



KLIMATA TEHNOLOĢIJU EKODIZAINA RISINĀJUMI

Zinātniskā monogrāfija





Rīgas Tehniskā universitāte
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

KLIMATA TEHNOLOĢIJU EKODIZAINA RISINĀJUMI

Jūlijas Guščas redakcijā

Kolektīva zinātniskā monogrāfija

Apstiprinājusi RTU Zinātnes padome 2018. gadā

Recenzenti:
Edmunds Teirumnieks
Darja Markova

RTU Izdevniecība
Rīga 2019

Gatis Bažbauers, Dagnija Blumberga, Sylvestre Njakou Djomo, Ilze Dzene, Jūlija Gušča, Valters Kazulis, Krista Kļaviņa, Tatjana Kuzņecova, Eliza Keirāne, Dace Lauka, Indra Muižniece, Laura Pastare, Iluta Piļicka, Jeļena Pubule, Māra Rēpele, Francesco Romagnoli. Klimata tehnoloģiju ekodizaina risinājumi. Zinātniskā monogrāfija. Rīga, RTU Izdevniecība, 2019. 156 lpp.

Monogrāfija ir veltīta enerģētikas nozares izpētei – sākot no energoresursu iegūšanas līdz gala enerģijas izmantošanai, izmantojot ekodizaina novērtējuma un analīzes metodes, kā arī principus, kas jāņem vērā, lai veiktu tādas sistēmas tehnoloģiskos uzlabojumus, kas samazinātu ietekmi uz vidi. Monogrāfijā apkopoti pētījumu rezultāti par aprītes cikla analīzes izmantošanu gan priekšizpētē, lai noskaidrotu, vai attiecīgie resursi un energotehnoloģijas ir konkurētspējīgas, gan ražošanas tehnoloģijas analīzē. Pētījumos izmantotās ekodizaina metodikas un rīki, piemēram, aprītes cikla analīze, multikritēriju analīze, sistēmdinamikas modelēšana u. c., tos savstarpēji sinhronizējot, sniedz labākus rezultātus, lai precīzāk sasniegtu konkrēto mērķi.

Monogrāfijā aprakstīto pētījumu rezultātus var izmantot valsts politikas veidošanā – dažādu plānošanas dokumentu izstrādē, stratēģiju veidošanā, likumdošanas aktu izstrādē un pilnveidošanā. Monogrāfija būs noderīga zinātniekiem, speciālistiem, pašvaldību un uzņēmumu darbiniekiem, studentiem, rīcībpolitikas veidotājiem un citiem interesentiem.

Recenzenti

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

Darja Markova, *Dr. sc. ing.*, *Forschungszentrum Jülich*

Zinātniskā redaktore

Jūlija Gušča, *Dr. sc. ing.*, Rīgas Tehniskā universitāte

Monogrāfija izdota saskaņā ar RTU Zinātnes padomes 2018. gada 18. jūnija lēmumu, protokols Nr. 04000-3/5.

Zinātniskā monogrāfija ir izdota Valsts pētījuma programmas projekta “Energiefektīvi un oglekļa mazietilpīgi risinājumi drošai, ilgtspējīgai un klimata mainību mazinošai energoapgādei (LATENERGI)” ietvaros.



Literārā redaktore Inga Ivanova
Tehniskā redaktore Irēna Skārda
Datorsalikums Jekaterina Lukina
Attēlu datorgrafika Jekaterina Lukina
Vāka dizains Paula Lore

© Rīgas Tehniskā universitāte, 2019

ISBN 978-9934-22-104-0 (print)

ISBN 978-9934-22-105-7 (pdf)

Gatis Bažbauers, Dagnija Blumberga, Sylvestre Njakou Djomo, Ilze Dzene, Jūlija Gušča, Valters Kazulis, Krista Kļaviņa, Tatjana Kuzņecova, Elīza Keirāne, Dace Lauka, Indra Muižniece, Laura Pastare, Iluta Piļicka, Jeļena Pubule, Māra Rēpele, Francesco Romagnoli. Ecodesign solutions for climate technologies. Scientific monography. Riga, RTU Print, 2019. 156 p.

The monograph is devoted to the research of energy sector – from extraction of resources to final energy consumption – applying ecodesign methods for assessment and analysis, as well as defining principles to be taken into consideration in order to make necessary improvements in a system for reduction of environmental impacts. Chapters of the monograph present cases studies on Life Cycle Analysis (LCA) used at products' feasibility study level finding out if relevant resources and energy technologies are competitive, as well as at the products manufacturing levels. The ecodesign principles and tools presented in the studies, for example life cycle analysis, multi criteria analysis, system dynamic modelling, etc., when synchronised, provide better results in achieving the set goals.

The research results described in the monograph can be used for national policy development – development of various planning documents, strategies, regulatory acts. The information provided in the monograph is useful for researchers, field specialists, employees of municipalities and companies, students, policy makers, and other interested parties.

Reviewers

Edmunds Teirumnieks, Dr. sc. ing., Rezekne Academy of Technologies

Darja Markova, Dr. sc. ing., Forschungszentrum Jülich

Scientific Editor

Jūlija Gušča, Dr. sc. ing., Riga Technical University

The monograph is published in accordance with the resolution of RTU Scientific Council of 18 June 2018, Minutes No. 04000-3/5.

This work has been supported by the National Research Program “Energy efficient and low-carbon solutions for a secure, sustainable and climate variability reducing energy supply (LATENERGI)”.



Literary Editor: Inga Ivanova

Design: Jekaterina Lukina

Cover design: Paula Lore

© Riga Technical University, 2019

ISBN 978-9934-22-104-0 (print)

ISBN 978-9934-22-105-7 (pdf)

AUTORI

Gatis Bažbauers, *Dr. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta profesors

Dagnija Blumberga, *Dr. habil. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta direktore, profesore

Sylvestre Njakou Djomo, *Dr. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta vecākais eksperts

Ilze Dzene, *Dr. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta docente

Jūlija Gušča, *Dr. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta asociētā profesore

Valters Kazulis, *M. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta pētnieks

Krista Kļaviņa, *M. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta eksperte

Tatjana Kuzņecova, *M. sc.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta eksperte

Eliza Ķeirāne, *M. sc.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta eksperte

Dace Lauka, *M. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta pētniece

Indra Muižniece, *Dr. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta pētniece

Laura Pastare, *M. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta pētniece

Iluta Piļicka, *M. sc.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta eksperte

Jelena Pubule, *Dr. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta asociētā profesore

Māra Rēpele, *Dr. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta vecākā eksperte

Francesco Romagnoli, *Dr. sc. ing.*, RTU Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta asociētais profesors

SATURS

Ievads	6
1. Trīs bioūdeņraža ražošanas paņēmieni aprites cikla salīdzinošais novērtējums	8
2. Fotosintēzes procesā iegūta bioūdeņraža aprites cikla novērtējums	35
3. Inovatīva koksnes biomasas bioprodukta ekodizaina analīzes novērtējums	47
4. Ražošanas uzņēmuma ekodizaina koncepts	54
5. Makroaļģu ilgtspējīga izmantošana biogāzes ražošanā Latvijā: iepriekšēja izpēte, izmantojot daudzkritēriju analīzi un aprites cikla novērtējumu	80
6. Atjaunojamās enerģijas alternatīvas dabasgāzes izmantošanai būvmateriālu nozarē un to aprites cikla novērtējums	108
7. Kāpēc biodīzeļdegviela ir videi draudzīgāka, nekā tradicionālā fosilā dīzeļdegviela: aprites cikla novērtējuma metode	119
8. Sākotnējais aprites cikla dinamisks analīzes modelis CO ₂ saspiešanas, transportēšanas un iesūkņēšanas etapiem oglekļa dioksīda uztveršanas un uzglabāšanas saimniecībā	133
9. Koksnes šķeldas izmantošanas aprites cikla analīzes salīdzinošais novērtējums pirolīzes un kombinētas siltuma un elektroenerģijas ražošanas kontekstā Latvijā	142
Kopsavilkums	153
Summary	154

IEVADS

Kopš 1990.-jiem gadiem ilgtspējīgas attīstības principi pakāpeniski iekļaujas mūsu ikdienā. Ražošanas uzņēmumiem ceļā uz ilgtspējas nodrošināšanu nozīmīgu lomu spēlē ekodizains. Eiropas Savienības Ekodizaina direktīva nosaka, ka “ekodizains ir vides aspektu integrācija ražojuma dizainā ar mērķi uzlabot ražojuma ekoloģiskos raksturlielumus visā tā aprites ciklā”, savukārt, ar ekodizaina prasību tiek saprasta jebkura prasība attiecībā uz ražotā produkta, procesa vai informācijas dizainu ar mērķi uzlabot to vides sniegumu. Svarīgi ir akcentēt, ka ekodizaina stratēģiju ieviešana sniedz ne vien ekoloģiskos ieguvumus, bet arī vairo ekonomisko izdevīgumu, veicina inovācijas potenciālu uzņēmumos, t.sk. jaunu biznesa modeļu attīstību.

Īpaša loma ekodizaina novērtējumos ir aprites cikla koncepcijai. Veiktie pētījumi un realizētie projekti parāda, ka līdz pat 80 % no produktu radītās ietekmes uz vidi, ir iespējams novērst vai būtiski mazināt jau tā dizaina projektēšanas stadijā, panākot nelietderīgi izmantoto izejmateriālu un enerģijas daudzumu, kā arī ar to saistīto emisiju samazinājumu. Tomēr tikai ietekmju novērtējums visa aprites cikla laikā (no izejmateriālu iegūšanas līdz produkta apsaimniekošanas pēc tā dzīves cikla beigām) var sniegt visefektīvākos risinājumus ražojumu vides slodzes mazināšanai.

1. att. Monogrāfijas tematiskā koncepcija.



Aprites cikla analīze ir izplatītākā metode ražojumu ekodizaina stratēģiju izvērtēšanai no ietekmes uz vidi aspekta. Metode ietver četrus secīgus soļus: mērķa un izpētes robežu noteikšana, datu uzskaitē un ievākšana, aprites cikla novērtējums un rezultātu skaidrošana. Šāda secīga pieeja spēj nodrošināt izejas datu kvalitāti un detalizētu izpratni un izsekojamību par ietekmes uz vides kategorijām.

Monogrāfijā ir apkopoti Rīgas Tehniskā universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta zinātnieku pētījumi, kas ir saistīti ar ekodizaina stratēģiju ieviešanu vairākos tehnoloģiskajos procesos dažādos ietekmes līmeņos.

Minētās izpētes jomas ir īpaši būtiskas arī Latvijas kontekstā. Tā piemēram, bioresursu un biotehnoloģiju joma jau pašlaik ir un noteikti paliks arī nākotnē viena no valsts nozīmīgākajām tautsaimniecības nozarēm ilgtspējīgai ekonomiskai izaugsmei, valsts enerģētiskās neatkarības nodrošināšanai un klimata mērķu sasniegšanai. Lai varētu veiksmīgi plānot un paredzēt nākotnes tautsaimniecības procesus, ir jāizprot, kādus ieguvumus vai sekas vides aizsardzībai spēj sniegt konkrēto tehnoloģisko paņēmieni ieviešana katrā produkta vai procesa īstenošanas etapā – no plānošanas līdz aprites cikla beigu posmam –, savu pienesumu sniedz izstrādātā monogrāfija.

1. Trīs bioudeņraža ražošanas paņēmieni aprites cikla salīdzinošais novērtējums

Sylvestre Njakou Djomo, Dagnija Blumberga

Transporta sektors patērē apmēram 30 % no pasaulē saražotās enerģijas daudzuma [1] un rada apmēram 23 % no siltumnīcefektu izraisošo gāzu emisijām [2], kas to padara par vienu no lielākajiem atmosfēras piesārņojuma avotiem. Naftas produkti veido 40 % no pasaules transporta nozarē patērētajiem energoresursiem [3], līdz ar to šis sektors ir atkarīgs no naftas piegādes sistēmas un traucējumiem tajā. Fosilo kurināmo pakāpeniskā izsmelšana un pieaugošās raizes par globālo sasilšanu ir veicinājušas sabiedrības interesi par alternatīvām, CO₂ neitrālām un atmosfēru mazāk piesārņojošām degvielām [4].

Alternatīvās transporta degvielas var palīdzēt samazināt atkarību no fosilajiem energoresursiem, kā arī siltumnīcefektu izraisošo gāzu (SEG) emisiju un gaisa piesārņojumu pilsētās. Ūdeņradis starp visām alternatīvajām degvielām ir viens no nozīmīgākajiem enerģijas nesējiem [5], [6] – starp visiem zināmajiem degvielas veidiem tam ir augstākā enerģētiskā vērtība, rēķinot uz masas vienību [122 MJ/(kg H₂)], un tā ir vienīgā degviela, kas nav ķīmiski saistīta ar oglekli.

Šobrīd H₂ ražošanā galvenokārt tiek izmantotas tradicionālas metodes, piemēram, metāna pārveidošana ar tvaiku, ogļu gazifikācija un ūdens elektrolīze izmantojot no fosilajām degvielām iegūtu elektroenerģiju [7]. Tomēr šīs metodes ir energointensīvas, dārgas un patērē neatjaunojamus energoresursus; šīs īpašības padara tās par nepiemērotām ilgtermiņa izmantošanai. Lai ūdeņraža ekonomiku nākotnē padarītu ilgtspējīgāku, H₂ ražošanā būtu jāizmanto atjaunojamie energoresursi, piemēram, biomasa [8].

Mūsdienās biomasa nodrošina aptuveni 14 % pasaules energopatēriņa [9], tā sekmē visas pasaules ekonomiku [10], [11] un ir viens no visplašāk pieejamajiem atjaunojamiem resursiem, ko var izmantot bioloģiskā (no bioresursiem iegūtā) ūdeņraža ražošanā (bioH₂).

Pēdējo gadu laikā aizvien lielāka uzmanība tiek pievērsta bioH₂ ražošanai organisko substrātu secīgā hemotrofiskā (tumsā)

un fototrofiskā (gaismā) fermentācijas procesā – tā kā šo procesu rezultātā tiek iegūta tīra enerģija un radīts neliels atkritumu daudzums, tā ir viena no videi draudzīgākajām H_2 ražošanas metodēm [12]–[15].

Ogļhidrāti, tostarp ciete, cukuri, celuloze, ir H_2 ražošanai piemērotākie fermentējamie substrāti [16], [17]. Kviešu salmi, parastā sorgo stiebrī un kartupeļu mizas, pateicoties plašajai pieejamībai un zemajām izmaksām, ir tie ogļhidrātu avoti, kas visā pasaulē īpašu uzmanību izpelnījušies kā svarīgas H_2 ražošanas izejvielas [17]–[19]. Vēl viena svarīga šo izejvielu priekšrocība – tās nekonkurē ar pārtikas un lopbarības ražošanas nozari cīņā par biomasu un zemi.

Pastāv uzskats, ka kviešu salmi, parastā sorgo stiebrī un kartupeļu mizas ir vienas no labākajām izejvielām, kuru fermentācija var veicināt H_2 rašanos. Jāatzīmē, ka šo izejvielu fizikāli ķīmiskais sastāvs ir dažāds, līdz ar to atšķiras arī izejvielu priekšapstrādes metodes, kas savukārt var ietekmēt H_2 ražošanas paņēmienienergo- un ietekmes uz vidi indikatorus.

Vairums iepriekšēju pētījumu galvenokārt ir pievērsušies $bioH_2$ ražošanas paņēmieni ekonomiskajai dzīvotspējai un bioloģiskajiem indikatoriem (piemēram, lignocelulozes fermentācijai), bet pēdējā laikā uzmanība vairāk tiek veltīta dažādu izejvielu piemērotībai H_2 ražošanai. Diemžēl jāsaprot, ka daudz mazāk ir zināms par $bioH_2$ ražošanas sistēmu indikatoriem energobilances un ietekmes uz vidi jomā, turklāt nav skaidrs, vai izejvielu maiņa šos indikatorus uzlabotu vai pasliktinātu.

Lai pilnībā izprastu, kādu ietekmi uz vidi rada šo trīs izejmateriālu izmantošana plašā mērogā, ir nepieciešams detalizēts kvantitatīvais novērtējums. Tādēļ šī pētījuma mērķis ir novērtēt un salīdzināt no kviešu salmiem, parastā sorgo stiebrīem un kartupeļu mizām divpakāpju ražošanas procesā iegūta H_2 ietekmes uz vidi un energobilances indikatorus. Pētījuma ietvaros veikts aprites cikla novērtējums (ACN) eksperimentālai pilotažotnei, kas izveidota, lai pētītu H_2 ražošanu Eiropā.

Izpētes metodika

Biomasa izejvielas

Šī pētījuma ietvaros izvēlētās biomasas izejvielas ir kartupeļu mizas, parastā sorgo stiebrī un kviešu salmi. Tie ir blakusprodukti un ražošanas atlikumi, ko var izmantot H_2 ražošanai. Šo izejvielu ķīmiskais sastāvs atspoguļots 1.1. tabulā.

1.1. tabula

Analizē iekļauto izejvielu ķīmiskās īpašības un augstākais sadegšanas siltums [20]–[22]

Sastāvdaļas (% SM)	Kviešu salmi	Kartupeļu mizas	Parastā sorgo stiebri
Cukuri	–	–	55,00
Ciete	–	56,30	–
Celuloze	39,00	–	12,30
Hemiceluloze	29,00	–	10,10
Lignīns	15,00	–	4,80
Ogļhidrāti kopā*	68,00	56,30	77,40
Kopproteīns	4,20	9,80	1,98
Pelni	6,00	7,60	0,30
Q_a^d , MJ/kg	15,63	14,43	17,00

SM – sausā masa; Q_a^d – augstākais sadegšanas siltums.

