopējās pievienotās vērtības dažādos gados svārstās no 7,6 % līdz 8,2 %. Vidējā pievienotā vērtība ir 7,9 % gadā. Šis procents mainās, mainoties citu saražoto produktu skaitam gadu no gada, bet saražoto jauno produktu skaits katru gadu paliek nemainīgs (2.9. att.).



2.9. att. Kopējā esošā un no jaunajiem produktiem pievienotā vērtība lopotībā, milj. EUR.

2.10. attēlā redzama pievienotā vērtība jaunražotajiem produktiem ar pievienoto vērtību. Šajā gadījumā piena proteīna pulveris aizņem lielāko daļu pievienotās vērtības, kas, iespējams, ir tāpēc, ka piena produkti veido lielāko daļu pārtikas produktu un pievienotā vērtība uz vienu piena proteīna pulvera vienību ir lielāka nekā citiem produktiem.



2.10. att. Pievienotās vērtības struktūra jaunražotajiem produktiem ar pievienoto vērtību.

2.6. Lauksaimniecības sektora virzība uz klimatneitralitāti

Veicot aprēķinus, kas balstīti piena pārstrādes uzņēmuma datos, konstatēts, ka investējot ir iespējams panākt vairākus uzlabojumus. Būvējot jaunu kūti, uzņēmums:

- samazināja elektroenerģijas patēriņu par 7000 kWh/gadā, kas ir samazinājums par 46 %;

- palielināja izslaukumu no vienas govys par 2129 kg/govs/gadā, kas ir 25 % uzlabojums, salīdzinot ar ieguldījumu veikšanas gadu;
- palielināts izslaukums no vienas govys par 3987 kg/govs/gadā, kas ir 42 % uzlabojums, salīdzinot ar 10 gadu vidējo izslaukumu pirms investīcijām.

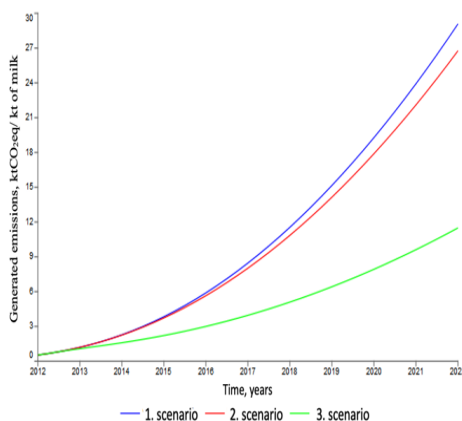
Investējot barības barošanas tehnoloģijās, uzņēmums:

- palielināja izslaukumu par 174 kg/govs/gadā, kas ir 2 % uzlabojums, salīdzinot ar ieguldījumu veikšanas gadu.

Radušos emisiju skaits katru gadu palielinās, palielinoties govju skaitam, kas tādējādi palielina zarnu fermentācijas procesu radīto emisiju skaitu. Tomēr, ieviešot inovācijas, ir iespējams novērot emisiju samazināšanos, jo augstāks kūtsmēslu apsaimniekošanas līmenis samazina kūtsmēslu emisiju daudzumu.

Salīdzinot šajos scenārijos radītās emisijas, par atskaites punktu tika pieņemts 2017. un 2022. gads, un tika noteikts, ka ar otrā scenārija palīdzību, salīdzinot ar pirmo scenāriju, 2017. gadā emisijas tiek samazinātas par 0,1 %, 2022. gadā – par 10 %.

Pēc tam tika apskatītas radītās emisijas uz saražoto produkcijas daudzumu, kas ir būtiskākais un objektīvākais rādītājs lauksaimniecībā. 2.11. attēlā redzamas emisijas uz saražoto produkcijas vienību, ko mēra ktCO₂ekv./kt saražotā piena. Kopumā iespējams novērot, ka pirmais scenārijs rada vislielākās emisijas piena ražošanā uz vienību, savukārt otrais scenārijs rada mazāk emisiju tikai no 2015. gada, savukārt trešajā scenārijā ir novērojamas būtiskas izmaiņas, salīdzinot ar pirmo un otro scenāriju.



2.11. att. Kopējais radīto emisiju apjoms uz saražotās produkcijas apjomu trīs scenārijos.

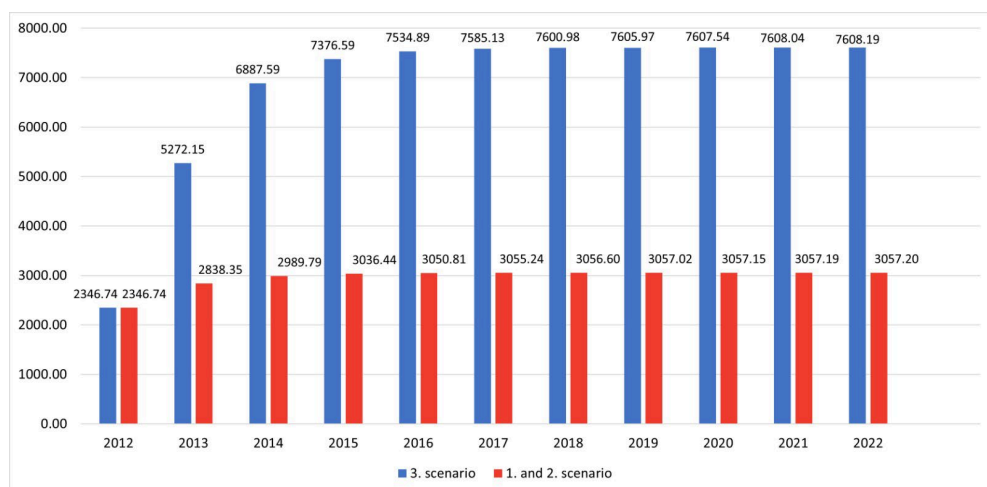
Salīdzinot radītās emisijas starp scenārijiem, par atskaites punktu tika ņemts 2022. gads. Konstatēts, ka, īstenojot otro scenāriju (kad tiek investēti tikai kūtsmēslu apsaimniekošanas tehnoloģijās), salīdzinot ar pirmo scenāriju (kad netiek veikti uzlabojumi), ir iespējams panākt emisiju samazinājumu par 8 % (2,32 ktCO₂ekv./kt piena) 2022. gadā.

Salīdzinot radītās emisijas starp otro scenāriju un trešo scenāriju (kur tiek veikti kūtsmēslu apsaimniekošanas uzlabojumi, termoregulācijas un barības uzlabošanas pasākumi,

modernizācija), tika konstatēts, ka, īstenojot trešo scenāriju, ir iespējams panākt emisiju samazinājumu par 57 % (15,28 CO₂ekv./kt piena) 2022. gadā.

Salīdzinot radītās emisijas starp pirmo un trešo scenāriju, tika konstatēts, ka, īstenojot trešo scenāriju, 2022. gadā ir iespējams panākt emisiju samazinājumu par 60 % (17,9 CO₂ekv./kt piena) 2022. gadā.

Govju skaita pieaugums notiek līdz 2016. gadam, pēc tam tas paliek nemainīgs. Salīdzinot 2013. gadu ar 2022. gadu, iespējams konstatēt, ka govju skaits pieaudzis par 23 %. Sākotnējais izslaukums no govīs bija 6,377 t/govs gadā, kas pirmajā un otrajā scenārijā paliek nemainīgs, taču trešajā scenārijā ir iespējams novērot izslaukuma pieaugumu maksimālā vidējā izslaukumā no govīs, kas ir 15,870 t/govs gadā. Salīdzinot trešā scenārija pirmo gadu ar pēdējo, iespējams novērot pieaugumu par 69 % (5261,45 t vairāk), taču, salīdzinot 2022. gada trešo un pirmo scenāriju, iespējams secināt, ka, ieguldot līdzekļus modernizācijā, 2022. gadā iespējams sasniegt par 60 % lielāku ražas apjomu, kas ir par 4550,99 t vairāk (2.12. att.).



2.12. att. Saražotais piena daudzums uzņēmumā kopumā visos trijos scenārijos.

3. REZULTĀTU KOPSAVILKUMS UN DISKUSIJA

1. Veicot oglekļa bilanci, pamatojoties uz dzīves cikla analīzi, lai novērtētu biogāzes ražošanas ietekmi no noteikta resursa, ir iespējams noteikt ietekmi uz vidi SEG emisiju izteiksmē.

2. Oglekļa bilance dod iespēju analizēt emisiju avotus un to kvantitatīvo ietekmi, lai uzlabotu bilanci ar radīto emisiju samazināšanu vai novēršanu. Tomēr ir būtiski ņemt vērā ne tikai emisiju kvantitatīvo ietekmi uz atmosfēru, bet arī apvienot to ar ilgtspējīgām lauksaimniecības praksēm kopumā, lai neradītu negatīvu ietekmi uz augsni, ūdeni un vidi.

Oglekļa bilances pētījums pierāda, ka ar savu novitāti (veicot oglekļa bilanci pēc aprites cikla analīzē balstītas metodoloģijas biogāzes ražošanā no kukurūzas ietekmes novērtēšanai), ir iespējams noteikt ietekmi uz vidi siltumnīcefekta gāzu emisiju izteiksmē uz atmosfēru. Neskatoties uz dīzeļdegvielas patēriņu un kukurūzas ražošanas procesa emisijām, kukurūza fotosintēzes laikā daudz vairāk oglekļa nekā šajā procesā veidojas. Tātad, ja ražošanas procesā tiek pieņemts 1 % biogāzes noplūdes, kā arī, ņemot vērā aprēķinus, ka 34 571 815,2 m³ biogāzes var tikt iegūta no 5382 ha īpaši audzētas kukurūzas, biogāzes ražošana no speciāli audzētas kukurūzas var ietaupīt 1,86 kg CO₂ ekv. emisijas uz 1 m³ saražotās biogāzes.