* Kategorija “Ogļhidrāti kopā” ietver tādas sastāvdaļas kā celuloze, hemiceluloze, ciete, cukuri u. c., kuras ir nepieciešamas bioH₂ ražošanā. Tā kā mazāk sastopamās sastāvdaļas sarakstā nav iekļautas, tabulā atspoguļotās sastāvdaļas kopā neveido 100 % izejvielu sastāva.

Bioūdeņraža ieguve no lauksaimniecības un lauksaimnieciskās ražošanas atlikumiem: sistēmas apraksts

Šajā pētījumā aplūkoto bioūdeņraža ražošanas sistēmu veido astoņi galvenie procesi: ražošanas atlikumu savākšana, priekšapstrāde, hidrolīze un fermentācija [tostarp termofilā fermentācija (THF) un fotoheterotrofā fermentācija (PHF)], ūdeņraža atgūšana, gāzes attīrīšana, gāzes saspiešana un uzglabāšana, fermentācijas atlikumu izmantošana (sk. 1.1. attēlu). Svarīgākie sistēmas ekspluatācijas apstākļi biomasas pārvēršanai ūdeņradī šajā pētījumā ir tādi paši kā *Van Groenestijn* un citu autoru pētījumā [23] aprakstītie. Jāatzīmē – tika pieņemts, ka ražotne darbojas 336 dienas gadā.

Vispirms lauksaimniecības atlikumi (piemēram, kviešu salmi, parastā sorgo stiebri) un lauksaimnieciskās ražošanas blakusprodukti (piemēram, kartupeļu mizas) tiek savākti un nogādāti bioH₂ ražotnē. Atkarībā no izejvielu veida iepriekš apstrādātās izejvielas (kviešu salmi un parastā sorgo stiebri), izmantojot tādas komerciāli pieejamas enzīmus kā celulāze, glukoamilāze (AMG 300) un termamils, tiek sadalītas fermentējamās cukuros [24]. Jāpiebilst, ka vienādā enzīmu koncentrācijā un pie vienāda izejvielu daudzuma atšķiras kartupeļu mizu, parastā sorgo stiebru un kviešu salmu fermentācijai nepieciešamo enzīmu daudzums. Tas skaidrojams

ar to, ka šīm izejvielām ir dažāds polisaharīdu (cietes un celulozes) saturs. Dažāda hemicelulozes un lignīna satura dēļ atšķiras arī parastā sorgo stiebru un kviešu salmu iepriekšējā apstrādē izmantotā NaOH daudzums. Lai fermentējamus cukurus pārvērstu ūdeņradī, oglekļa dioksīdā un organiskajās skābēs, termofilajā fermentācijā tiek izmantotas termofilas baktērijas, kas vairojas vismaz 70 °C. Bet pēc tam fotoheterotrofās fermentācijas procesā fotoheterotrofās baktērijas, gaismu izmantojot kā papildu enerģijas avotu, pārvērš atlikušās organiskās skābes papildu ūdeņradī un oglekļa dioksīdā [20], [25]. Pēc tam bioreaktoros saražotā jauktā gāze (kas sastāv no H₂, CO₂ un neliela daudzuma piemaisījumu) tiek atgūta un nokļūst gāzes attīrīšanas iekārtā, lai tur atbrīvotos no nevēlamajiem gāzes piemaisījumiem. Gāzes attīrīšana notiek mainīga spiediena absorbcijas iekārtā (PSA) un amīnu absorbcijas/desorbcijas iekārtā (MEA) un tiek atbilstoši dokumentēta [24], [26]. Tad attīrītais ūdeņradis tiek saspiests līdz 450 bāriem un uzglabāts turpat bioH₂ ražotnē. Visbeidzot iepriekšējā apstrādē un fermentācijas procesā radušies blakusprodukti tiek izmantoti lopbarības ražošanā.

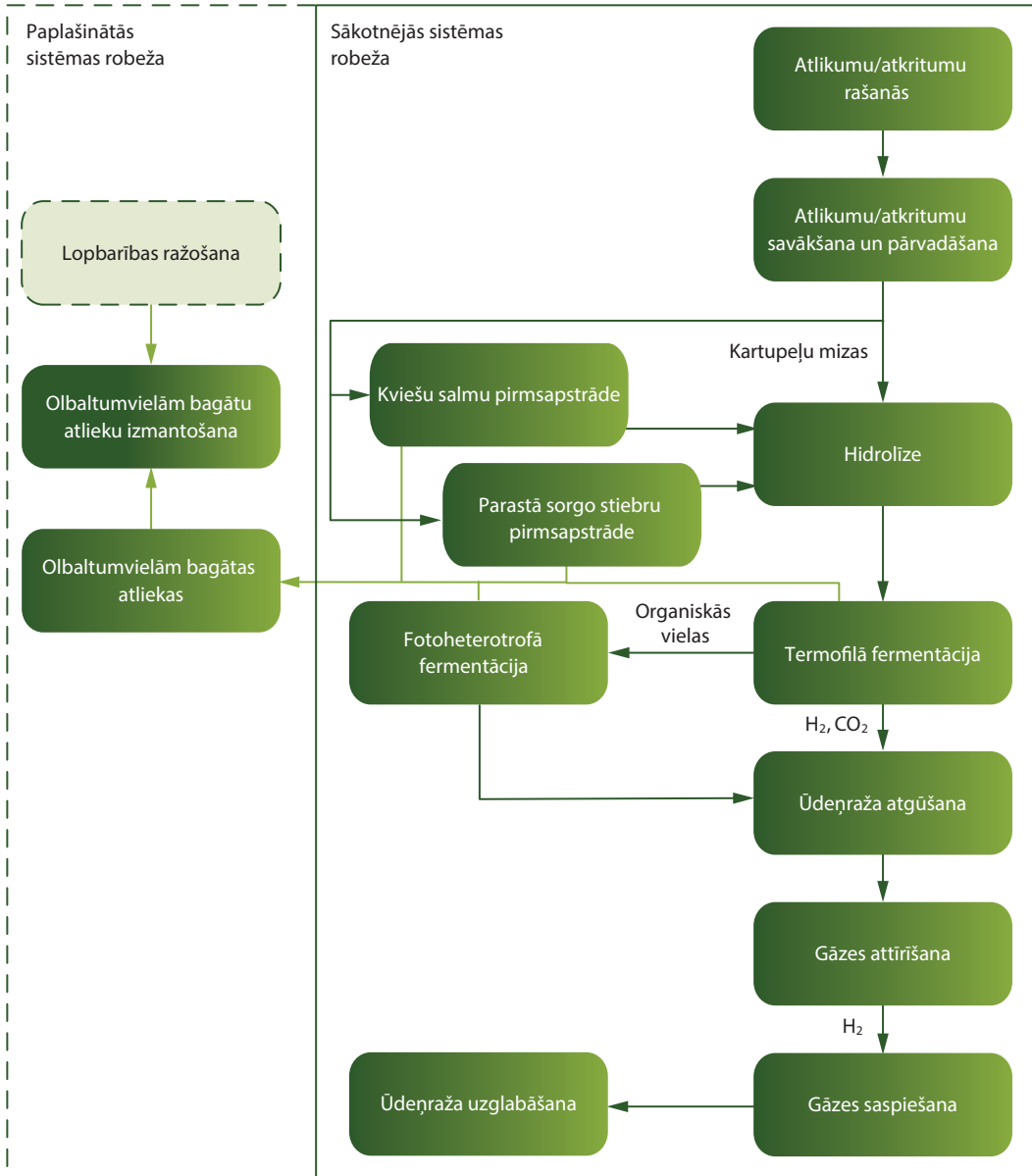
Aprite cikla novērtējums

Lai novērtētu un salīdzinātu bioH₂ ražošanas paņēmieni ietekmes uz vidi un energoindikatorus, tika veikts aprites cikla novērtējums (sk. 1.1. attēlu). Aprite cikla novērtējumā visu produkta ieguvē iesaistīto procesu ietekme uz vidi tiek izteikta kvantitatīvi, ņemot vērā visu produkta aprites ciklu – sākot no izejvielu ieguves līdz produkta ražošanai, izmantošanai un pārstrādei. Aprite cikla novērtējums ietver četrus savstarpēji saistītus posmus: mērķa un tvēruma definēšanu, uzskaites analīzi, ietekmes novērtējumu un rezultātu interpretāciju (ISO 14040:2006).

Trīs bioH₂ ražošanas paņēmieni uzskaites aprēķinu pamatā ir primārie dati (iegūti pilotražotnē) un sekundārie dati (iegūti zinātniskajā literatūrā un datubāzēs). Lai raksturotu ietekmi uz vidi, tika izmantota *Impact 2002+* metode [27]. Ūdeņraža ražošanas modeļšana veikta aprites cikla novērtējuma datorprogrammā *SimaPro 7.1* [28].

Mērķa un tvēruma definēšana, sistēmas robeža

Kā norādīts ievadā, šī pētījuma mērķis ir noteikt un salīdzināt trīs bioH₂ ražošanas paņēmieni energopatēriņa un ietekmes uz vidi indikatorus. Rezultāti ļaus salīdzināt šos bioH₂ ražošanas paņēmienus ar citiem, kā arī ar fosilo kurināmo, piemēram, auto-degvielu, ieguves sistēmām.



1.1. att. Ražošanas procesa sistēmas robežas shematiskais attēlojums. Lodziņos norādīti pamatprocesi, ar bultiņām apzīmēta materiālu plūsma.

Analizējamās ūdeņraža ieguves sistēmas mērķis ir apgādāt autotransportu ar degvielu. Izvēlētā sistēmu raksturojošā funkcionālā vienība ir 460 tonnas H_2 gadā. Lai saražotu vienu funkcionālo vienību, gadā nepieciešamas 6447 tonnas kartupeļu mizu ar ogļūdeņražu saturu 56 %, 5309 tonnas kviešu salmu ar ogļūdeņražu saturu 68 % vai 4689 tonnas parastā sorgo stiebru ar ogļūdeņražu saturu 77 %. Lai iegūtos rezultātus varētu salīdzināt ar

dīzeļdegvielas ražošanas indikatoriem, par atsaucenes enerģētisko vērtību tika izvēlēts 1 MJ degvielas ekvivalents.

Sistēmas robeža ietver visus procesus, kas nepieciešami, lai saražotu sistēmas funkcionālo vienību. Kad sistēmas robeža ir noteikta, tiek atlasīti visi novērtējumā iekļaujamie procesi [29]. Šajā pētījumā aprites cikla novērtējums veikts posmā “no akas (no resursu ieguves) līdz tvertnei (lietošanai)” (angļu val. *well-to-tank*), tātad analīze neietver bioH₂ sadegšanu transportlīdzekļa iekšdedzes dzinējā.

Visa ražošanas sistēma ir atspoguļota 1.1. attēlā. Tā kā izejvielu priekšapstrādes un fermentācijas laikā kā blakusprodukti rodas olbaltumvielām bagāti atlikumi, ko var izmantot lopbarības ražošanā, tas tika novērtēts kā bioH₂ ražošanas blakus ieguvums. Kaut arī enzīmu ražošana novērtējumā netika iekļauta, jo uzticami dati par šiem procesiem nav pieejami, analīze iekļauj enzīmu transportēšanu un izmantošanu bioH₂ ražotnē. Aprites cikla novērtējums neietver arī ražošanas līdzekļu (proti, ēku, ceļu un iekārtu), kā arī baktēriju ražošanas energopatēriņu un radīto ietekmi uz vidi, jo salīdzinot ar to aprites cikla laikā saražoto ūdeņraža daudzumu šie indikatori parasti ir maznozīmīgi.

Pētījumā identificēti un novērtēti tikai ar bioH₂ ražošanu un uzglabāšanu tieši saistītie ieguldījumi un ieguvumi. Tāpēc netiek ietverta, piemēram, lauksaimniecības zemes izmantošana, jo, lai saražotu lauksaimniecības atlikumus vai biomasas atkritumus, nav nepieciešamas papildu zemes platības [30]. Analīzē nav iekļauta arī salmu un stiebru vākšana. Patiesībā salmu vākšana vidi ietekmē maz un oglekļa piesaiste no to iestrādāšanas augsnē ir tikai 5–10 % [31]. Pētījumā nav aplūkoti arī tādi ietekmes veidi kā troksnis un smaka, jo nav pieejamas metodes to novērtēšanai. Pētījuma ģeogrāfiskā robeža ir Eiropa – tika pieņemts, ka te ir saražotas visas izejvielas. BioH₂ ražošanas sistēma aplūkota laikā no 2005. gada.

Aprites cikla uzskaitē

Aprites cikla uzskaites ietvaros tiek vākti un apkopoti dati, kas nepieciešami, lai novērtētu ieguldījumus un ieguvumus, kuri saistīti ar vienas funkcionālās vienības saražošanu. Šajā pētījumā primārie dati raksturo ar katru bioH₂ ražošanas ķēdi saistītos ieguldījumus un ieguvumus, bet sekundārie dati – dažādus blakus procesus, piemēram, elektroenerģijas ieguvu un pārvadi. Ja citi dati nebija pieejami, tika izmantota *Ecoinvent* datubāzē pieejamā informācija [32].

Informācija par ūdeņraža ražošanu tika iegūta no pilotažotnes Nīderlandē – divpakāpju bioH₂ ražotnes, kurā kā izejvielu izmantojot 800 kg kartupeļu mizu stundā, tiek iegūti 57 kg H₂ stundā [20].

1.2. tabula

Vispārīgi uzskaites dati par trim bioH₂ ražošanas paņēmieniem (tabulas augšējā daļa) un pieņēmumi par pārvadājumiem bioH₂ ražošanas sistēmas ietvaros (tabulas apakšējā daļa)

Indikatori	H ₂ , kartupeļu mizas	H ₂ , parastā sorgo stiebri	H ₂ , kviešu salmi	Atsauces
<i>Vispārīgi sistēmas parametri</i>				
Ģeogrāfiskās robežas	Eiropa	Eiropa	Eiropa	Pieņēmums
Termobioreaktora ietilpība, m ³	95	95	95	[20]
Fotobioreaktora ietilpība, m ³	300	300	300	[20]
Ražotnes kapacitāte	0,92	0,92	0,92	Pieņēmums
Ražotnes kalpošanas laiks, gadi	20	20	20	Pieņēmums
<i>Ievades procesi</i>				
Izejvielas, t gadā	36 894	5490	6071	[20]
NaOH, t gadā	129	188	318	[20]
Enzīmi, t gadā	253	278	312	[20]
Ūdens reakcijas nodrošināšanai, m ³ gadā	395 · 10 ³	396 · 10 ^{3a}	400 · 10 ^{3a}	[20]
Ūdens kā šķīdinātājs, m ³ gadā	2369 · 10 ³	2377 · 10 ³	2402 · 10 ³	[20]
Elektroenerģija, MWh gadā	4291	4320	4332	[20]
Tvaiks, MWh gadā	3546	3612 ^b	3618 ^b	[30]
<i>Izvades procesi</i>				
Ūdeņradis, t gadā	460	460	460	[20]
Olbaltumvielām bagāti atlikumi, t gadā	4030	1728 ^c	815 ^c	[20]
Oglekļa dioksīds, t gadā	5053	5053	5053	[20]
Notekūdeņi, m ³ gadā	2369 · 10 ³	2377 · 10 ³	2402 · 10 ³	Aptuvenā vērtība
Aprites cikla ietvaros saražotā ūdeņraža daudzums, t	9200	9200	9200	Aprēķināts
<i>Materiālu veids</i>				
	<i>Transporta veids</i>	<i>Kravneseība, t</i>	<i>Vidējais attālums, km</i>	
Kartupeļu mizas, parastā sorgo stiebri, kviešu salmi no ieguves vietas līdz ražotnei	Kravas automašīna, dīzeļdegviela	16	10	
NaOH no noliktavas līdz ražotnei	Kravas automašīna, dīzeļdegviela	28	50	
Enzīmi no noliktavas līdz ražotnei	Kravas automašīna, dīzeļdegviela	28	80	

^a Vērtības iegūtas, pieņemot, ka priekšapstrādes procesā parastā sorgo stiebriem un kviešu salmiem nepieciešams par attiecīgi 5 % un 10 % vairāk ūdens.

^b Vērtības iegūtas, pieņemot, ka priekšapstrādes procesā parastā sorgo stiebriem un kviešu salmiem nepieciešams par attiecīgi 5 % un 10 % vairāk siltuma.

^c Vērtības iegūtas, pieņemot, ka pēc fermentācijas un ņemot vērā kopproteīna saturu izejvielās ražošanas atlikumos vērojams olbaltumvielu pieaugums 7 % apmērā.

Šī ražotne tika izvēlēta tāpēc, ka tajā tiek īstenota jauna, vēl pilot-projektā esoša pieeja ūdeņraža ieguvei no biomasas, un tāpēc, ka tā spēj sniegt precīzus uzskaites datus. Svarīgākie dažādos avotos pieejamie šīs konversijas tehnoloģijas un bioH₂ ražošanas paņēmieni dati ir norādīti 1.2. tabulā.