Ir vairākas iespējas, kurās oglekļa bilanci var uzlabot, samazinot emisijas dažādos lauksaimniecības procesos, audzējot substrātu. Piemēram, izmantojot nulles emisiju elektriskos traktoros augsnes apstrādei, kopējās biogāzes kukurūzas audzēšanas emisijas varētu samazināt par 43 %. Bet ir arī procesi, kas nebūtu vēlami emisiju samazināšanai, piemēram, traktora braukšanas biežuma samazināšana uz lauka, jo mēslošanas procesu teorētiski var veikt uzreiz un ar mazāk "piegājieniem", taču jāņem vērā, ka mēslošana tiek sadalīta vairākos posmos, lai pakāpeniski izkliedētu vielu koncentrāciju uz lauka labvēlīgam augu veģetācijas procesam, kā arī neveicinātu ūdens piesārņojumu drenāžas dēļ, kas izraisa eroziju. Pēc ražas novākšanas 28 % no kopējām emisijām rada slāpekļa emisijas no kultūraugu atliekām (virs un zem zemes). Diemžēl tās ir emisijas, ko praktiski samazināt nevar, jo, lai gan šīs atliekas teorētiski varētu izmantot biogāzes ražošanai, kultūraugu atlieku aizvākšana no kukurūzas laukiem negatīvi ietekmētu vidi un augsnes kvalitāti. Ir svarīgi apvienot efektivitāti lauksaimniecībā, lai samazinātu emisijas atmosfērā, neaizmirstot par ilgtspējīgu lauksaimniecību, lai neradītu negatīvu ietekmi uz augsni, ūdeni un vidi.

3. Biogāzes ražošanas pāreja no enerģijas ražošanas koģenerācijas stacijās uz biometāna ražošanu ir veids, kā saglabāt nozares dzīvotspēju un ilgtspējību, tajā pašā laikā tas nozīmē saskarties ar ekonomiskiem, sociāliem un tehniskiem izaicinājumiem.

Attiecībā uz biogāzes ražošanas pāreju no enerģijas ražošanas koģenerācijas stacijās uz biometāna ražošanu šķiet, ka tas ir veids, kā saglabāt nozares dzīvotspēju un ilgtspēju. Tajā pašā laikā nozare saskaras ar šādām problēmām:

- panākt maksimāli efektīvas un gudras sistēmas izveidi, kur investīciju plānošanā jāņem vērā biogāzes ražotāji un sadalījums pa reģioniem;
- būt pēc iespējas finansiāli neatkarīgākam nākotnē;
- negatīvās sabiedrības uztveres maiņa;
- bioekonomikas attīstība, kas var pārņemt daļu resursu krājuma;
- maksimālās resursu efektivitātes sasniegšana;
- pilnībā realizēt savu lomu ceļā uz klimatneitralitāti un lauksaimniecības, transporta un enerģētikas sektora siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanu;
- katras biogāzes stacijas ilgtspējības un resursu pieejamības kritisks novērtējums, iespējamais produkta realizācijas veids.

4. Jebkuru atkritumu izmantošana (vismaz) enerģijas ražošanai ir svarīga, taču cūku kūtsmēsli un mājputnu kūtsmēsli ir vispiemērotākās izejvielas biogāzes ražošanai Latvijā, īpaši tad, ja tos kombinē ar salmiem vai citiem augu biomasas blakusproduktiem.

Lai risinātu dažus no šiem izaicinājumiem un panāktu maksimālu resursu efektivitāti Latvijas kontekstā, tika veikta daudzkritēriju analīze, izmantojot *TOPSIS* metodoloģiju, ņemot vērā trīs galvenos parametrus – ekonomiskā iespējamība, substrāta efektivitāte un draudzīgums videi. Tas parādīja, ka cūku kūtsmēsli ir vispiemērotākā izejviela biogāzes ražošanai Latvijā, savukārt mājputnu kūtsmēsli ierindojās otrajā vietā ar ļoti nelielu vērtības atšķirību no cūku kūtsmēsliem. Neskatoties uz apgalvojumu, ka ar lignocelulozi bagāti augi nav veiksmīga izvēle biogāzes ražošanai, salmi bija trešais labākais substrāts biogāzes ražošanai Latvijā, savukārt ceturtajā vietā ierindojās liellopu kūtsmēsli. Pēdējā vietā kā visneveiksmīgākā biogāzes izejvielu izvēle tika atzīta koksne. Priekšpēdējā vietā reitingā ierindojās speciāli biogāzes ražošanai audzētai kukurūzai, kas līdz šim bija populārs substrāts lauksaimniecības biogāzes ražošanai. Pamatojoties uz modelī izmantotajiem kritērijiem, organiskie atkritumi un notekūdeņu dūņas novērtējumā ir aptuveni tādā pašā līmenī kā biogāzes kukurūzai. Šis darbs pierāda, ka pirmapstrādes salmi var kalpot kā lielisks biogāzes kukurūzas aizstājējs. Jebkuru blakusproduktu izmantošana enerģijas ražošanā ir svarīga, taču lielākais potenciāls lauksaimniecības biogāzes ražošanā ir kūtsmēsliem, kas apvienoti ar salmiem.

5. Biogāzes izmantošana biometāna ražošanā ir efektīvāks un ilgtspējīgāks risinājums enerģētikas sektoram nekā biogāzes sadedzinašana koģenerācijas stacijā.

Veicot biogāzes lietojuma pētniecību enerģētikas sektorā, tika izvērtēts biogāzes ilgtspējīgs lietojums transporta sektorā. Pētījumā tika veikta Latvijas gadījuma izpēte, kad biogāze tiek izmantota koģenerācijas stacijās un šī koģenerācijā saražotā elektroenerģija autotransportā pretstatā gadījumam, kad biogāze tiek pārvērsta biometānā un arī izmantota autotransporta sektorā. Pētījums atklāj biogāzes ražošanas un izmantošanas ilgtspējības aspektus nākotnē un to, kā Latvijā iespējams virzīties uz priekšu atjaunojamās enerģijas lietojumā. Ar *TOPSIS* metodi tika novērtēti divi scenāriji: 1) enerģijas ražošana koģenerācijas stacijā no biogāzes un koģenerācijas stacijā saražotās elektroenerģijas izmantošana autotransportā; 2) biogāzes

attīrīšana līdz biometānam un tā izmantošana autotransportā. Rezultāti liecina, ka biogāzes izmantošana biometāna ražošanai ir labākais un ilgtspējīgāks risinājums.

6. Oglekļasaistīgas lauksaimniecības metožu lielākais potenciāls Latvijā ir oglekļa uztveršana augsnēs, biometāna ražošana un daudzgadīgo augu stādīšana, savukārt agromežsaimniecība izrādījās Latvijas apstākļiem visnepiemērotākā metode.

Oglekļa lauksaimniecības risinājumu izpēte apstiprināja nepieciešamību un nozīmīgumu biometāna iekļaušanā klimatneitrālas lauksaimniecības stratēģijā. *TOPSIS* analīzes rezultāti apstiprina, ka pēc pašreizējās platības, budžeta un vides efektivitātes lielākais potenciāls ir tādām oglekļa lauksaimniecības metodēm kā uztveršana ar augsni, biometāna ražošana un daudzgadīgo augu stādīšana. Biometāna ražošana ir vistiesāk saistīta ar biogāzes ražošanu, kā arī ar nulles apstrādi un minimālu augsnes apstrādi līdz oglekļa uztveršanai augsnēs, tāpēc tas vēlreiz apstiprina, ka visas šīs metodes ir savstarpēji saistītas un svarīgas virzībai uz ilgtspējīgu lauksaimniecību. Agromežsaimniecība Latvijas apstākļos ieguvusi zemāko atbilstību šajā rangā; savukārt daudzgadīgie augi ieguvuši salīdzinoši augstu vietu. Šīs sešas subjektīvi izvēlētas oglekļasaistīgas lauksaimniecības metodes, kā arī aprēķinus var izmantot citu valstu gadījuma izpētei ar dažādu lauksaimniecības attīstības līmeni. Aprēķini tika veikti, pamatojoties uz zinātnisko publikāciju pieņēmumiem, tāpēc ieteicams šos aprēķinus rekonstruēt, izmantojot precīzus datus, ja tādi ir pieejami.

7. Oglekļasaistīga lauksaimniecība kā vienīgais risinājums nevar nodrošināt pilnīgu lauksaimniecības sektora klimatneitralitāti, jo pamatā tā ir vērsta uz lauka augkopību, tāpēc ir svarīgi attīstīt resursu un energoefektivitāti, ko iespējams ieviest katrā lauksaimniecības uzņēmumā.

Ir svarīgi skatīt visu sistēmu kopumā, iekļaujot visus elementus un metodes, lai sasniegtu labāko rezultātu, un tas nav iedomājams bez resursu un energoefektīvas pārvaldības, kur netiek tērēts vairāk, nekā tas ir nepieciešams. Energo pārvaldības sistēmu var un vajadzētu ieviest lauksaimniecības uzņēmumiem. Tas samazinātu enerģijas patēriņu, optimizētu izmaksas un samazinātu SEG emisijas. Taču, lai šos energopārvaldības pamatprincipus ieviestu uzņēmumos, ir nepieciešami informatīvi pasākumi. Uzņēmumiem būtu jāseko līdzi sākotnējam enerģijas patēriņa datu monitoringam, lai saprastu, kur visvairāk tiek patērēta elektroenerģija un siltumenerģija, kā arī kādas būtu iespējas šo patēriņu samazināt. Lauksaimniecības uzņēmumiem būtu ieteicams uzstādīt inteligentās energosistēmas un tehnoloģijas. Tā ir ilgtspējīga energoapgādes sistēma, kas ietver informāciju par enerģijas patēriņu un tā samazināšanas iespējām, pamatojoties uz sistēmas darbības pārraudzību. Energo pārvaldības sistēmu var apvienot ar siltumnīcefekta gāzu samazināšanas pasākumiem, piemēram, Latvijā jau ieviestām metodēm un vadlīnijām. Tomēr ne visi uzņēmumi ievēro šīs vadlīnijas. Nepieciešams izstrādāt konkrētu politiku un atbalsta programmu uzņēmumiem energopārvaldības īstenošanai, jo energopārvaldības vai energosistēmas pamatprincipu ieviešana prasa investīcijas. Ieviešot energosistēmu lauksaimniecības uzņēmumā, var novērtēt