Dažādu avotu datu izmantošana raisa jautājumu par datu kvalitātes konsekvenci. Lai mazinātu šaubas par datu kvalitāti, tika izvēlēti tikai tādi primārie dati, kas nav vecāki par 2005. gadu un kas raksturo mūsdienu tehnoloģijas. Priekšroka tika dota datiem, kas iegūti Eiropā. Katra pamatprocesa masas un enerģijas bilances analīze nodrošināja datu atbilstību visiem fizikas pamatlikumiem, un katra avota dati tika pārbaudīti citos avotos, lai noteiktu, vai tie atbilst līdzīgu produktu vai procesu normas robežām.

Ņemot vērā, ka datu avoti bija līdzīgi un aktuāli, pētījumā izmantotie dati uzskatāmi par atbilstošiem, lai novērtētu bioH₂ ražošanas paņēmienus un lai sasniegtu pētījuma mērķus. Ar transportēšanu bioH₂ aprites cikla ietvaros saistītie pieņēmumi ir norādīti 1.2. tabulā.

Aplūkotie bioH₂ ražošanas paņēmieni ir salīdzināmi ar citiem ūdeņraža ieguves veidiem, jo pētījumā tika izmantoti Eiropas Komisijas Kopīgā pētniecības centra Vides un ilgtspējības institūta dati [34]. Katra ūdeņraža ieguves paņēmiena raksturīgākās pazīmes sniegtas 1.3. tabulā.

1.3. tabula

H₂ ražošana izmantojot citas izejvielas: energobalance un SEG emisiju indikatori [34]

Kods	Ražošanas paņēmieni	Energoefektivitātes indikators (iegūtās enerģijas daudzums pret patērēto enerģijas daudzumu)	SEG emisijas, (kg CO ₂ ekv.)/(kg H ₂)
A1	Dabaszgāzes pārveidošana un ūdeņraža saspišana uz vietas dažādos Eiropas Savienības energoavotos	1,19	12,81
A2	Ūdeņraža saspišana un ražošana uz vietas no dabaszgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (7000 km)	0,90	15,01
A3	Ūdeņraža saspišana un ražošana uz vietas no dabaszgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (4000 km)	1,05	13,66
A4	Ūdeņraža centralizēta ražošana no dabaszgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (7000 km), ūdeņraža padeve: pa cauruļvadiem; saspišana: uz vietas	1,16	13,30
A5	Ūdeņraža centralizēta ražošana no dabaszgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (4000 km), ūdeņraža padeve: pa cauruļvadiem; saspišana: uz vietas	1,39	12,08



Kods	Ražošanas paņēmieni	Energoefektivitātes indikators (iegūtās enerģijas daudzums pret patērēto enerģijas daudzumu)	SEG emisijas, (kg CO ₂ ekv.)/(kg H ₂)
A6	Ūdeņraža centralizēta ražošana no dabasgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (4000 km), ūdeņraža padeve: pa cauruļvadiem; saspiešana: uz vietas (+ oglekļa uztveršana un uzglabāšana)	1,30	4,64
A7	Ūdeņraža centralizēta ražošana no dabasgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (4000 km), ūdeņraža padeve: ar autotransportu, saspiešana: uz vietas	1,39	12,20
A8	Šķidrā ūdeņraža centralizēta ražošana no dabasgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (4000 km), ūdeņraža padeve: ar autotransportu, iztvaikošana/saspiešana: uz vietas	0,78	16,35
A9	Ūdeņraža ražošana no sašķidrinātas dabasgāzes uz vietas, iztvaikošana/saspiešana: uz vietas	0,89	14,64
A10	Ūdeņraža centralizēta ražošana no sašķidrinātas dabasgāzes, iztvaikošana/saspiešana: uz vietas	1,15	12,93
A11	Dabasgāzes–metanola izmantošana ūdeņraža ieguvē, saspiešana: uz vietas	0,89	14,52
A12	Ūdeņraža centralizēta ražošana gazificējot ogles dažādos ES energoavotos, ūdeņraža padeve: pa cauruļvadiem	0,71	28,55
A13	Ūdeņraža centralizēta ražošana gazificējot ogles dažādos ES energoavotos, ūdeņraža padeve: pa cauruļvadiem (+oglekļa dioksīda uztveršana un uzglabāšana)	0,56	6,47
A14	Ūdeņraža ražošana uz vietas gazificējot koksnes atliekas	0,82	1,34
A15	Ūdeņraža centralizēta ražošana gazificējot koksnes atliekas, ūdeņraža padeve: pa cauruļvadiem	1,03	1,46
A16	Ūdeņraža ražošana gazificējot koksnes atlieku melno atsārnu	1,96	1,22
A17	Ūdeņraža ražošana uz vietas gazificējot koksnes atliekas	0,81	1,83
A18	Ūdeņraža ražošana centralizēti gazificējot koksnes atliekas, ūdeņraža padeve: pa cauruļvadiem	1,03	1,71
A19	Saspiesta ūdeņraža ražošana elektrolīzes procesā uz vietas no dabasgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (7000 km)	0,37	27,69
A20	Saspiesta ūdeņraža ražošana elektrolīzes procesā uz vietas no dabasgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (4000 km)	0,42	24,77
A21	Saspiesta ūdeņraža centralizēta ražošana elektrolīzes procesā no dabasgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (7000 km), ūdeņraža padeve: pa cauruļvadiem	0,41	24,89
A22	Ūdeņraža ražošana elektrolīzes procesā uz vietas no sašķidrinātas dabasgāzes	0,36	26,96



Kods	Ražošanas paņēmieni	Energoefektivitātes indikators (iegūtās enerģijas daudzums pret patērēto enerģijas daudzumu)	SEG emisijas, (kg CO _{2ekv.})/(kg H ₂)
A23	Saspiesta ūdeņraža ražošana no koksnes elektrolīzes procesā uz vietas (izmantojot kombinēta cikla gāzes turbīnu)	0,38	1,46
A24	Saspiesta ūdeņraža ražošana no koksnes elektrolīzes procesā uz vietas (izmantojot parastu tvaika turbīnu)	0,23	3,66
A25	Ūdeņraža ražošana uz vietas elektrolīzes procesā, izmantojot elektroenerģiju no dažādiem ES energoavotiem, saspiešana: uz vietas	0,28	25,50
A26	Ūdeņraža ražošana uz vietas elektrolīzes procesā, izmantojot elektroenerģiju, kas ražota no oglēm dažādos ES energoavotos, saspiešana: uz vietas	0,32	51,97
A27	Ūdeņraža centralizēta ražošana elektrolīzes procesā, izmantojot elektroenerģiju, kas ražota no oglēm dažādos ES energoavotos, ūdeņraža padeve: pa cauruļvadiem, saspiešana: uz vietas	0,31	50,87
A28	Ūdeņraža ražošana uz vietas elektrolīzes procesā, izmantojot no kodolenerģijas iegūtu elektroenerģiju, saspiešana: uz vietas	0,20	0,84
A29	Ūdeņraža centralizēta ražošana elektrolīzes procesā, izmantojot vēja ģeneratoru ražotu elektroenerģiju, ūdeņraža padeve: pa cauruļvadiem, saspiešana: uz vietas	1,27	1,10
A30	Šķidra ūdeņraža centralizēta ražošana no dabasgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (7000 km), ūdeņraža padeve: ar autotransportu	0,75	17,32
A31	Šķidra ūdeņraža centralizēta ražošana no dabasgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (4000 km), ūdeņraža padeve: ar autotransportu	0,88	15,49
A32	Šķidra ūdeņraža ražošana no dabasgāzes–metanola, dabasgāzes pārvadāšana: pa jūru, ūdeņraža padeve: ar autotransportu	0,70	16,96
A33	Šķidra ūdeņraža centralizēta ražošana no sašķidrinātas dabasgāzes, ūdeņraža padeve: ar autotransportu	0,75	16,71
A34	Šķidra ūdeņraža centralizēta ražošana koksnes gazifikācijas procesā, ūdeņraža padeve: ar autotransportu	0,67	0,85
A35	Šķidra ūdeņraža centralizēta ražošana elektrolīzes procesā (izmantojot kombinēta cikla gāzes turbīnu) no dabasgāzes, kas piegādāta pa cauruļvadiem (4000 km), ūdeņraža padeve: ar autotransportu	0,38	28,30
A36	Šķidra ūdeņraža centralizēta ražošana elektrolīzes procesā izmantojot elektroenerģiju, kura ražota dažādos ES energoavotos, ūdeņraža padeve: ar autotransportu	0,24	28,91
A37	Šķidra ūdeņraža centralizēta ražošana elektrolīzes procesā izmantojot elektroenerģiju, kas iegūta no oglēm dažādos ES energoavotos, ūdeņraža padeve: ar autotransportu	0,27	58,19

Blakusproduktu izmantošanas sadalījuma metode

Pētījumā aplūkoti bioūdeņraža ieguves veidi līdzās H_2 rada arī ievērojamu daudzumu olbaltumvielām bagātu atlikumu, ko var izmantot lopbarības ražošanā. Tāpēc kopējā ietekme uz vidi būtu jāsadala starp produktu jeb H_2 un blakusproduktu jeb olbaltumvielu atlikumiem. Ir vairāki paņēmieni, kā to izdarīt aprites cikla novērtējumā, bet standartā ISO 14044:2006 ieteikts – ja iespējams, no ietekmes sadalījuma vajadzētu izvairīties, sašaurinot vai paplašinot analizējamās sistēmas robežas.

Lai izvairītos no ietekmes sadalījuma, šajā pētījumā sistēmas robeža tika paplašināta, proti, tika pieņemts, ka olbaltumvielām bagātas atliekas tiek izmantotas lopbarības ražošanā, tādējādi ļaujot izvairīties no līdzvērtīga daudzuma lopbarības ražošanā bieži izmantotā graudu kukurūzas un sojas miltu maisījuma ieguves. 1.4. tabulā apkopoti indikatori, kuri izmantoti, lai aprēķinātu lopbarībā aizstājamo olbaltumvielu un enerģijas daudzumu, bet 1.1. un 1.2. vienādojums [35] iepazīstina ar formulu, pēc kuras aprēķināts blakusproduktu aizstāšanas koeficients.

$$\alpha = \frac{DP(\text{soja}) \cdot EA(\text{blakusprodukts}) - EA(\text{soja}) \cdot DP(\text{blakusprodukts})}{DP(\text{soja}) \cdot EA(\text{kukurūza}) - DP(\text{kukurūza}) \cdot EA(\text{soja})} \quad (1.1)$$

$$\beta = \frac{DP(\text{blakusprodts}) - \alpha DP(\text{kukurūza})}{DP(\text{soja})} \quad (1.2)$$

Šajos vienādojumos: DP – pārstrādājamās olbaltumvielas, EA – pieejamā enerģija, α un β – graudu kukurūzas un sojas miltu aizstāšanas koeficienti. Attiecībā uz blakus procesiem tika izmantoti *Ecoinvent* datubāzē pieejamie ietekmes sadalījuma principi [32].

Aprites cikla ietekmes novērtējums

Aprites cikla ietekmes novērtējums veikts, piemērojot *Impact 2002+* metodi [27], jo tā ļauj iepazīstināt plašāku publiku ar svarīgākajiem pētījuma rezultātiem vienkāršā veidā. *Impact 2002+* metodes ietvaros 14 viduspunkta ietekmes grupas tiek sadalītas četrās zaudējumu kategorijās: cilvēku veselība [mērvienība – DALY* (invaliditātes koriģētie dzīves gadi)], ekosistēmas kvalitāte (mērvienība – PDF** m² gadā), klimata pārmaiņas (kg CO_{2ekv.}) un resursi (MJ).

* DALY – invaliditātes koriģētie dzīves gadi.

** PDF – potenciāli izzūdošās sugas.

Lopbarības ražošanā izmantojamo blakusproduktu aizstāšanas koeficients

Labība	Lopbarības sastāvdaļas		Blakusproduktu fermentācija			Atsauces	Nosaukums
	Kukurūza	Sojas milti	Kviešu salmu olbaltumv. atlikumi	Kartupeļu mizu olbaltumv. atlikumi	Parastā sorgo stiebru olbaltumv. atlikumi		
<i>Pārstrādājamās olbaltumvielas</i>							
Liellopi, kopproteīns, % kā barība	8,40	48,01	11,20	16,80	8,98	[36]	DP
<i>Pieejamā enerģija</i>							
Liellopi, MJ/kg	12,10	12,30	12,40	12,04	12,04	[36]	EA
<i>Aizstāšanas koeficients</i>							
Kukurūza/blakusprodukts, t/t			0,96	0,77	0,98		α
Sojas milti/blakusprodukts, t/t			0,04	0,23	0,02		β

DP – pārstrādājamās olbaltumvielas, EA – pieejamā enerģija, α un β – aizstāšanas koeficients.

Zaudējumu kategoriju vērtības tiek normalizētas, par pamatu ņemot vidējo apmēru ietekmei, kādu uz gada laikā izjūt viens Eiropas iedzīvotājs. Rezultāts tiek izteikts “punktos” (Pt); viens punkts apzīmē 1/1000 daļu no vidējās ietekmes, ko gada laikā izjūt viens Eiropas iedzīvotājs. Šāda punktu sistēma nodrošina četru zaudējumu kategoriju savstarpēju salīdzināmību.

Energobalance

Energobalance ir svarīgs aspekts, kas ļauj noteikt degvielas nodevību, raugoties no enerģijas un vides aizsardzības skatpunkta [40]. Šī pētījuma ietvaros bioH₂ ražošanas paņēmieni energobalance ir noteikta kā attiecība starp kilograma ūdeņraža nodrošināto enerģiju un tā saražošanai nepieciešamo enerģijas daudzumu (vai enerģijas daļu). 1.3. vienādojums [37] ilustrē formulu, pēc kuras tika aprēķināts energoefektivitātes koeficients (ER).

$$ER = \frac{E_{H_2}}{\lambda E_{ieivad.}} \quad (1.3.)$$

Ar E_{H_2} apzīmēts H₂ sadegšanas siltums (tā pamatā ir zemākais sadegšanas siltums), $E_{ieivad.}$ ir kopējais ieguldītās enerģijas daudzums,

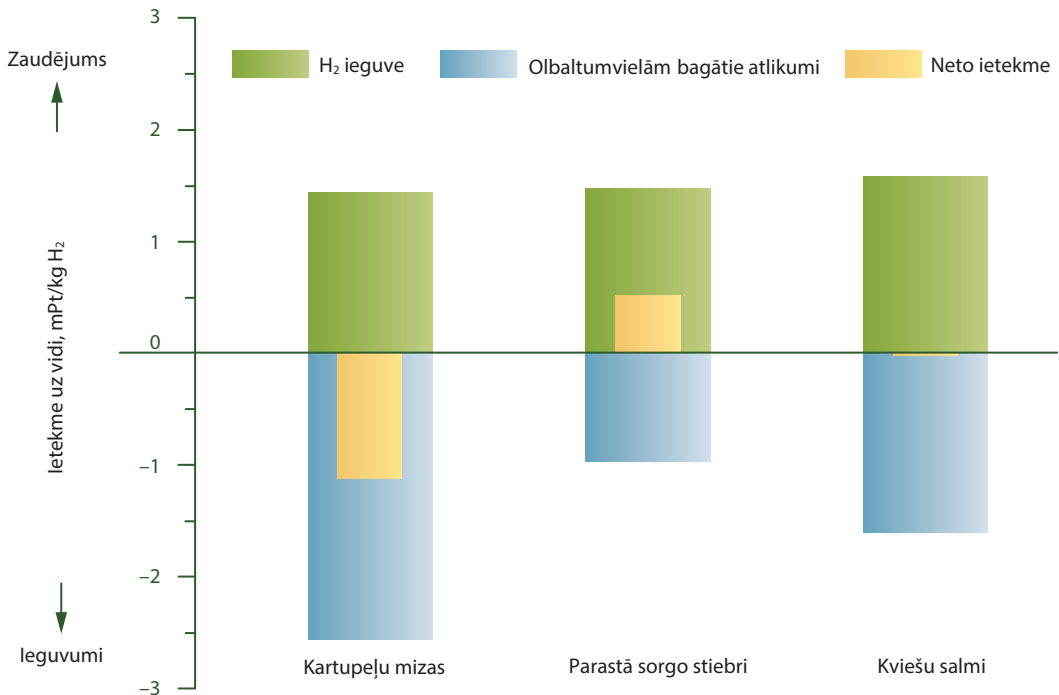
λ – ir tā daļa no kopējā ieguldītās enerģijas daudzuma, kas saistīta ar bioH₂. Ja blakusprodukts netiek ņemts vērā, tad $\lambda = 1$, bet, ja tiek ņemts vērā blakusprodukts, tad $\lambda < 1$.

Rezultāti un diskusija

Aplūkoto bioudeņraža ražošanas paņēmieni ietekme uz vidi

1.2. attēlā salīdzināta ietekme uz vidi, kādu rada H₂ ražošana fermentējot kartupeļu mizas, parastā sorgo stiebrus vai kviešu salmus. Ja netiek ņemti vērā radušies blakusprodukti, kopējā ietekme uz vidi kartupeļu mizu scenārijā ir 1,44 mPt/(kg H₂), 1,48 mPt/(kg H₂) parastā sorgo stiebru scenārijā un 1,58 mPt/(kg H₂) kviešu salmu scenārijā. Kartupeļu mizu scenārijā kopējais ietekmes uz vidi indikators ir nedaudz labāks, nekā izmantojot parastā sorgo stiebrus vai kviešu salmus; abos pēdējos scenārijos kopējā ietekme uz vidi bija ļoti līdzīga. Tomēr, ja blakusprodukti analizē tiek ņemti vērā, visu scenāriju ietekme uz vidi izteikti mainās, jo radušos blakusproduktu valorizācija ļauj būtiski samazināt visu trīs bioH₂ ražošanas paņēmieni ietekmi uz vidi. Atkarībā no izejvielas šis samazinājums svārstījās no 66 % līdz pat 178 %, bet ietekmes uz vidi neto indikators bija –1,12 mPt/(kg H₂) kartupeļu mizu scenārijā, 0,50 mPt/(kg H₂) parastā sorgo stiebru scenārijā un –0,03 mPt/(kg H₂) kviešu salmu scenārijā (sk. 1.2. attēlu).

1.2. att. No kartupeļu mizām, parastā sorgo stiebriem un kviešu salmiem ražota H₂ kopējās un neto ietekmes rezultātu salīdzinošā analīze.



1.2. attēlā zaļās krāsas stabini attēlo H_2 ražošanas radīto ietekmi (no izejvielu ieguves līdz gāzes saspiešanai un uzglabāšanai), zilie stabini ilustrē blakusproduktu valorizācijas doto ieguvumu, bet dzeltenie stabini norāda neto ietekmi. Ietekme ir izteikta milipunktos (mPt), un viens punkts apzīmē videi nodarītā kaitējuma apjomu. Atbilstoši *Impact 2002+* metodei viens milipunkts ir vienāds ar 0,0000071 DALY cilvēku veselības kategorijā, 13,7 PDF m^2 gadā ekosistēmas kvalitātes kategorijā, 9,95 kg/ CO_{2ekv} klimata pārmaiņu kategorijā un 152 MJ resursu patēriņa kategorijā.

Šie rezultāti arī mainīja izkārtojumu videi draudzīgāko izejvielu sarakstā. Pirmo vietu ieņēma kartupeļu mizas, bet parastā sorgo stiebrī noslidēja uz trešo vietu, jo satur mazāk olbaltumvielu, nekā kviešu salmi. Šie rezultāti liecina – izvēloties izejvielas bio H_2 ražošanai, papildus ogļhidrātu saturam jāņem vērā arī izejvielu olbaltumvielu saturs.

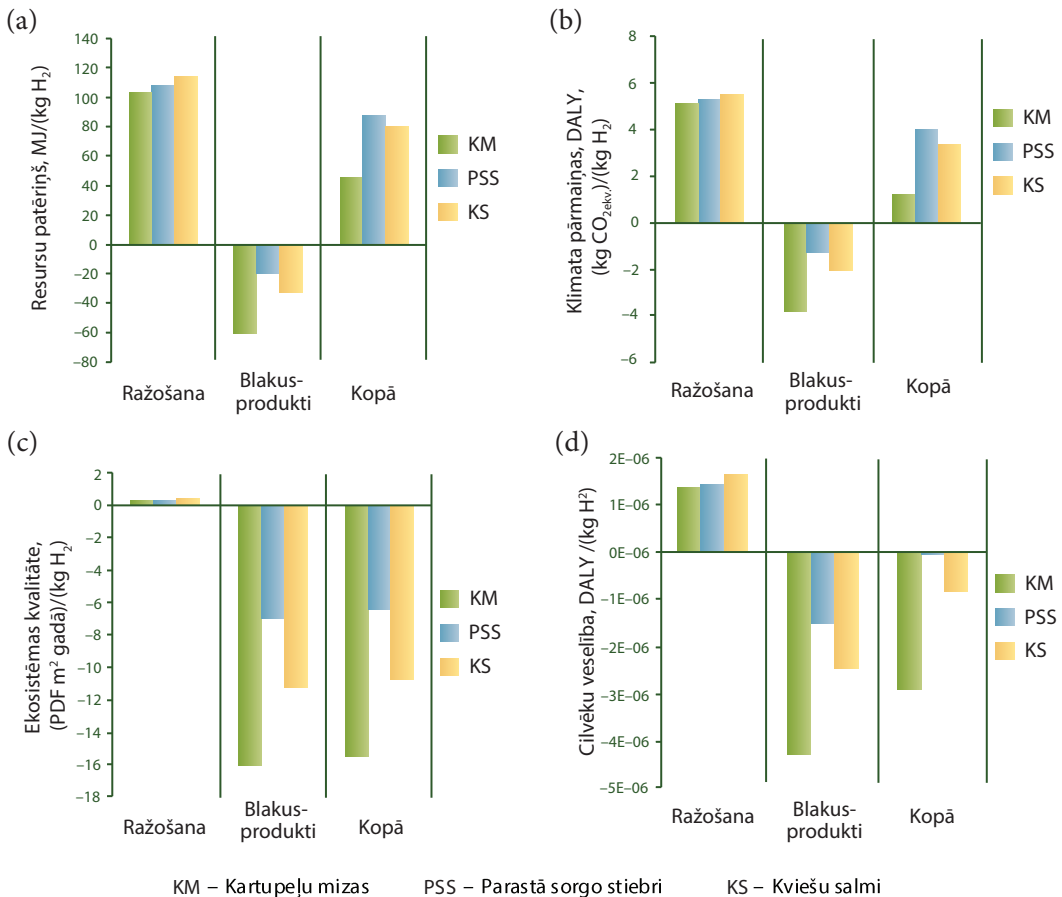
Resursu izsmelšana un klimata pārmaiņas ir tie faktori, kas galvenokārt ir veicinājuši bio H_2 ražošanas paņēmieni izpēti saistībā ar to ietekmi uz vidi. Ja netiek ņemti vērā radušies blakusprodukti, kopējais resursu patēriņš ir 105 MJ/(kg H_2) kartupeļu mizu scenārijā, 108 MJ/(kg H_2) parastā sorgo stiebru scenārijā un 113 MJ/(kg H_2) kviešu salmu scenārijā, bet SEG emisijas bija attiecīgi 5,18 (kg CO_{2ekv})/(kg H_2) kartupeļu mizu scenārijā, 5,32 CO_{2ekv} /(kg H_2) parastā sorgo stiebru scenārijā un 5,60 CO_{2ekv} /(kg H_2) kviešu salmu scenārijā. Bet, ja radušies blakusprodukti tiek ņemti vērā, patērēto resursu un SEG emisiju daudzums būtiski samazinājās. Tajā pašā laikā abās šajās zaudējumu kategorijās neto ietekme palika pozitīva. Patērēto resursu neto daudzums bija 45,70 MJ/(kg H_2) kartupeļu mizu scenārijā, 87,30 MJ/(kg H_2) parastā sorgo stiebru scenārijā un 79,09 MJ/(kg H_2) kviešu salmu scenārijā (sk. 1.3.a attēlu). SEG emisiju neto daudzums bija 1,28 (kg CO_{2ekv})/(kg H_2) kartupeļu mizu scenārijā, 4,05 (kg CO_{2ekv})/(kg H_2) parastā sorgo stiebru scenārijā un 3,48 (kg CO_{2ekv})/(kg H_2) kviešu salmu scenārijā (sk. 1.3.b attēlu). Vadošo vietu joprojām saglabā kartupeļu mizu izmantošanas scenārijs, bet patērēto resursu un klimata pārmaiņu kategorijās kviešu salmu scenārija rezultāti apsteidza parastā sorgo stiebru scenārija rezultātus.

Zaudējumu kategorijā “Ekosistēmas kvalitāte” un “Cilvēku veselība” rezultāti atšķiras no abām iepriekš aplūkotajām: ja tika ņemti vērā radušies blakusprodukti, neto ietekme uz ekosistēmas kvalitāti un cilvēku veselību vairumā gadījumu bija negatīva (tātad tika nodrošināts ieguvums videi). Neto ietekme uz ekosistēmas kvalitāti skaitļos: -15,50 (PDF m^2 gadā)/(kg H_2) kartupeļu mizu scenārijā, -6,49 (PDF m^2 gadā)/(kg H_2) parastā sorgo

stiebru scenārijā un $-10,80$ (PDF m^2 gadā)/(kg H_2) kviešu salmu scenārijā (sk. 1.3.c attēlu); bet neto ietekme uz cilvēku veselību bija attiecīgi: $-2,94 \cdot 10^{-6}$ DALY/(kg H_2); $-2,54 \cdot 10^{-8}$ DALY/(kg H_2) un $-8,3 \cdot 10^{-7}$ DALY/(kg H_2) (sk. 1.3.d attēlu). Arī šajās zaudējumu kategorijās kartupeļu mizu scenārijs ieņēma pirmo vietu, bet otro – kviešu salmu scenārijs, parastā sorgo stiebru izmantošanas scenārijs ieņēma pēdējo vietu.

1.3. att. Bio H_2 ražošanas paņēmieni kopējā ietekme uz vidi četrās zaudējumu kategorijās: resursu patēriņš (a), klimata pārmaiņas (b), ekosistēmas kvalitāte (c) un cilvēku veselība (d).

Šie rezultāti apliecina gan to, ka resursu izsmelšana un klimata pārmaiņas ir galvenās zaudējumu kategorijas no šīm izejvielām ražota H_2 aprites ciklā, gan to, ka kartupeļu mizu, parastā sorgo stiebru vai kviešu salmu izmantošana H_2 ražošanā dod ieguldījumu vides aizsardzībā, jo ražošanas procesā radušos blakusproduktus var izmantot lopbarības ražošanā, tādējādi izvairoties no šo produktu speciālas ražošanas.



ietekmes avoti

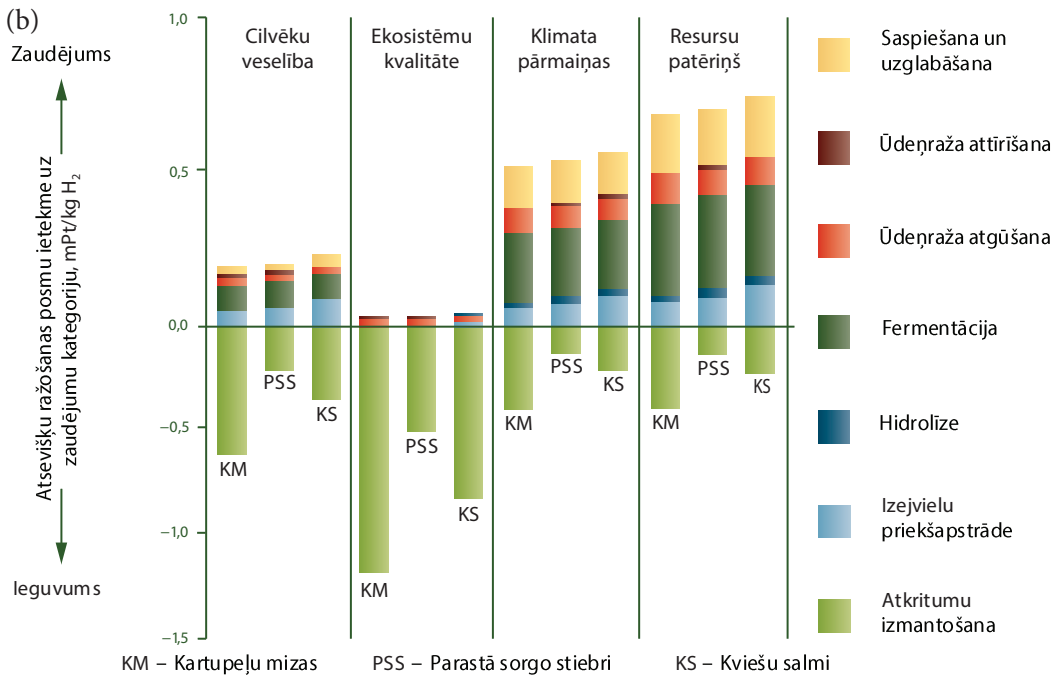
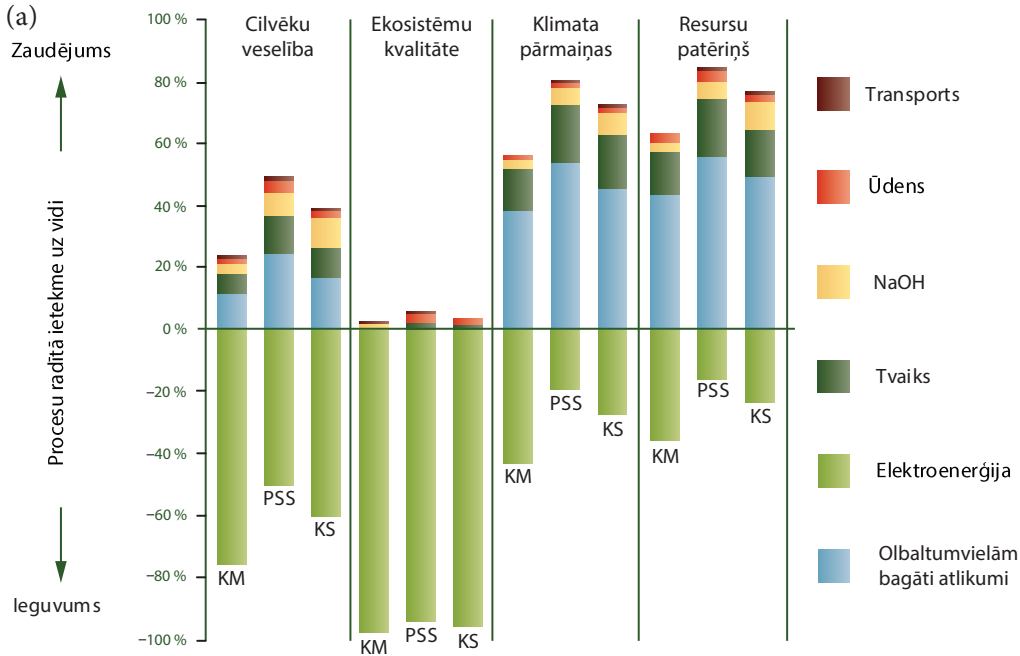
Trijās no četrām zaudējumu kategorijām elektroenerģijas patēriņš bija galvenais ietekmes avots un radīja vairāk nekā 64 % ietekmes zaudējumu kategorijā “Resursu patēriņš” un vairāk nekā 63 % ietekmes kategorijā “Klimata pārmaiņas” (sk. 1.4.a attēlu). Aplūkojot tuvāk, redzams, ka “Resursu patēriņa” kategorijā ietekmi lielākoties rada neatjaunojamo energoresursu, proti, dabasgāzes, patēriņš, kas atkarībā no izejvielas veido aptuveni 51–59 % no ietekmes šajā kategorijā. “Klimata pārmaiņu” kategorijā ietekmi rada CO₂ emisijas (apmēram 57–66 %), kas rodas, elektroenerģijas ražošanā izmantojot dabasgāzi. Ietekme uz cilvēku veselību rodas slāpekļa oksīdu (apmēram 24–26 %) un aromātisko oglekļa dioksīdu (apmēram 15–19 %) emisiju rezultātā. Arī šīs vielas rodas elektroenerģijas ieguves procesā.

Redzams, ka elektroenerģijas patēriņš šajā pētījumā aplūkoto bioH₂ ražošanas paņēmieni ietvaros ir līdzīgs (sk. 1.4.a attēlu), kas liecina, ka ietekmes uz vidi indikatorus var uzlabot, pievēršoties citiem elektroenerģijas avotiem vai samazinot bioH₂ ražošanā patērētās elektroenerģijas daudzumu.

Tvaika/siltuma patēriņš radīja otru lielāko ietekmi uz vidi jeb vienu trešo daļu no elektroenerģijas patēriņa radītās ietekmes resursu patēriņa un klimata pārmaiņu zaudējumu kategorijā. Attiecībā uz cilvēku veselībai nodarīto kaitējumu katrā no bioH₂ ražošanas scenārijiem tvaika/siltuma patēriņa ietekme bija puse no elektroenerģijas ietekmes. Līdzīgi elektroenerģijas patēriņam galvenie neatjaunojamie energoresursi, kas veicina resursu izsmelšanu, bija dabasgāze (19 %), bet klimata pārmaiņas visvairāk veicina CO₂ emisijas (23 %). Ķīmikāliju (NaOH) izmantošana rada trešo lielāko ietekmi uz vidi (5–12 %) abās galvenajās zaudējumu kategorijās, proti, resursu patēriņa un klimata pārmaiņu kategorijās. Arī ūdens patēriņš ir vērā ņemams un rada aptuveni 3 % no ietekmes uz vidi. Ar transportu saistītie pasākumi visos bioūdeņraža ieguves scenārijos veido maznozīmīgu ietekmi uz vidi, kas nav pat 1 % no kopējās ietekmes uz vidi. Olbaltumvielām bagātu atlikumu valorizācija būtiski samazināja ietekmi visās četrās zaudējumu kategorijās, kas redzams arī 1.4.a attēlā.