enerģijas patēriņu šajā uzņēmumā, veikt pasākumus enerģijas patēriņa samazināšanai. Politikas un lauksaimniecības pamatnostādņēs jākoncentrējas uz lauksaimniecības un kūtsmēsļu apsaimniekošanas optimizēšanu. Pētījuma rezultāti liecina, ka energoefektivitātes uzlabošanas pasākumi ir efektīvs veids, kā samazināt CO₂ emisijas. Ja tiktu veikti pasākumi, lai samazinātu jaukto lauksaimniecības uzņēmumu SEG emisijas, vidējās emisijas samazinātos par 43 %. Ieviešot energopārvaldības pamatprincipus, pētītajos uzņēmumos būtu iespējams samazināt vidējo enerģijas patēriņu par 17 %. Taču arī tas ir atkarīgs no uzņēmuma specifikas un no tā, kādus pasākumus tas var īstenot.

8. Būtiski ir apvienot resursu efektivitāti ar augstākas pievienotās vērtības produktu ražošanu no vietējiem lauksaimniecības blakusproduktiem, jo tas dotu ieguldījumu gan uzņēmuma, gan vietējā ekonomikā.

9. *TIMES* modelis ļauj ar pievienotās vērtības pieaugumu saistītos aspektus izvērtēt empīriski ar laika atskaiti, lai atrastu optimālu lauksaimniecības nozares attīstības scenāriju.

Tika konstatēts, ka būtu nepieciešams ieviest energoefektivitātes pasākumus jebkurā uzņēmumā, tāpēc tika veikts pētījums arī par resursu efektivitātes ieviešanas nozīmīgumu. Tas ir ļoti svarīgi, jo, ieviešot dažādus pasākumus, lai virzītos uz klimatneitralitāti, iespējams produktivitātes kritums, kas samazina uzņēmuma ienākumus, tāpēc ir nepieciešams izpētīt iespējas un nozīmīgumu lauksaimniecības sektorā palielināt resursu pievienoto vērtību. Pētījumā piedāvāts jauns modelis, kas palīdz izpētīt jauno tehnoloģiju lietojumu un novērtēt to ieguldījumu lauksaimniecības sektorā jaunu, konkurētspējīgu produktu ražošanā un biorafinēšanas rūpnīcu attīstībā, kas būtiski ietekmē gan lauksaimniecību, gan citu nozaru kopējo resursu efektivitāti. Modelis parāda, ka vietējo resursu ražošana ar augstāku pievienoto vērtību dotu ieguldījumu vietējā ekonomikā. Taču masas ziņā vēlāmais rezultāts, maksimāli izmantojot blakusproduktus, netika sasniegts nevienā scenārijā. Sākot no 2023. gada, ieviešot jaunās tehnoloģijas, vietējā bioekonomika gūst labumu, ražojot produktus ar augstāku pievienoto vērtību.

Šajā pētījumā ar biorafinēšanas tehnoloģiju ieviešanu saistīto aspektu izvērtējums tiek veikts ar izstrādāto modeli saistībā ar valsts bioekonomikas izvirzīto mērķi – bioresursu pievienotās vērtības pieaugumu par 30 % līdz 2030. gadam. Modelī ieviestās jaunās tehnoloģijas, kas rada augstāku pievienoto vērtību no lopkopībā iegūtajiem bioresursiem, ir proteīna pulvera, želatīna, vilnas granulu ražošana. Modeļa jaunās tehnoloģijas ir pieejamas, sākot no 2023. gada, un tiek izmantotas produktu ar pievienoto vērtību ražošanā. No 2023. līdz 2030. gadam saražotā kumulatīvā pievienotā vērtība par aptuveni 62 % pārsniedz patlaban izmantoto tehnoloģiju radīto pievienoto vērtību. Taču bioresursu maksimālā apjoma izmantošana nav sasniegta, jo ir pieņēmumi, kas ierobežo jaunu produktu ražošanu atbilstoši šo produktu tirgus lielumam. Piena proteīna pulvera un želatīna ražošana sasniedza noteikto tirgus lieluma ierobežojumu. Vilnas granulu ražošana sasniedza maksimumu, kas bija iespējams, ņemot vērā vilnas pārstrādes blakusproduktu daudzumu. Atlikušo olu čaumalu pulvera

daudzumu potenciāli varētu samazināt ar augstāku olu čaumalu pulvera ražošanas efektivitāti vai lielāku pievienoto vērtību olu čaumalu pulverim.

Modelis ļauj empīriski ar laika atskaiti izvērtēt ar pievienotās vērtības pieaugumu saistītos aspektus, lai atrastu optimālu lauksaimniecības nozares attīstības scenāriju. Tas var būt noderīgi, lai lauksaimniecībā ieinteresētās personas apzinātos biorafinēšanas tehnoloģiju attīstību un to pozitīvo ietekmi uz vietējo ekonomiku. Iegūtais optimālais scenārijs ir izmantojams valsts politikas plānošanā, jo skaidro, kurās tehnoloģijās ir vērts investēt un kādiem lauksaimniecības atlikumiem ir vislielākais potenciāls augstākas pievienotās vērtības produktu ražošanā. Turpmākos pētījumus ar statistikas datiem no citiem avotiem un vairāku jaunu tehnoloģiju ieviešanu var lietot *TIMES* bioekonomikas vērtību modelī (*TIMES-BVM*), lai definētu vairākus iespējamus scenārijus biorafinēšanas attīstībai un izstrādātu ieteikumus bioekonomikas politikas plānošanai.