Atsevišķu bioūdeņraža ieguves posmu ietekme uz vidi

Lai labāk izprastu gūtos rezultātus, kopējā ietekme uz vidi tika sadalīta sīkāk. Katras izejvielas scenārija H₂ ražošanas ķēdes posmu atsevišķā ietekme redzama 1.4.b attēlā, kur skaidri redzams, ka fermentācijai ir būtiska nozīme no šīm izejvielām ražotā ūdeņraža aprites ciklā, jo tā veido 41–43 % no pozitīvās ietekmes jeb



1.4. att. Procesu (a) un aprites cikla posmu (b) radītā ietekme uz vidi pētījumā aplūkotajos bioH₂ ražošanas scenārijos. Ietekme ir izteikta procentuāli (a) un punktos (b), un viens punkts apzīmē videi nodarītā kaitējuma apjomu. Atbilstoši *Impact 2002+* metodei viens punkts ir vienāds ar 0,0071 DALY cilvēku veselības kategorijā, 13 700 PDF m² gadā ekosistēmas kvalitātes kategorijā, 9950 kg/CO_{2ekv.} klimata pārmaiņu kategorijā un 152 000 MJ resursu patēriņa kategorijā.

zaudējumiem resursu kategorijā un 42–44 % no pozitīvās ietekmes klimata pārmaiņu kategorijā. Tas skaidrojams ar to, ka bioreaktori patērē lielu daudzumu elektroenerģijas un tvaika. Gāzes saspiešanas un uzglabāšanas posms rada otru lielāko ietekmi uz vidi jeb 25–26 % no ietekmes klimata pārmaiņu kategorijā un 26–28 % resursu patēriņa kategorijā. Trešo lielāko ietekmi uz vidi rada ūdenraža atgūšana, kaut arī tās radītā ietekme ir tikai puse no gāzes saspiešanas un uzglabāšanas posma radītās ietekmes. Atkarībā no izejvielu veida to priekšapstrādes posms rada 11–17 % no ietekmes klimata pārmaiņu kategorijā un 12–18 % no ietekmes resursu patēriņa kategorijā. Hidrolīzes posms rada ļoti mazu ietekmi (3 %) abās aplūkotajās zaudējumu kategorijās, bet gāzes attīrīšanas posma ietekme visās kategorijās ir vismazākā (nesasniedz pat 0,5 %) (sk. 1.4.b attēlu). Visos scenārijos atkritumu izmantošanas rezultāts ir negatīvs, jo radušos olbaltumvielu atlikumu izmantošana līdzsvaro emisijas, kas rastos, ja tiktu ražota graudu kukurūza un sojas milti.

Energobalance

No kartupeļu mizām, parastā sorgo stiebriem vai kviešu salmiem ražota H_2 energobilances (attiecība starp saražoto enerģiju un pievadīto enerģiju) indikators, gan ņemot vērā radušos blakusproduktus, gan neņemot tos vērā, ir attēlota 1.5. tabulā. Ja radušies blakusprodukti, proti, olbaltumvielu atliekas, netiek ņemtas vērā, energobalance ir 1,08 kviešu salmu scenārijā; 1,14 parastā sorgo stiebru scenārijā un 1,17 kartupeļu mizu scenārijā. Tas nozīmē, ka uz katru enerģijas vienību, kas tika izmantota, lai lauksaimniecības atlikumu vai lauksaimnieciskās ražošanas atkritumu fermentācijas procesā saražotu H_2 , tika iegūts par 8–17 % vairāk enerģijas. Augstāks energobilances indikators nozīmē zemākas oglekļa dioksīda neto emisijas tāpēc nelielais neto pieaugums liecina, ka $bioH_2$ ražošanas paņēmieni tikai nedaudz ietekmē SEG emisijas.

Salīdzinot visu trīs $bioH_2$ ražošanas paņēmieni energoefektivitātes koeficientus (*ER*), redzams, ka vislabākos rezultātus uzrāda kartupeļu mizu izmantošanas scenārijs, kaut gan jānorāda, ka visu trīs scenāriju rezultāti ir ļoti līdzīgi, kā redzams 1.5. tabulā. Līdz ar to kartupeļu mizu, parastā sorgo stiebru vai kviešu salmu pārmaiņus izmantošana H_2 ražošanā energobilanci ne īsti uzlabotu, ne pasliktinātu.

Ja radušies blakusprodukti – olbaltumvielām bagātas atliekas – tiek ņemti vērā, iegūtās enerģijas daudzums pieaug par 23–128 % (sk. 1.5. tabulu). Kartupeļu mizu scenārijs joprojām saglabā līderpozīcijas, bet parastā sorgo stiebru scenārijs piekāpās kviešu salmu

izmantošanas scenārijam. Tas nav pārsteidzoši, jo jāņem vērā, ka parastā sorgo stiebrus ir mazāk olbaltumvielu, nekā kviešu salmos un kartupeļu mizās. To ņemot vērā, kartupeļu mizu vietā izmantojot kviešu salmus, *ER* samazinātos par 42 %, bet, izmantojot parastā sorgo stiebrus, *ER* samazinātos par 48 %.

1.5. tabula

Bioūdeņraža ieguves energobalance

Process	Izejviela		
	<i>Kviešu salmi</i>	<i>Kartupeļu mizas</i>	<i>Parastā sorgo stiebrī</i>
<i>Procesa posms, MJ/(kg H₂)</i>			
Priekšapstrāde	19,91	11,67	14,56
Hidrolīze	4,13	4,13	4,13
Fermentācija	45,14	45,14	45,14
H ₂ atgūšana	15,35	15,35	15,35
H ₂ attīrīšana	0,18	0,18	0,18
Gāzes saspiešana un uzglabāšana	28,12	28,12	28,12
Olbaltumvielām bagātas atliekas	-33,74	-58,88	-20,22
Kopējā pievadītā enerģija, neņemot vērā blakusproduktus, MJ/(kg H ₂)	112,83	104,59	107,48
Kopējā pievadītā enerģija, ņemot vērā blakusproduktus, MJ/(kg H ₂)	79,09	45,71	87,26
Saražotais ūdeņradis, MJ/(kg H ₂)	122 ^a	122 ^a	122 ^a
Energobalances indikators (bez blakusprod.)	1,08	1,17	1,14
Energobalances indikators (ar blakusprod.)	1,54	2,67	1,40

^a Saražotās enerģijas daudzums ir noteikts, par pamatu ņemot ūdeņraža zemāko sadegšanas siltumu [122 MJ/(kg H₂)].

Viens no galvenajiem iemesliem pārejai uz ūdeņraža ekonomiku ir energoapgādes drošība. Šī pētījuma rezultāti pierāda – ja blakusproduktu valorizācija netiek ņemta vērā, aplūkotie bioH₂ ražošanas paņēmieni nodrošina par 8–17 % vairāk enerģijas, nekā tiek patērēts ūdeņraža ražošanas posmā. Ņemot vērā, ka bioH₂ ražošanas scenāriju energobalance ir lielāka par viens pat tad, ja blakusproduktu

izmantošana nav ņemta vērā, ūdeņraža ražošanas energobilances rezultāts laika gaitā tehnoloģijai attīstoties var uzlaboties vēl vairāk. Tāpēc, ja bioūdeņraža iegūvi izdotos komercializēt, tas ļautu samazināt sabiedrības atkarību no fosilajiem energoresursiem.

Salīdzinājums ar parasto dīzeļdegvielu un metāna pārveidošanu ar tvaiku

Aplūkoto sistēmu SEG emisijas tika salīdzinātas ar dīzeļdegvielu un metānu pārveidotu ar tvaiku (MTP-H₂) ieguves SEG emisijām. Dati par dīzeļdegvielas ražošanas procesā radītām SEG emisijām gūti no *Stichnothe* un *Azapagic* pētījuma [38]. Pētījuma ietvaros tika pieņemts, ka dīzeļdzinēja un H₂ dzinēja darbības efektivitāte ir vienāda. Rezultāti rāda – izmantojot bioH₂ kā alternatīvu dīzeļdegvielai, SEG emisijas būtiski samazinās. Iespējamais emisijas samazināšanās daudzums ir 52 % kviešu salmu scenārijā, 54 % parastā sorgo stiebru scenārijā un 56 % kartupeļu mizu scenārijā.

1.6. tabula

Siltumnīcefektu izraisošo gāzu emisijas un izvairīšanās no emisijām: bioH₂ salīdzinājumā ar parasto dīzeļdegvielu (PD) un parasto metānu pārveidotu ar tvaiku (MTP)

SEG emisijas	Degvielas ražošana <i>a</i> , (kg CO _{2ekv.})/kg	Degvielas izmantošana <i>b</i> , (kg CO _{2ekv.})/kg	Ekvivalenta koef. (Q _{a^dekv.) <i>c</i>}	Kopā, (kg CO _{2ekv.})/ (kg dīzeļdegv.); S = (<i>a</i> + <i>b</i>) <i>c</i>	SEG samaz., %; $\frac{S_{PD} - S_P}{S_{PD}} \cdot 100$
<i>Degvielas veids</i>					
PD (Q _{a^d} = 43,2 MJ/kg)	0,57	3,50 ^a	1	4,07	–
MTP-H ₂ (Q _{a^d} = 122 MJ/kg)	12,08	0	0,35	4,23	3,93
KM-H ₂ (Q _{a^d} = 122 MJ/kg)	5,18	0	0,35	1,81	55,53
PSS-H ₂ (Q _{a^d} = 122 MJ/kg)	5,32	0	0,35	1,86	54,30
KS-H ₂ (Q _{a^d} = 122 MJ/kg)	5,60	0	0,35	1,96	51,84

PD – parastā dīzeļdegviela; MTP-H₂ – metāna pārveidošanas ar tvaiku procesā iegūts ūdeņradis; KM-H₂ – ūdeņradis no kartupeļu mizām; PSS-H₂ – ūdeņradis no parastā sorgo stiebrēm; KS-H₂ – ūdeņradis no kviešu salmiem; Q_{a^d} – zemākais sadegšanas siltums; S_{PD} – dīzeļdegvielas ražošanas radītās SEG emisijas; S_P – SEG emisijas no H₂ ražošanas metodēm (MTP-H₂, KM-H₂, PSS-H₂, KS-H₂).

^a Pamatojoties uz iekšdedzes dzinēja pašreizējo efektivitāti.

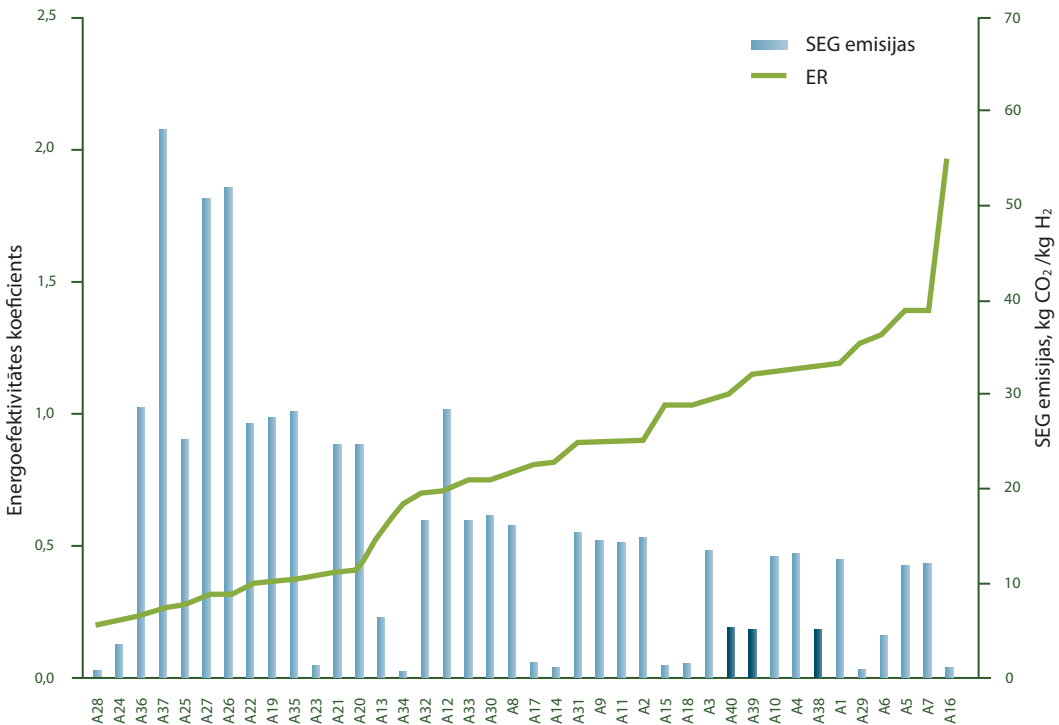
BioH₂ ražošanas sniegtais potenciālais SEG emisiju ietaupījums pieaug vēl vairāk, ja to salīdzina ar ūdeņraža iegūvi metāna pārveidošanas ar tvaiku procesā. Kā liecina šī pētījuma ietvaros veiktais “no akas līdz tvertnei” novērtējums, MTP-H₂ procesā rodas par 4 % vairāk SEG emisijas, nekā iegūstot parasto dīzeļdegvielu (sk. 1.6. tabulu). Lai arī bioūdeņraža pozīcijas šāds rezultāts uzlabo

vēl vairāk, rezultāti jāinterpretē ļoti rūpīgi, jo MTP-H₂ rezultāts “no akas līdz transportlīdzeklim” novērtējumā varētu būtiski pārsniegt parastās dīzeļdegvielas rezultātu. Tas būtu skaidrojams ar to, ka degvielas elementi uzrāda augstāku efektivitāti, nekā iekšdedzes dzinējs.

Salīdzinājums ar citiem H₂ ražošanas paņēmieniem

1.5. att. Ūdeņraža ieguves metožu ER un SEG emisiju salīdzinājums “no akas līdz tvertnei”. Stabiņi attēlo SEG emisiju daudzumu, bet līnija – ER. Kods no A₁ līdz A₄₀ (sk. 1.3. tabulu) apzīmē pētījumā analizētās H₂ ieguves metodes.

Pētījumā aplūkoti bioH₂ ražošanas paņēmieni tika salīdzināti arī ar citām ūdeņraža ieguves metodēm (sk. 1.3. tabulu). Salīdzinājuma ietvaros šeit pētītie bioH₂ ražošanas paņēmieni tika apzīmēti ar kodu: A₃₈ – kartupeļu mizu scenārijs, A₃₉ – parastā sorgo stiebru scenārijs un A₄₀ – kviešu salmu scenārijs. “No akas līdz tvertnei” novērtējumā H₂ ražošanas metodes, kuras uzrādījušas vislabāko efektivitāti un radījušas mazāko piesārņojumu, sarindotas pēc to ER (sk. 1.5. attēlu).



ER vērtība scenārijiem A₅ un A₇ (centralizēta MTP), kas ir efektīvākā metode H₂ ražošanai no fosilajiem energoresursiem un rada mazāko piesārņojumu, nepiesaistot oglekli, ir nedaudz augstāka nekā paņēmieniem A₃₈ (ER = 1,17), A₃₉ (ER = 1,14) un

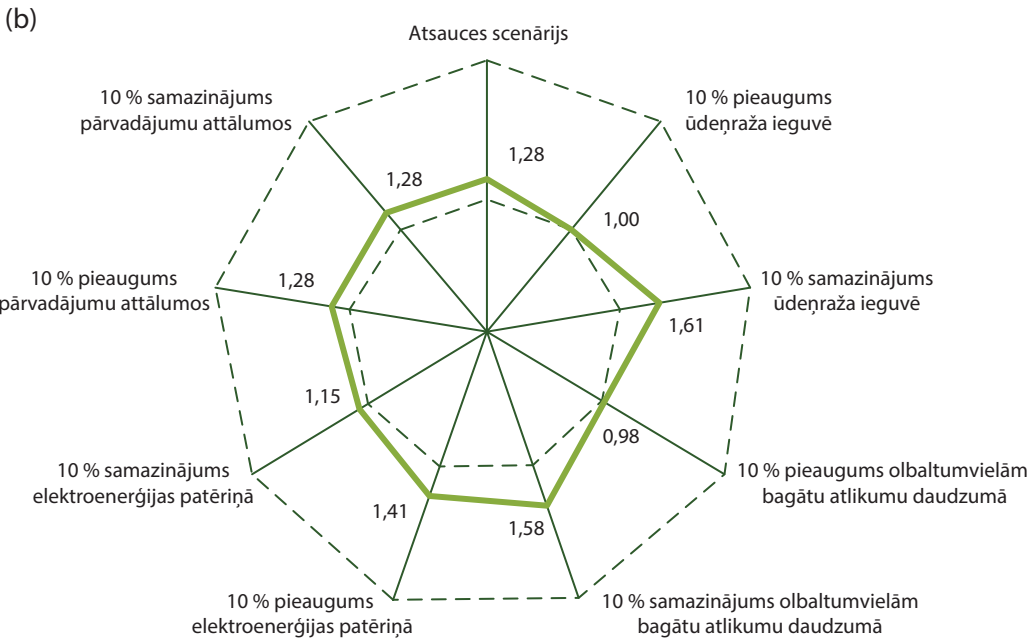
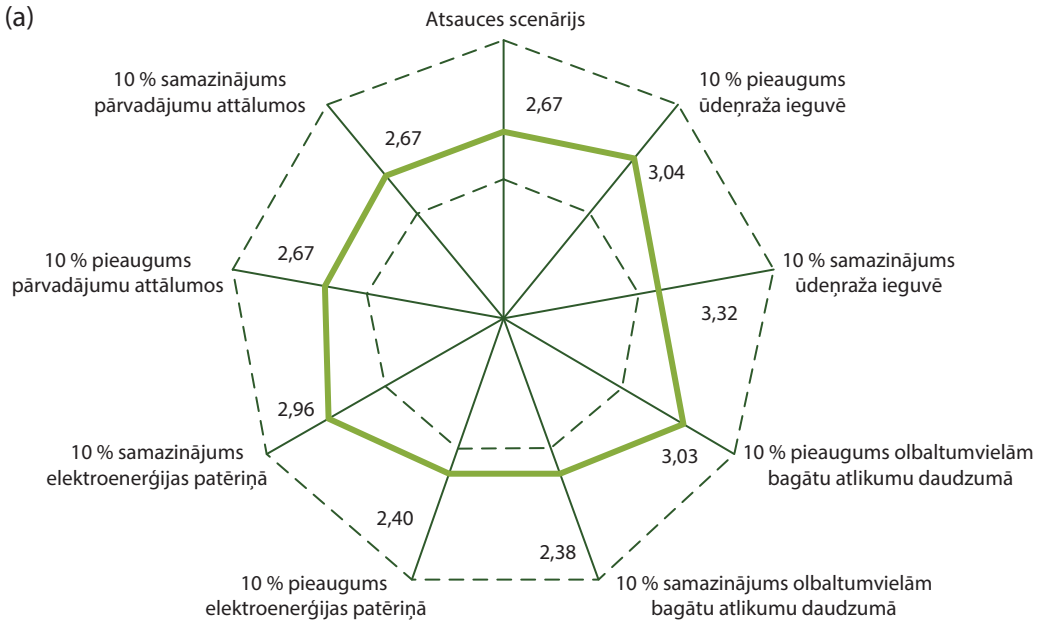
A₄₀ ($ER = 1,08$). Tomēr MTP-H₂ procesā rodas divas reizes vairāk SEG emisijas, nekā ražojot bioūdeņradi. Šobrīd MTP-H₂ procesā tiek iegūts aptuveni 48 % no pasaulē saražotā ūdeņraža [39]. Tā ir komerciāli izmantojama tehnoloģija, kas nākotnē diez vai piedzīvos būtiskus tehnoloģiskus uzlabojumus, tāpēc var pieņemt, ka šīs metodes ER paliks visai stabils. Turpretī bioūdeņraža ieguve ir jauna tehnoloģija, un šo procesu uzlabošana neapšaubāmi ļaus vēl vairāk samazināt enerģijas izmaksas un palielināt procesa ER .

Oglekli piesaistošo ūdeņraža ieguves veidu (A₆ un A₁₃) SEG emisijas bija līdzīgas bioH₂ ražošanas rezultātiem, bet vairumā gadījumu to ER bija zemāks, jo CO₂ piesaistīšanai ir nepieciešama papildu enerģija.

No atjaunojamiem energoresursiem saražotā ūdeņraža ieguves metodes, piemēram, izmantojot vēja enerģiju (A₂₉) vai koksnes atlikumu gazifikācija (A₁₆), bioH₂ ieguvi pārspēja gan attiecībā uz ER , gan SEG emisijām. Bet biomasas gazifikācijas scenāriji (A₁₄, A₁₅, A₁₇, A₁₈, un A₃₄), kā arī ūdeņraža ieguve ar elektrolīzi, kurā tiek izmantota bioenerģijas ražotnē iegūta elektroenerģija (A₂₃ un A₂₄), uzrādīja zemāku ER vērtību, nekā bioH₂ ieguves scenāriji, kaut arī vērtējot pēc SEG emisijām rezultāti ir pretēji. Metode, kurā ūdeņradi iegūst, izmantojot kodolenerģiju (A₂₈), uzrādīja zemākas SEG emisijas, bet tajā tiek patērēts liels daudzums neatjaunojamās enerģijas, par ko liecina zemā ER vērtība (tikai 0,20). Līdz ar to viena kilograma ūdeņraža ieguvei izmantojot kodolenerģiju ir nepieciešams apmēram piecas reizes vairāk enerģijas, nekā ražojot bioH₂. Kaut arī šajā tehnoloģijas attīstības posmā ir grūti noteikt “uzvarētāju”, 1.5. attēlā redzams, ka bioH₂ ieguves metodes ir starp ieteicamajiem ūdeņraža ražošanas paņēmieniem, pateicoties to augstajam ER un zemajām SEG emisijām.

Salīdzinājums ar citiem pētījumiem

Manish un *Banerjee* [8] ir veikuši dažādu bioūdeņraža ieguves sistēmu neto enerģijas analīzi. Vērtējot tikai sistēmu energobilanci un SEG emisijas un neietverot gāzes attīrīšanu, kā arī tās saspiešanu un uzglabāšanu, cukurniedru divpakāpju pārstrādes metodes rezultāts ir šāds: energobilances indikators 3,1 (kg CO₂)/(kg H₂) un SEG emisijas 3,4 (kg CO₂)/(kg H₂). Redzams, ka šī pētījuma rezultāti ar *Manish* un *Banerjee* [8] ziņotajiem ir līdzīgi. Jo, atmetot lielākās sistēmas atšķirības šī pētījuma ietvaros (proti, gāzes attīrīšanas, saspiešanas un uzglabāšanas posmu), ER ir 2,03 (kg CO₂)/(kg H₂), bet SEG emisijas – 3,04 (kg CO₂)/(kg H₂).



1.6. att. Ar ER (a) un SEG emisiju (b) saistīto galveno parametru un pieņēmumu jutīguma analīze. Nepārtrauktā līnija atspoguļo galveno parametru un pieņēmumu izmaiņas radītās svārstības ER un SEG emisijās.

Galveno parametru un pieņēmumu jutīguma analīze

Lai noteiktu, kādu ietekmi uz pētījuma rezultātiem (*ER* un *SEG* emisijas) atstāj izmaiņas galvenajos ievades parametros un pieņēmumos, tika veikta jutīguma analīze, lietojot elastības metodi (izmaiņas rezultātos pret izmaiņām datos). Vienkāršības labad un tāpēc, ka bioH₂ ražošanas paņēmieni sarakstā nenotika nekādas izmaiņas, ir atspoguļoti tikai kartupeļu mizu izmantošanas scenārija rezultāti.

1.6.a un 1.6.b attēlā redzams, ka *ER* un *SEG* emisiju indikatori visvairāk reaģē uz izmaiņām saražotā H₂ daudzumā, olbaltumvielu atlikumu daudzumā, kā arī elektroenerģijas patēriņā. Šiem lielumiem mainoties par 10 %, *ER* un *SEG* emisiju indikators vairumā gadījumu mainījās par vairāk nekā 11 %. Elastības indikators *ER* bija no 1,0 līdz 1,4, bet *SEG* emisijām – no 1 līdz 3. Tas nozīmē, ka kopumā bioH₂ ražošanas paņēmieni *ER* un *SEG* emisiju indikatori var būtiski mainīties, jo pieņemams elastības indikators būtu viens vai lielāks par vienu.

Izmaiņas pārvadājumu attālumos *ER* (sk. 1.6.a attēlu) un *SEG* emisijas (sk. 1.6.b attēlu) ietekmē mazāk. Tika veikta arī elektroenerģijas ieguves avotu jutīguma analīze. Pētījuma ietvaros tika pieņemts, ka visās trīs bioH₂ ieguves metodēs tika izmantota elektroenerģija, kas ražota no dabasgāzes. Bet pastāv iespēja, ka elektroenerģija tiek ražota, izmantojot citus avotus.

Lai novērtētu, kā elektroenerģijas ieguves avota maiņa ietekmē *ER* un *SEG* emisijas, jutīguma analīzes ietvaros tika pieņemts, ka visos trīs bioH₂ ražošanas scenārijos tiek izmantota dažādos Eiropas energoavotos saražotā elektroenerģija vai no atjaunojamiem resursiem iegūta elektroenerģija. Kā liecina rezultāti, ja elektroenerģijas avots tiek mainīts no dabasgāzes uz dažādos Eiropas energoavotos ražoto elektroenerģiju, *ER* un *SEG* emisiju rezultāts mainās maz. Savukārt ja no dabasgāzes ražota elektroenerģija tiek aizstāta ar hidroelektroenerģiju, visu trīs bioH₂ ražošanas metožu *ER* un *SEG* emisijas indikators mainās visai būtiski. Tomēr jau atkal nekādas izmaiņas bioH₂ ražošanas scenāriju sarakstā netika novērotas.

Pētījuma ierobežojumi

Ar šī pētījuma ietvaros veikto aprites cikla novērtējumu saistīti vairāki ierobežojumi. Tā kā aprites cikla novērtējums veikts tehnoloģijai, kas šobrīd nav pieejama komerciālai izmantošanai, pastāv iespēja, ka rezultāti var mainīties, ja tiek noskaidroti jauni dati. Te gan jānorāda, ka šajā pētījumā aprēķini tika veikti tikai tad, ja pilnīgi dati nebija pieejami, un autoru ieskatā veiktie aprēķini ir pamatoti. Neraugoties uz šiem ierobežojumiem, autori uzskata,

ka šajā pētījumā prezentētie aprites cikla novērtējuma rezultāti ir noderīgi, ciktāl tie ilustrē atšķirības starp dažādiem bioH₂ ražošanas scenārijiem.

Secinājumi

Salīdzinājumā ar dīzeļdegvielas un ūdeņraža ražošanu izmantojot fosilos energoresursus, bioH₂ ieguves ER un SEG emisijas uzrādīja labākus rezultātus. Līdz ar to plānojot un attīstot H₂ ekonomiku, būtu jāņem vērā arī bioūdeņraža ražošana kā efektīva un videi draudzīga nozare.

Ja blakusproduktu rašanās netiek ņemta vērā, aplūkoto bioH₂ ražošanas metožu ER un SEG emisiju rezultāts bija līdzīgs. Tātad izvēle starp kartupeļu mizu vai kviešu salmu izmantošanu ūdeņraža ieguvē ER un SEG emisijas neietekmētu. Bet, ja blakusprodukta rašanās tiek ņemta vērā, kviešu salmu izmantošana kartupeļu mizu vietā būtiski ietekmē ER un SEG emisijas. Līdz ar to radušos blakusproduktu daudzums ir svarīgs aspekts, kas jāņem vērā, izvēloties bioH₂ ražošanas izejvielu.

Izmantotā literatūra

- [1] EIA, 2010. Energy Information Administration (EIA), International energy outlook 2010 – highlights. Washington, DC, USA, 338 p.
- [2] IEA, 2009. International Energy Agency (IEA), CO₂ Emissions from Fuel Combustion: Highlights. Paris, France, 121 p.
- [3] Tan, K. T., Lee, K. T., Mohamed, A. R., 2008. Role of energy policy in renewable energy accomplishment: the case of second generation bioethanol. Energy policy 36, 3360–3365.
- [4] Rubin, E. S., Cooper, R. N., Frosch, R. A., 1992. Realistic mitigation options for global warming. Science 257, 148–266.
- [5] Johnston, B., Mayo, M. C., Khare, A., 2005. Hydrogen: the energy source for the 21st century. Technovation 25, 569–585.
- [6] Momirlan, M., Veziroglu, T. N., 2005. The properties of hydrogen as fuel tomorrow in sustainable energy system for a cleaner planet. International Journal of Hydrogen Energy 30, 795–802.
- [7] Das, D., Veziroglu, T. N., 2001. Hydrogen production by biological processes: a survey of literature. International Journal of Hydrogen Energy 26, 13–28.
- [8] Manish, S., Banerjee, R., 2008. Comparison of biohydrogen production processes. International Journal of Hydrogen Energy 33, 279–286.
- [9] IEA, 1998. International Energy Agency (IEA), Biomass energy: data, analysis and trends. Paris, France, 339 p.
- [10] Parikka, M., 2004. Global biomass fuel resources. Biomass & Bioenergy 27, 613–620.
- [11] Antonopoulou, G., Gavala, H. N., Skiadas, I. V., Angelopoulos, K., Lyberatos, G., 2008. Biofuel generation from sweet sorghum: fermentative hydrogen production and anaerobic digestion of the remaining biomass. Bioresource Technology 99, 110–119.

- [12] Benemann, J., 1996. Hydrogen biotechnology: progress and prospects. *Nature Biotechnology* 14, 1101–1103.
- [13] Claassen, P. A. M., van Lier, J. B., Lopez Contreras, A. M., van Niel, E. W. J., Sijtsma, L., Stams, A. J. M., de Vries, S. S., Weusthuis, R. A., 1999. Utilisation of biomass for the supply of energy carriers. *Applied Microbiology and Biotechnology* 52, 741–755.
- [14] Wang, J., Wan, W., 2009. Factors influencing fermentative hydrogen production: a review. *International Journal of Hydrogen Energy* 34, 789–811.
- [15] Das, D., Veziroglu, T. N., 2008. Advances in biological hydrogen production processes. *International Journal of Hydrogen Energy* 33, 6046–6057.
- [16] Nandi, R., Sengupta, S., 1998. Microbial production of hydrogen: an overview. *Critical Review Microbiology* 24, 61–84.
- [17] Kim, S., Dale, B. E., 2004. Global potential bioethanol production from wasted crops and crop residues. *Biomass & Bioenergy* 26, 361–375.
- [18] de Vrije, T., de Haas, G. G., Tan, G. B., Keijsers, E. R. P., Claassen, P. A. M., 2002. Pretreatment of *Miscanthus* for hydrogen production by *Thermotoga elfii*. *International Journal of Hydrogen* 27, 1381–1390.
- [19] Liu, R., Li, J., Shen, F., 2008. Refining bioethanol from stalk juice of sweet sorghum by immobilised yeast fermentation. *Renewable Energy* 33, 1130–1135.
- [20] Claassen, P. A. M., Budde, M. A. W., van Noorden, G. E., Hoekema, S., Hazewinkel, J. H. O., van Groenestijn, J. W., de Vrije, T., 2004. Biological hydrogen production from agro-food by products. In: *Total Food Proceedings: exploiting co-products, minimizing waste*. Norwich, United Kingdom, pp. 173–189.
- [21] Duncan, R. W., Males, J. R., Nelson, M. L., Martin, E. L., 1991. Corn and barley mixtures in finishing steer diets containing potato process residue. *Journal of Production Agriculture* 4, 426–432.
- [22] Billa, E., Koullas, D. P., Monties, B., Koutios, E. G., 1997. Structure and composition of sweet sorghum stalk components. *Industrial Crops and Products* 6, 297–302.
- [23] Van Groenestijn, J. W., Hazewinkel, J. H. O., Nienoord, M., Bussmann, P. J. T., 2002. Energy aspects of biological hydrogen production in high rate bioreactors operated in the thermophilic temperature range. *International Journal of Hydrogen Energy* 27, 1141–1147.
- [24] Claassen, P. A. M., de Vrije, T., 2006. Non-thermal production of pure hydrogen from biomass: hyvolution. *International Journal of Hydrogen Energy* 31, 1416–1423.
- [25] Claassen, P. A. M., van Groenestijn, J. W., Janssen, A. J. H., van Niel, E. W. J., Wijffels, R. H., 2000. Feasibility of biological hydrogen production from biomass for utilization in fuel cells. In: *Proceedings of the First World Conference on Biomass for Energy and Industry*, vol. II. Sevilla, Spain, pp. 1665–1667.
- [26] Modarresi, A., Wukovits, W., Friedl, A., 2010. Application of energy balances for evaluation of process configurations for biological hydrogen production. *Applied Thermal Engineering* 30, 70–76.
- [27] Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., 2003. Impact 2002+: a new life cycle impact assessment method. *International Journal of Life Cycle Assessment* 8, 324–330.
- [28] Pre, 2006. Simapro 7.1. LCA Software, Pre-consultants B. V., Plotterweg 12, 3821 BB *Amersfoort*. The Netherlands. Available at: <www.pre.nl>.

- [29] Jolliet, O., Saadé, M., Crettaz P., 2005. *Analyse du Cycle de Vie: Comprendre et réaliser un écobilan*. Collection Gérer l'Environnement, Presse Polytechniques et Universitaires Romandes. Lausanne, Switzerland, 242 p.
- [30] Searchinger, T., Heimlich, R., Houghlon, R. A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, J., Hayes, D., Yu, T. H., 2008. Use of US croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land use change. *Science* 319, 1238–1240.
- [31] Gabrielle, B., Gagnaire, N., 2008. Life cycle assessment of straw use in bio-ethanol production: a case study based on biophysical modelling. *Biomass and Bioenergy* 32, 431–441.
- [32] Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H. J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., Hischier, R., Hellweg, S., Humbert, S., Kollner, T., Loerincik, Y., Margni, M., Nemecek, T., 2007. Implementation of life cycle impact assessment methods. Ecoinvent report No. 3, V2.0, Swiss Centre for Life Cycle Inventory. Dübendorf, Switzerland.
- [33] Markowski, M., Urbaniec, K., Budek, A., Trafczynski, M., Wukovits, W., Friedl, A., Ljunggren, M., Zacchi, G., 2010. Estimation of energy demand of fermentation-based hydrogen production. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2010.02.027.
- [34] IES-JRC, 2008. Institute for Environment and Sustainability of the European Union Commission's Joint Research Centre, Well-to-Wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Power Trains in the European Context. Well-to-tank report, versions 3.0, Brussels, Belgium, 265 p.
- [35] Lywood, W., Pinkney, J., Cockerill, S., 2009. Impact of protein concentrate co-products on net land requirement for European biofuel production. *Global Change Biology Bioenergy* 1, 346–359.
- [36] Premier, 2008. Premier Atlas 2008. UK Cattle feed formulation results. Premier Nutrition Product Ltd. Available at: <<http://www.premiernutrition.co.uk/PremierAtlas.htm>>.
- [37] Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield J., Graboski M., Shapouri H., 1998. Life cycle inventory of biodiesel and petroleum diesel for use in an urban bus. Report, National Renewable Energy Laboratory (NREL), NREL/SR-580-24089. Golden, CO, USA, 314 p.
- [38] Stichnothe, H., Azapagic, A., 2009. Bioethanol from waste: life cycle estimation of greenhouse gas saving potential. *Resource Conservation and Recycling* 53, 624–630.
- [39] Dunn, S., 2002. Hydrogen futures: towards a sustainable energy system. *International Journal of Hydrogen Energy* 27, 235–264.
- [40] Scholz, V., Berg, W., Kaulfuss, P., 1998. Energy balance of solid biofuels. *Journal of Agricultural Engineering Research* 71, 263–272.