10. Lauksaimniecība ir nozare, kurā energoefektivitātes un resursu efektivitātes lēmumi jāizvērtē ļoti uzmanīgi, jo neprofesionāli pieņemti lēmumi var ne tikai apdraudēt uzņēmumu pastāvēšanu ar produktivitātes zaudējumiem, bet arī kaitēt videi.

11. Attiecībā uz lopkopību stratēģiskajos dokumentos akcentēta kūsmēslu apsaimniekošana un barības kvalitātes uzlabošana, taču ir redzams būtisks iztrūkstošais elements – sadaļa par dzīvnieku termoregulācijas uzlabošanu.

12. Jāņem vērā tas, ka jo lielāks ir ražošanas apjoms, jo mazāks ir saražoto emisiju skaits uz vienu produkcijas vienību. Taču lauksaimniecībā to iespējams panākt galvenokārt ar investīcijām jaunās, modernās tehnoloģijās.

13. Izveidotais sistēmdinamikas modelis ļauj gan izprast, gan modelēt iespējamus scenārijus; aprēķināt ne tikai konkrētā uzņēmuma vai nozares ietekmi uz vidi, aprēķinot radītās emisijas uz produkcijas vienību, bet arī aprēķināt nepieciešamās investīcijas, lai samazinātu uzņēmumā radīto 1kt CO₂ekv. Šāds modelis dod iespēju pieņemt ilgtspējīgus lēmumus ne tikai uzņēmuma, bet arī valsts politikas līmenī, vienlaikus veicināt vides mērķu sasniegšanu, ekonomikas izaugsmi, tautsaimniecības attīstību.

Visbeidzot, kad ir iegūtas atbildes uz daudziem aktuāliem jautājumiem, ir svarīgi aplūkot sistēmu kopumā, un šādai pārbaudei tika izmantots piensaimniecības uzņēmums, kas, pēc autores domām, lieliski atspoguļo lauksaimniecības specifiku resursu un enerģijas pārvaldībā, jo šādā sistēmā jāievēro milzīga atbildība, jo tajā atrodas dzīvas radības un no pieņemtajiem lēmumiem ir atkarīga ne tikai to veselība, bet arī produktivitāte. Līdzīgi jāskatās arī uz pārējām lauksaimniecības apakšnozarēm, jo, kā jau atklājies šī promocijas darba pirmajā pētījumā, lauksaimniecība ir nozare, kurā energoefektivitātes un resursu efektivitātes lēmumi ir jāizskata ļoti uzmanīgi, jo neprofesionāli pieņemtie lēmumi var ne tikai apdraudēt uzņēmumu pastāvēšanu, bet arī kaitēt videi.

Attiecībā uz lopkopību stratēģiskajos dokumentos akcentēta kūtsmēsļu apsaimniekošana un barības kvalitātes uzlabošana, taču ir redzams būtisks iztrūkstošais elements – sadaļa par dzīvnieku termoregulācijas uzlabošanu. Visi šie elementi (kūtsmēsļu apsaimniekošana, barības kvalitāte un termoregulācija) ir neatņemama sastāvdaļa, kurai jādarbojas vienotā sistēmā, jo to uzlabošana būtiski uzlabo produktivitāti, samazina enerģijas patēriņu, uzlabo resursu efektivitāti, kā arī samazina tiešās un netiešās emisijas ne tikai lauksaimniecībā, bet arī enerģētikas un transporta nozarēs. Jāņem vērā, ka jo lielāks ir ražošanas apjoms, jo mazāks ir saražoto emisiju skaits uz vienu produkcijas vienību. Taču lauksaimniecībā to iespējams panākt galvenokārt ar investīcijām jaunās, modernās tehnoloģijās, jo nepārdomāta enerģijas vai resursu ekonomija var radīt ražas zudumus, kas nebūtu ilgtspējīgs risinājums ne uzņēmuma, ne valsts līmenī. Lauksaimniecība nevar koncentrēties tikai uz energoefektivitāti un siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanu, neņemot vērā tādus aspektus kā plānoto aktivitāšu ietekme uz ražu, tehnoloģijas, brīvie pieejamie līdzekļi, tirgus stabilitāte, valsts atbalsts un citi. Ir svarīgi aplūkot veidus, kā palielināt produktivitāti, vienlaikus ieviešot energoefektīvu un resursu efektīvu, pārdomātu vadības modeli. Tikai tā būtu iespējams panākt ilgtspēju gan no vides, gan arī no ekonomikas viedokļa.