2. Fotosintēzes procesā iegūta bioūdeņraža aprites cikla novērtējums

Francesco Romagnoli, Dagnija Blumberga, Iluta Piļicka

Ņemot vērā sarūkošos fosilo energoresursu krājumus, vides piesārņojumu, klimata pārmaiņas un sabiedrības pieaugošo atkarību no naftas eksportētājvalstīm, pieprasījums pēc ilgtspējīgiem energoresursiem gūst aizvien lielāku nozīmi. Tāpēc alternatīvajai degvielai ir jāatbilst vairākiem kritērijiem, tostarp: CO₂ nulles emisijas, ilgtspējīga resursu izmantošana, piemērotība transporta nozarei un pieejama cena (līdzīga pašreizējai naftas cenai) [1]. Līdz ar to šādas tīras un efektīvas degvielas statusu var ieņemt ūdeņradis. Ūdeņraža bioloģiskās ražošanas (bioūdeņraža) nozarē ir vesela virkne paņēmieni ūdeņraža ražošanai, un viena no alternatīvajām un inovatīvajām metodēm ir saistīta ar fotosintezējošiem mikroorganismiem (piemēram, mikroaļģēm).

Laboratorijas apstākļos ūdeņraža bioloģiska ražošana ir ierasta prakse [2], [3], un tiek uzsākta bioūdeņraža ražošana komerciālā mērogā. Ņemot vērā prognozēto tempu, kādā ūdeņraža tehnoloģijas ienāk tirgū, un to, ka ūdeņraža bioloģiskās ražošanas ietekme uz vidi līdz šim nav zinātniski pierādīta, ir jāveic novērtējums ūdeņraža bioloģiskās ražošanas sistēmu un tehnoloģiju aprites cikla ietekmei uz vidi [4].

Pētījuma mērķis

Šis pētījums piedāvā kvantitatīvo aprites cikla novērtējumu (ACN), lai izvērtētu, kādu ietekmi uz vidi atstāj ūdeņraža fotobioloģiskās ražošanas komercializācija [5], [6]. ACN ir atzīts kā piemērots rīks, lai ar uzskaites un vienkāršota ietekmes novērtējuma paņēmieniem gūtu informāciju par ūdeņraža fotobioloģiskās ražošanas sistēmas ietekmi uz vidi.

Raksta pirmajā daļā ir atainota ūdeņraža ražošana un salīdzinātas tās izmaksas, galvenā daļa ir veltīta ACN metodes aprakstam un skaidrojuma, kāpēc šai jaunajai ūdeņraža ražošanas metodei būtu jāveic ACN. Noslēgumā ir apkopoti priekšnoteikumi ietekmes uz vidi novērtējumam.

Šis raksts ir pirmais mēģinājums izstrādāt zinātnisku, uz lēmumiem balstītu, sistēmisku pieeju ekonomiski pieejamas bioūdeņraža ražošanas novērtējumam un identificēšanai, pamatojoties uz virkni ilgtspējības indikatoru (pieejamība, piekļuve un pieņemamība).

Ūdeņraža fotobioloģiska ražošana

Trīs galvenie dabā atrodamie ūdeņraža fotobioloģiskas ražošanas procesi ir: i) ūdeņraža ražošana skābekļa fotosintēzes procesā, izmantojot hidroģenēzes enzīmu (mikroorganisms: zaļāļģes un zilaļģes); ii) ūdeņraža ražošana skābekļa fotosintēzes procesā, izmantojot nitroģenēzes enzīmu (mikroorganisms: zilaļģes); iii) ūdeņraža ražošana bezskābekļa fotosintēzes procesā, izmantojot nitroģenēzes katalizētu enzīmu [7].

Zaļāļģu spēja fotosintēzes ceļā ģenerēt molekulāro ūdeņradi ir zināma jau sen, līdz ar problēmu, kas saistīta ar to, ka skābeklis pozitīvi ierobežo hidroģenēzes gēnu ekspresiju un ir [Fe]-hidroģenēzes inhibitors [8]. Ir secināts, ka sēra mikroelementu trūkums zaļāļģēs var būt sākuma punkts fotobioudeņraža ražošanai komerciālā mērogā [8].

Kā norādīts *Ruprehta* darbā [1], aļģu saražotais ūdeņradis ir tīra degviela un, tam sadegot, rodas vien ūdens; turklāt tam ir ārkārtīgi augsts pārveidošanas lietderības koeficients (60–70 %), līdz ar to ūdeņradis ir piemērots izmantošanai degvielas elementos.

Lai bioūdeņradis varētu ienākt tirgū un konkurēt ar fosilajām degvielām, ir jāuzlabo tā ražošanas efektivitāte, proti, lai ūdeņraža ražošana būtu komerciāli izdevīga, tās efektivitātei jābūt 7 %.

Lielākie trūkumi mikroaļģu ražotai biodegvielai, kuri ietekmē arī ražošanas procesa ACN, ir šādi:

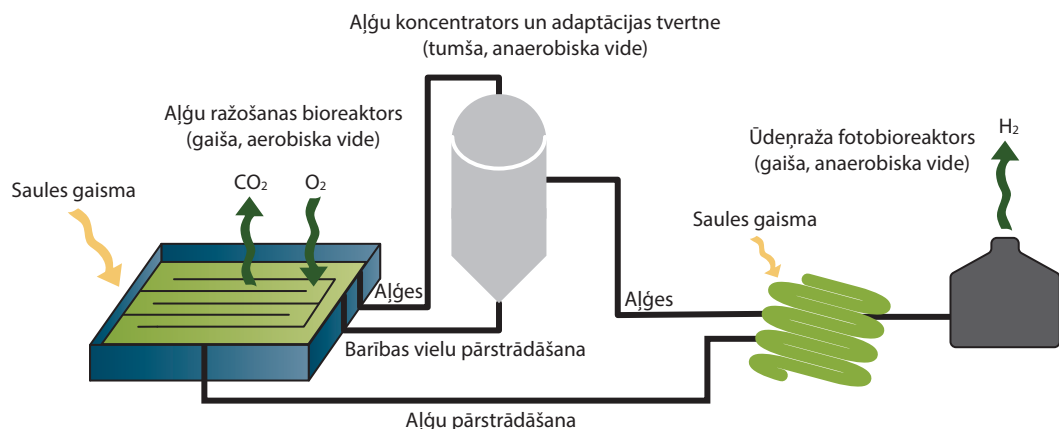
- maza pieredze lielu, slēgtu fotobioreaktoru izstrādē,
- lielas materiālu izmaksas īpaši efektīvām slēgtu bioreaktoru sistēmām,
- nav infrastruktūras un pārbaudītas ražošanas prakses,
- mikroaļģu audzēšanai nepieciešams ļoti daudz enerģijas,
- dārga ieguve.

Turklāt atsevišķi nepieciešamās tehnoloģijas aspekti vēl nav noteikti, kas savukārt prototipa izstrādes izmaksas tikai palielina.

Divpakāpju bioreaktors: bioūdeņraža cikliskās ražošanas process

ASV Nacionālās Atjaunojamās enerģijas laboratorijas un Kalifornijas universitātes Bērklījā zinātnieki ir izstrādājuši ūdeņraža cikliskās ražošanas procesu, izmantojot *Chlamydomonas*

reinhardtii aļģes [5], [6]. *C. reinhardtii* šūnas tiek audzētas vidē ar zemu sēra saturu reaktora tvertnē, kurai piekļūst gaissma un kurā aļģes var apmaisīt. Pēc tam aļģes nonāk anaerobiskā vidē citā apmaisāmā tvertnē (sk. 2.1. attēlu).



Sēra trūkums aizkavē fotosintēzes pirmo posmu, un līdz ar to hidroģenēzes enzīmam ir divi elektroni, ko izmantot ūdeņraža ražošanai. Pirms ūdeņradis izplūst no sistēmas, tas tiek attīrīts mainīga spiediena absorbcijas iekārtā [5]. Bet aļģu šūnas, kuras palikušas otrajā apmaisāmajā tvertnē vidē ar zemu sēra saturu, drīz vien izjūt citas sēra trūkuma radītas sekas, un ūdeņraža ražošanas apjoms samazinās. Lai novērstu šo ražošanas apjoma kritumu, tvertne ir jāiztīra no šūnām, kuras var atkal izmantot ražošanas ciklā, kad tās ir reģenerējušās sēra un gaismas ietekmē. Lai izvairītos no tāda materiāla uzkrāšanās, kuru aļģu šūnas nevar izmantot, daļa to ir pilnībā jāizņem no ražošanas cikla [5].

Šai aprakstītajai aļģu ražota ūdeņraža ieguves ideālajai sistēmai būtu jāatbilst vairākiem kritērijiem, sākot no šūnu utilizācijas līdz pat prasībām par reaktora materiāliem [8].

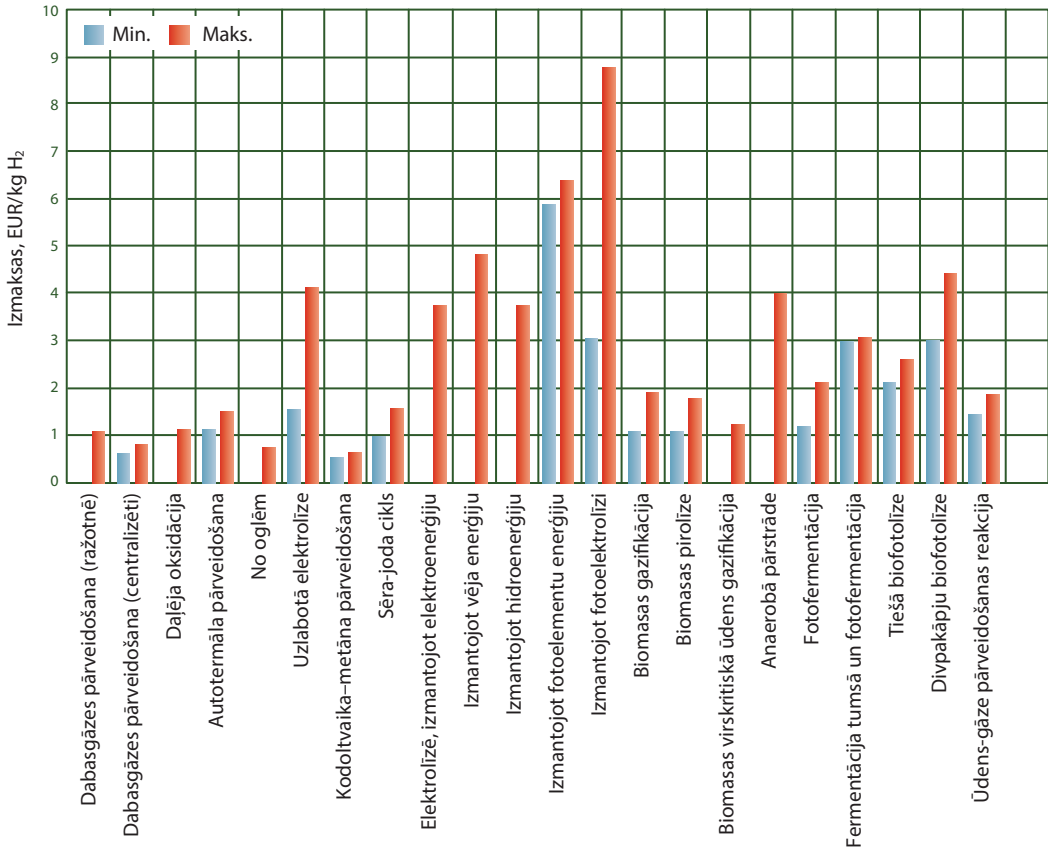
Ūdeņraža izmaksu salīdzinājums

Lai izprastu šīs inovatīvās ražotnes komercializācijas ekonomisko pamatojumu, ir veikta ūdeņraža ražošanas izmaksu salīdzinošā analīze.

2.2. attēlā redzams, ka fotobioloģiskā ūdeņraža ieguves cena daudz neatpaliek no ūdeņraža, kas iegūts, izmantojot fosilās degvielas (galvenokārt dabasgāzi). Patiesībā šobrīd vairāk nekā 96 % no pasaulē saražotā ūdeņraža tiek iegūts, izmantojot fosilos resursus

2.1. att. Ūdeņraža fotobioloģiskas ražošanas princips [6].

[10], [11]. Šo grafiku var izmantot arī fotosintēzes procesā ražota ūdeņraža salīdzinošai vērtēšanai.



2.2. att. Ūdeņraža izmaksu salīdzinājums EUR/(kg H₂) [9].

Fotobioloģiskā ūdeņraža izmaksu progress

2.1. tabulā atspoguļotas izmaksas, kas saistītas ar ūdeņraža fotobioloģiskās ražošanas jaunākajām tehnoloģijām. Paredzamās izmaksas ūdeņraža ražošanai iepriekš aprakstītajos fotobioloģiskajos procesos ir salīdzināmas ar paredzamajām izmaksām bioloģiskā ūdeņraža divpakāpju ražošanai biomassas atlikumu fermentācijas procesā.

Amoss un citi autoru pētījumā [5] piedāvātā izmaksu analīze rāda, ka reaktora materiālu izmaksas svārstās no dažiem centiem līdz pat 75 euro un vairāk par m² atkarībā no izmantotā materiāla. Kapitāla izmaksu uzrādītā investīciju vērtība 300 kg/d autonomai sistēmai (dīķis – 110 000 m², šūnu koncentrācija – 0,2 g/L, mutanti

ar saīsinātām antenām, diĶa dziļums – 10 cm, biorekatora izmaksas – 7,1 EUR/m²) ir 3 700 000 euro [5]. Attiecībā uz izmaksu sadalījumu komercializācijas laikā *Meliss* un citi autori [8] ir nācis klajā ar šādiem modulāras vienības rezultātiem: materiāli fotobioreaktoram – 45 %, minerālelementi – 39 %, darbaspēks – 4 %, ūdens apgāde – 4 %, zemes noma – 2 %, elektroenerģija – 1 %, pārējie izdevumi – 5 %. Šis izmaksu sadalījums būtu jāsaista ar ACN ietvaros veikto vides novērtējumu, lai izvērtētu katras atsevišķās vienības izmaksu ietekmi (zaudējumu kategoriju ziņā) un lai analizētu tās atjaunojamo resursu kontekstā. Šis analīzes veikšanu apgrūtina datu vākšana (komerciālu datu kvalitāte) un datu pieejamība tehniskajā literatūrā (rezultāti tiek atspoguļoti dažādās mērvienībās un reizēm ir sarežģīti tos pārvērst unikālā salīdzināmā mērvienībā).

2.1. tabula

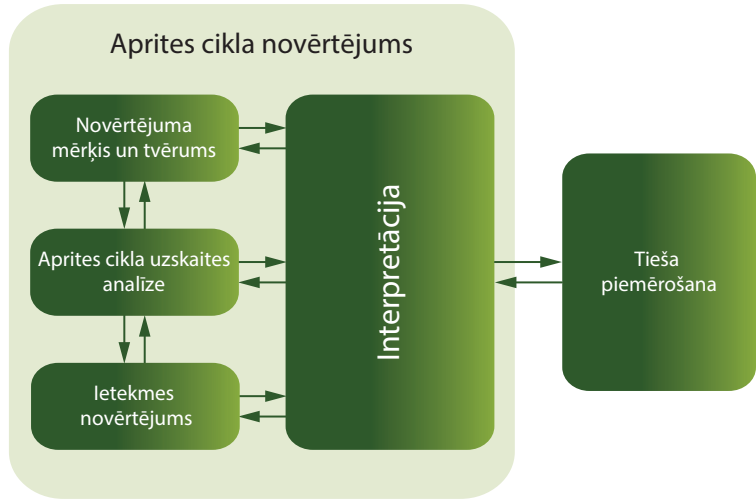
Fotobioloģiskā ūdenraža izmaksas

Atsauce	<i>Benemann</i> [12]	<i>Tredici</i> [13]	<i>IGV Institute</i> [14]	<i>Amos</i> [15]
Kultivējamās teritorijas platība, ha	200	>100	1,2	11
Ražotnes jauda, kg H ₂ dienā	23 520	–	–	300
Saules gaismas efektivitāte, %	–	10	7	–
Izmaksas, EUR/GJ	80	75	–	35
Tehnoloģija	Netiešā mikroaļģu biofotolīze	Vienpakāpes aļģu vai zilaļģu biofotolīze	Ūdenraža cikliska fotobioloģiskā ražošana	Ūdenraža cikliska fotobioloģiska ražošana
Bioreaktors	–	Horizontāls cauruļveida reaktors	Slēgts cauruļveida bioreaktors	Divpakāpju bioreaktors

Aprites cikla novērtējuma metodoloģija

Aprites cikla novērtējums ir ķēdes analīzes veids, kurā ekonomiskās sistēmas strukturālie elementi tiek izskaidroti un skatīti saistībā ar vides problēmām. ACN galvenais nolūks ir kvantitatīvi izteikt produkta iespējamo ietekmi uz vidi visā tā aprites ciklā.

ISO 14040-44 standarts nosaka četrus ACN pētījuma posmus, kuri shematiski attēloti 2.3. attēlā un īsi aprakstīti šajā sadaļā.



2.3. att. Aprite cikla novērtējuma posmi [15].

Novērtējuma mērķis un tvērums, kā arī sasniedzamie ACN mērķi un pētāmā procesa sistēmas robeža ir jānosaka skaidri. Pēc tam ir jāveic aprite cikla uzskaites (ACU) analīze, kas ietver produkta sistēmas nepieciešamo izejmateriālu un energoresursu bilanci un kuras mērķis ir videi būtisko vielu identifikācija un kvantitatīva novērtēšana.