Taču šādām tehnoloģijām ir nepieciešamas investīcijas, ko tieši ietekmē uzņēmuma ienākumi un uzkrājumi, savukārt tos ietekmē realizētais apjoms un preces cena tirgū, atbalsta mehānismi, esošais tehnoloģiskais līmenis un efektivitāte. Lai nodrošinātu produkta realizāciju tirgū par konkurētspējīgu, taču pietiekami augstu cenu, lai uzņēmums varētu attīstīt inovācijas, ir svarīgi izstrādāt valsts politiku, kas garantē vietējā ražotāja produkcijas realizāciju. Nepārdomāta vietējā politika nespēj veicināt vietējo ražotāju inovāciju attīstības iespējas, salīdzinot ar konkurējošo valstu uzņēmumiem. Tas ir īpaši svarīgi tagad, pielāgojoties klimata pārmaiņām un mēģinot sasniegt zaļā kursa mērķus. Izveidotais sistēmdinamikas modelis ļauj gan izprast, gan modelēt iespējamus scenārijus; aprēķināt ne tikai konkrētā uzņēmuma vai nozares ietekmi uz vidi, aprēķinot radītās emisijas uz produkcijas vienību, bet arī aprēķināt nepieciešamās investīcijas, lai samazinātu uzņēmumā radīto 1 kt CO₂eq. Šāds modelis dod iespēju pieņemt ilgtspējīgus lēmumus ne tikai uzņēmuma, bet arī valsts politikas līmenī, vienlaikus veicinot vides mērķu sasniegšanu, ekonomikas izaugsmi, tautsaimniecības attīstību.

SECINĀJUMI

1. Veicot oglekļa bilanci, lai novērtētu biogāzes ražošanas ietekmi no noteikta resursa, ir iespējams noteikti šī procesa ietekmi uz vidi SEG emisiju izteiksmē, kā arī šāds oglekļa bilances aprēķins sniedz iespēju analizēt emisiju avotus un to ietekmi, lai uzlabotu bilanci, samazinot emisijas.
2. Oglekļa bilances aprēķins biogāzei, kas ražota no speciāli audzētas kukurūzas, pierāda, ka pat no, iespējams, provokatīvākās izejvielas ražotas biogāzes ietekme uz vidi vērtējama labvēlīgi, turklāt, ņemot vērā to, ka kūtsmēsliem pētījuma veikšanas brīdī tika izmantota aptuveni sestā daļa no visa pieejamā resursa Latvijā gadā, tas pierāda patlaban nepilnīgi izmantoto biogāzes potenciālu.
3. Jebkuru atlikumproduktu izmantošana (vismaz) enerģijas ražošanai ir svarīga, taču cūku un māļputnu kūtsmēsli tika noteikti kā vispiemērotākās izejvielas biogāzes ražošanai Latvijā, īpaši, ja tos kombinē ar salmiem vai citiem augu biomasas blakusproduktiem.
4. Biogāzes izmantošanas pāreja no tās sadedzināšanas koģenerācijas stacijā uz biometāna ražošanu ir veids, kā saglabāt biogāzes nozares dzīvotspēju un ilgtspējību, veicināt atjaunojamās enerģijas ražošanu lauksaimniecības sektorā no blakusproduktiem, no kuriem nav iespējams ražot citus produktus ar potenciāli augstāku pievienoto vērtību. Biometāna ražošana varētu potenciāli pozitīvi ietekmēt ne tikai lauksaimniecības, bet arī transporta sektoru, kas ir viens no lielākajiem SEG emisiju sektoriem.
5. ES oglekļa saistīgas lauksaimniecības iniciatīvas izmantošana ir ļoti būtiska, ņemot vērā, ka tā tiks atlīdzināta saskaņā ar jaunu ES uzņēmējdarbības modeļu izstrādi. Šāda atalgojuma sistēma potenciāli var kalpot kā efektīvs atbalsta mehānisms galvenokārt lauka augkopībā, kas palīdzētu lauksaimniecības transformācijā uz ilgtspējīgākām metodēm. Taču vienlaikus ļoti svarīgi katrai valstij un uzņēmumam izvērtēt savam uzņēmumam, pieejamajām augsnēm un apstākļiem atbilstošākās metodes. Pētījumā pēc vairākiem kritērijiem tika noteiktas dažādu metožu piemērotība Latvijas apstākļiem, kurā noskaidrojās, ka lielākais oglekļa saistīgas lauksaimniecības potenciāls Latvijā ir dažādām oglekļa uztveršanas augsnēs metodēm, kā arī biometāna ražošana, savukārt visnepiemērotākā – agromežsaimniecība.
6. Oglekļa saistīga lauksaimniecība galvenokārt koncentrējas uz lauka augkopību, tāpēc tas nevar būt vienīgais risinājums lauksaimniecības virzībā uz klimatneitralitāti. Viena no būtiskākajām praksēm ir energoefektivitātes pārvaldības ieviešana, kas ir iespējama pilnīgi katrā lauksaimniecības uzņēmumā.
7. Būtiski apvienot resursu pārvaldību ar augstākās pievienotās vērtības produktu ražošanu no vietējiem lauksaimniecības blakusproduktiem, jo tas dotu ieguldījumu gan uzņēmuma, gan valsts ekonomikas stiprināšanā. Tas ir īpaši svarīgi ne tikai tāpēc, lai tiktu efektīvi izmantoti visi pieejamie resursi, bet, ņemot vērā to, ka pārejas periodā no tradicionālām lauksaimniecības metodēm uz ilgtspējīgām iespējama ražas samazināšanās, tā ir iespēja palielināt ekonomisko ieguvumu no esošajiem resursiem.

8. Izstrādātais *TIMES* modelis ļauj empīriski ar laika atskaiti izvērtēt jauno tehnoloģiju lietojumu lauksaimniecības sektorā, lai ar jaunu produktu ražošanu ar augstāku pievienoto vērtību palielinātu pievienoto vērtību un rastu optimālu lauksaimniecības nozares attīstības scenāriju. Lopkopības gadījuma izpēte pierāda, ka ar jauno tehnoloģiju palīdzību, izmantojot daļu lopkopības blakusproduktus, kas nonāk zudumos, iespējams paaugstināt pievienoto vērtību par vidēji 7,9 %, un to būtu iespējams palielināt, aptverot produktu eksporta iespējas.
9. Lauksaimniecība ir nozare, kurā energoefektivitātes un resursu efektivitātes lēmumu pieņemšana jāizstrādā ļoti uzmanīgi, jo neprofesionāli pieņemti lēmumi var ne tikai apdraudēt uzņēmumu pastāvēšanu ar produktivitātes zaudējumiem, bet arī vides kaitējumu.
10. Attiecībā uz lopkopību stratēģiskajos dokumentos, īpaši akcentēta kūtsmēslu apsaimniekošana un barības kvalitātes uzlabošana, taču pēc piensaimniecības gadījuma izpētes redzams būtisks trūkstošais elements – ierosinājums par dzīvnieku termoregulācijas uzlabošanu, kas ir galvenais priekšnosacījums produktivitātes uzlabošanā.
11. Būtiski ņemt vērā to, ka lauksaimniecībā svarīgi aplūkot nevis radītās emisijas uz uzņēmumu, bet gan radītās emisijas uz vienu produkcijas vienību, kas ir objektīvākais rādītājs uzņēmuma ilgtspējībai un virzībai uz klimatneitralitāti.
12. Lauksaimniecībā visbiežāk ražības paaugstināšanos saskaņā ar vides pasākumu ieviešanu iespējams panākt galvenokārt ar jaunām, modernām tehnoloģijām, kurām nepieciešamas lielas investīcijas. Taču, lai uzņēmumi spētu investēt jaunās tehnoloģijās un attīstīties klimatneitralitātes virzienā, svarīgi, lai tiktu radīti labvēlīgi apstākļi, lai to produkcija būtu konkurētspējīga vietējā un globālajā tirgū, kā arī pārdomātu politisko lēmumu pieņemšana.
13. Izveidotais sistēmdinamikas modelis ļauj gan izprast, gan modelēt iespējamus scenārijus, aprēķināt ne tikai konkrēta uzņēmuma vai nozares ietekmi uz vidi, aprēķinot radītās emisijas uz produkcijas vienību, bet arī aprēķināt nepieciešamās investīcijas, lai samazinātu uzņēmumā radīto 1 ktCO₂eq. Šāds modelis sniedz iespēju pieņemt ilgtspējīgus lēmumus ne tikai uzņēmuma, bet arī valsts politikas līmenī, vienlaikus veicinot vides mērķu sasniegšanu, ekonomikas izaugsmi un tautsaimniecības attīstību. Gadījuma izpēte pierādīja, ka ar investīciju palīdzību jaunās tehnoloģijās ir iespējams vienlaikus virzīties klimatneitralitātes virzienā, samazinot 60 % radītās emisijas uz saražoto produkcijas tonnu, vienlaikus palielinot produktivitāti.
14. Darbā izvirzītā hipotēze apstiprinājās. Efektīva virzība uz klimatneitrālu lauksaimniecību iespējama tikai tad, ja tā tiek veikta visaptverošā veidā, apvienojot trīs galvenos priekšnoteikumus – resursu pārvaldību, resursu efektivitāti un oglekļa saistīgu lauksaimniecību, kā arī paralēli produktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošanu un/vai nesamazinātu, vēlams, paaugstinātu produktivitāti.
15. Lai veicinātu vietējo uzņēmumu veiksmīgu virzību uz klimatneitralitāti un vienlaikus saglabātu to konkurētspēju tirgū, valsts noteiktā stratēģija ir ļoti būtiska, lai virzītu

uzņēmumu transformāciju profesionālā veidā, savukārt lēmumu pieņemšanā var izmantot darbā izstrādātās metodoloģijas un modeļus.



Ketija Bumbiere dzimusi 1997. gadā Tukumā. Rīgas Tehniskajā universitātē (RTU) ieguvusi bakalaura grādu vides zinātnē (2018) un maģistra grādu vides inženierijā (2020). Viļņas Ģedimina tehniskajā universitātē ieguvusi maģistra grādu vides aizsardzības tehnoloģijās (2020). Kopš 2020. gada strādā RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūtā, ieņemot zinātniskās asistentes amatu, kopš 2021. gada ir lektore un pētniece. Patlaban ir arī uzņēmuma SIA "Ar B Agro" direktore. Gandrīz četrus mēnešus strādājusi praksi Valensijas Politehniskajā universitātē (Spānija). Zinātniskās intereses saistītas lauksaimniecības efektivitātes un klimatneitralitātes veicināšanu.