Pēdējie divi posmi ir aprite cikla ietekmes uz vidi novērtējums (uzskaites rezultāti tiek apstrādāti un interpretēti saistībā ar ietekmi uz vidi un sabiedrības preferencēm) un noslēguma interpretācija (tiek atklāti visos ACN posmos iegūtie rezultāti) [16], [17].

Atbilstoši standarta ISO 14042 prasībām ietekmes kategorijas, uz kurām var attiecināt arī aprite cikla uzskaites rezultātus, atspoguļo būtiskus draudus videi.

Ūdeņraža fotobioloģiskas ražošanas ražotnes ACN mērķus var iedalīt trīs grupās:

- noteikt un novērtēt ar fotosintēzes procesa tehnoloģijām, jo īpaši divpakāpju bioreaktorā iegūtā bioūdeņraža ražošanas aprite cikla ietekmi uz vidi un cilvēku veselību visā produkta piegādes ķēdē;
- noteikt tos procesus bioūdeņraža ražošanā fotosintēzes ceļā, kam ir vislielākā ietekme uz vidi;
- sniegt vērtīgus datus par fotosintēzes ceļā ražotā ūdeņraža ietekmi uz vidi, lai tos varētu izmantot, analizējot pāreju uz ūdeņraža saimniecisku izmantošanu.

Kā minēts iepriekš, lai veiktu ACN, nepieciešams ievākt informāciju, kuru izmantot aprite cikla uzskaitē.

Ņemot vērā ūdeņraža ražošanas nerūpniecisko pakāpi, ir grūti atrast kādu jau esošu datubāzi, kura būtu saistīta ar bioūdeņraža ražošanu. Tomēr zinātniskajā literatūrā ir iespējams atrast, iespējams, piemērotākos ekoindikatorus, kurus var izmantot, lai uzraudzītu ūdeņraža fotobioloģiskās ražošanas eksperimentālos procesus.

Lai labāk izprastu ražošanas procesu un galvenos ekoindikatorus, var noderēt *Akermana* raksts [8] (galvenokārt saistībā ar saules starojumu, saules gaismas pārvēršanas efektivitāti, fotoķīmisko efektivitāti, starojumu un fotobioreaktoram raksturīgām iezīmēm). Labu informatīvo vietni piedāvā arī Djūka universitāte (<https://www.chlamycollection.org/>) – šajā vietnē ir bagātīga informācija par zaļajās *Chlamydomonas*, sauktas arī par *ChlamyDB*, pētījumiem, un iespēja piekļūt plašai mikroaļģu celmu datubāzei [1].

Novērstā ietekme uz vidi

Daudzas no ūdeņraža izmantošanas iespējām dabā ir ilglaicīgas, un nākotnē būs atkarīgas no tehnoloģiskajiem sasniegumiem ūdeņraža ieguvē, uzglabāšanā un transportēšanā.

Ūdeņradi (un līdz ar to arī bioloģisko ūdeņradi) var arī sadedzināt tradicionālā veidā krāsnī vai apkures katlā dabasgāzes vai citu fosilo kurināmo vietā, lai iegūtu elektroenerģiju; turklāt, sadegot ūdeņradim, rodas vien ūdens tvaiks nevis atmosfēras piesārņotāji uz oglekļa bāzes.

Šajā sadaļā sniegti sākotnējie aprēķini, kas palīdzēs izprast novērsto ietekmi uz vidi (attiecībā uz novērstām CO₂ emisijām) teorētiskā elektrostacijā, kur elektroenerģijas ražošanai tiek izmantots bioūdeņradis nevis trīs fosilie resursi.

2.2. tabula

Bioudeņraža ražošanas metodes

Nr.	Bioloģiskie ūdeņraža ieguves procesi	Organisms vai biomasa
1	Ūdeņraža cikliska fotobioloģiska ražošana, izmantojot <i>Chlamydomonas reinhardtii</i> ar samazinātu sēra saturu	<i>C. reinhardtii</i>
2	H ₂ ražošana skābekļa fotosintēzes procesā zaļajās, izmantojot hidroģenēzes enzīmu	<i>C. reinhardtii</i>
3	H ₂ ražošana skābekļa fotosintēzes procesā zilajās, izmantojot nitroģenēzes enzīmu	<i>Anabaena variabilis</i>
4	H ₂ ražošana bezskābekļa fotosintēzes procesā zilajās, izmantojot nitroģenēzes katalizētu enzīmu	Cyanobacteria
5	Netiešā mikroaļģu biofotolīze	<i>C. reinhardtii</i>
6	Fermentācija (divpakāpju bioreaktors)	Kartupeļu mizas

Ņemot vērā vairākas teorētiskas metodes bioūdeņraža ieguvei fotobioloģiskā un fermentācijas ceļā (sk. 2.2. tabulu), ir salīdzināta ūdeņraža produktivitāte (sk. 2.5. tabulu).

Ieguvumi, ko apkārtējā vide gūst no elektroenerģijas ražošanas, izmantojot bioūdeņradi pretstatā kurināmajiem, kuriem pamatā ir ogleklis (dabsgāze, mazuts, ogles), ir novērtēti un salīdzināti, ņemot vērā elektroenerģijas ražošanas laikā emitētā ūdeņraža dioksīda relatīvo daudzumu (skatīt 2.5. tabulu).

Saistībā ar ACN rezultātiem ir jāņem vērā arī elektroenerģijas ražošanai nepieciešamā kurināmā ražošanas procesa efektivitāte. Patiesībā fotosintēzes ceļā iegūta ūdeņraža fotobioloģiskās ražošanas efektivitāte ir starp 1 % (savvaļas zaļāļģu efektivitāte) un 10 % (īstermiņa mērķis) [3].

Papildus 2.3. tabulā atspoguļotajiem datiem izmantota arī šāda informācija: ūdeņraža siltumietilpība – 120 MJ/kg [9]; ūdeņraža blīvums – 0,084 kg/m³ [9]; fotobioloģiskajā procesā izmantotā ūdens daudzums – 6,7 (kg H₂O)/(kg H₂) [18], [19].

2.3. tabula**Bioudeņraža ražošanas apjoms**

Nr.	Ražošana, t gadā	Pamatsursi
1	109,5	[5]
2	0,015	[18], [20], [21]
3	0,006	[22], [23]
4	0,001	[19]
5	8584,8	[12]
6	499,3	[9]

2.4. tabula

Elektroenerģijas ražošana no bioloģiskā ūdeņraža (MWh_e gadā), 1.–5. procesā izmantota saules "gaisma–elektroenerģija" metode ar efektivitāti 5,0 %, bet 6. procesā izmantota "fermentācija–elektroenerģija" metode

Metode	MWh _e gadā
1	164,3
2	0,022
3	0,009
4	0,015
5	12877,2
6	3102,0

2.3. tabulā attēlotie rezultāti parāda, ka laboratorijas mēroga sistēmās – 2, 3 un 4. process – gada laikā saražotā ūdeņraža daudzums (un līdz ar to arī ģenerētās elektroenerģijas daudzums) ir ļoti neliels, kas attiecīgi apgrūtina šo datu saprātīgu salīdzināšanu. Teorētiskais elektroenerģijas daudzums, kas saražots vienā gadā, izmantojot 2.3. tabulā attēlotos bioūdeņraža ieguves apjomus, ir atspoguļots 2.4. tabulā. Pieņemot, ka teorētiskas ražotnes efektivitāte ir 50 % [14] (visiem procesiem) un ka saules enerģijas efektivitāte 1.–5. procesā ir 10 % (pilnam saules spektram) [3], vispārējais enerģijas pārveidošanas lietderības koeficients attiecībā saules "gaisma–elektroenerģija" ir 5,0 %. 6. procesā ūdeņraža ieguves efektivitāte ir 35 % [9], [16], bet vispārējais enerģijas pārveidošanas lietderības koeficients – 17,5 %.

Atmetot 2., 3. un 4. metodi kā nepiemērotu ūdeņraža komerciālai ražošanai un pievēršoties 1. (ūdeņraža cikliskā fotobioloģiskā ražošana, izmantojot *C. reinhardtii* ar zemu sēra saturu) un 6. (fermentācija divpakāpju reaktorā, izmantojot kartupeļu mizas) metodei, redzams, ka nepieciešams veikt turpmākus šo metožu uzlabojumus, lai ūdeņraža rūpnieciskā ražošana būtu saprātīga un pamatota.

Ņemot vērā iepriekš apskatītos rezultātus un lai labāk izprastu no vienas tonnas bioūdeņraža saražotās elektroenerģijas vērtību, ir ieteicams veikt enerģijas indikatoru analīzi. Piemēram, no tonnas ūdeņraža, kas iegūts 1. procesā, var iegūt 1,5 MWh elektroenerģijas, bet no 6. procesā iegūta ūdeņraža tonnas var iegūt 6,2 MWh elektroenerģijas. Līdz ar to ir redzams, ka no fermentācijas procesā iegūta ūdeņraža iegūstamais elektroenerģijas daudzums ir aptuveni četras reizes lielāks nekā no fotobioloģiskā ceļā iegūta ūdeņraža, un šī atšķirība būtu jākompensē.

2.5. tabula

Oglekļa dioksīda novērstās emisijas

Fosilais resurss	Metode	Efektivitāte, %	Zemākais sadeģšanas siltums, GJ/t	Kurināmā daudzums, t gadā	Emisijas faktors, t_{CO_2}/MWh_e	Novērstās emisijas daudzums, t_{CO_2} gadā
Dabaszgāze	Atvērta cikla gāzes turbīna	33,0	43,3	41,35	0,202	8,4
Mazuts	Atvērta cikla gāzes turbīna	39,5	40,2	37,22	0,276	10,3
Ogles	Virskritisku parametru tvaika turbīna	39,0	20,3	74,63	0,342	25,5

Tomēr šobrīd, šķiet, nepieciešams saprast CO₂ emisijas apjomu, kas novērsts, pateicoties elektroenerģijas ieguvei, izmantojot bioloģisko ūdeņradi nevis fosilos resursus. To palīdz saprast 2.5. tabula, kurā redzams, cik daudz fosilā kurināmā (dabaszāze, mazuts, ogles) būtu nepieciešams, lai gadā saražotu tikpat daudz elektroenerģijas, cik lietojot 1. metodi. Runājot par 1. metodi, jānorāda, ka, sadegot ūdeņradim, atmosfērā izplūst pārsvarā ūdens tvaiks nevis piesārņotāji uz oglekļa bāzes, līdz ar to tika pieņemts, ka CO₂ emisijas nenotiek vispār, ja kurināmais ir ūdeņradis. Teorētiski vērā būtu jāņem arī netiešās emisijas, kas rodas, izmantojot elektroenerģiju ūdeņraža ieguvei, tomēr pašlaik tabulā atainots vien CO₂ novērsto emisiju bruto daudzums [24], [25].

Rezultāti rāda – novērsto oglekļa dioksīda emisiju daudzums, ja izmantotais fosilais resurss būtu ogles, gadā sasniegtu 25,5 t. Tas ir svarīgs sākuma punkts, lai politikas veidotājiem un investoriem dotu atbilstošu rīku spēcīgas un attīstītas ūdeņraža tirgus stratēģijas sagatavošanai un izvērtēšanai.

Secinājumi

Analīzes rezultāti pierāda, ka bioūdeņraža izmantošana elektroenerģijas ražošanā piedāvā vairāk ieguvumu apkārtējai videi nekā fosilo resursu izmantošana. Analīzē ir kvantitatīvi novērtēts novērstās oglekļa dioksīda emisijas apjoms, ja fosilo resursu vietā tiek izmantots cikliski ražots fotobioūdeņradis, kas iegūts no zaļajām (*C. reinhardtii*) ar samazinātu sēra saturu. Ja elektroenerģijas ražošanā ogļu vietā tiek izmantots ūdeņradis, tad maksimālais novērstās oglekļa dioksīda emisiju daudzums gadā ir ap 25,5 t. Aprites cikla novērtējumā šis pozitīvais rezultāts ir skaidri redzams klimata pārmaiņu un cilvēku veselības kategorijās.

Lai rezultātus varētu salīdzināt ar citiem ūdeņraža tradicionālās ražošanas sistēmu ACN, nepieciešams veikt turpmāku analīzi, kas ļautu iegūt pilnīgu to procesu aprites ciklu novērtējumu, kuri regulē ūdeņraža fotobioloģisko ražošanu rūpnieciskā mērogā. Turpmāka ACN analīze ir nepieciešama arī raugoties no sociālekonomiskā skatpunkta un ņemot vērā resursu ietekmi.

Šo metodisko pieeju var uztvert kā iespēju izstrādāt inovatīvu rīku lēmumu pieņēmējiem un kā papildu ieguvumu pieaugošajā ūdeņraža tirgū.

Izmantotā literatūra

- [1] Rupperecht, J., 2009. From systems biology to fuel – Chlamydomonas reinhardtii as a model for a systems biology approach to improve biohydrogen production. Journal of Biotechnology 142, 10–20.

- [2] Kruse, O., Rupprecht, J., Bader, K., Thomas-Hall, S., Schenk, P. M., Finazzi, G., et al., 2005. Improved photobiological H₂ production in engineered green algal cells. *Journal of Biological Chemistry* 280, 34170–34177.
- [3] James, B. D., Baum, G. N., Perez, J., Baum, K. N., 2009. Technoeconomic boundary analysis of biological pathways to hydrogen production. Report, National Renewable Energy Laboratory (NREL), NREL/SR-560–46674. Arlington, Virginia, USA, 207 p.
- [4] Jorquera, O., Kiperstok, A., Sales, E. A., Embirucu, M., Ghirardi, M. L., 2010. Comparative energy life-cycle analyses of microalgal biomass production in open ponds and photobioreactors. *Bioresource Technology* 101, 1406–1413.
- [5] Amos, A. W., Updated cost analysis of photobiological hydrogen production from *Chlamydomonas reinhardtii* green algae. Report, National Renewable Energy Laboratory (NREL), NREL/MP-560–35593. Golden, CO, USA, 32 p.
- [6] IEA, 2009. International Energy Agency (IEA), Agreement on the production and utilization of hydrogen annex 15. Available at: <<http://ieahia.org/page.php%3Fs=publications%26p=technical>>.
- [7] Ghirardi, M. L., Dubini, A., Yu, J., Maness, P. C., 2009. Photobiological hydrogen-producing systems. *Chemical Society Reviews* 38, 52–61.
- [8] Melis, A., 2002. Green alga hydrogen production: progress, challenges and prospects. *International Journal of Hydrogen Energy* 27, 1217–1228.
- [9] Njakou Djomo, S., 2009. Life cycle assessment of biohydrogen production and applications for modeling the transition to hydrogen economy. Dissertation, Riga Technical University, Riga, Latvia.
- [10] NOU, 2004. NOU, Hydrogen as the energy carrier of the future. Summary in English, Norway, 22 p.
- [11] Dunn, S., 2002. Hydrogen futures: toward a sustainable energy system. *International Journal of Hydrogen Energy* 27, 235–264.
- [12] Benemann, J. R., 1998. Process analysis and economics of biophotolysis of water. A preliminary assessment. Annex 10, Photoproduction of hydrogen. Report, International Energy Agency Hydrogen Program, IEA/H2/10/TR-2-98. Golden, CO, USA, 38 p.
- [13] Tredici, M. R., Chini Zittelli, G., Benemann, J. R., 1998. A tubular integral gas exchange photobioreactor for biological hydrogen production. *BioHydrogen*, 391–401.
- [14] Akkerman, I., Janssen, M., Rocha, J. M. S., Reith, J. H., Wijffels, R. H., 2003. Photobiological hydrogen production: photochemical efficiency and bioreactor design. In: *Bio-methane & bio-hydrogen – status and perspectives of biological methane and hydrogen production*, Petten, The Netherlands, pp. 124–138.
- [15] ISO, 1997. International Standard ISO 14040: Environmental management – life cycle assessment: principles and framework.
- [16] Njakou Djomo, S., Humbert, S., Blumberga, D., 2008. Life cycle assessment of hydrogen produced from potato steam peels. *International Journal of Hydrogen Energy* 33, 3067–3072.
- [17] Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., et al., 2003. IMPACT 2002+: a new life cycle assessment methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment* 8, 324–330.

- [18] Melis, A., Zhang, L., Forestier, M., Ghirardi, M. L., Seibert, M., 2000. Sustained photobiological hydrogen gas production upon reversible inactivation of oxygen evolution in the green alga *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Physiology* 122, 127–35.
- [19] Cournac, L., Guedeney, G., Peltier, G., Vignais, P. M., 2004. Sustained photoevolution of molecular hydrogen in a mutant of *Synechocystis* sp. strain PCC 6803 deficient in the type INADPH-dehydrogenase complex. *Journal of Bacteriology* 6, 1737–1746.
- [20] Laurinavicheneva, T. V., Tolstygina, I. V., Galiulina, R. R., Ghirardi, M. L., Seibert, M., Tsygankov, A. A., 2002. Dilution methods to deprive *Chlamydomonas reinhardtii* cultures of sulfur for subsequent hydrogen photoproduction. *International Journal of Hydrogen Energy* 27, 1245–1249.
- [21] Biology, 2004. Biology online dictionary. Available at <<http://www.biology-online.org/dictionary/Photoheterotroph/>>.
- [22] Tamagnini, P., Leitão, E., Oliveira, P., Ferreira, D., Pinto, F., Harris, D. J., et al., 2007. Cyanobacterial hydrogenases: diversity, regulation and applications. *FEMS Microbiology Reviews* 31, 692–720.
- [23] Masukawa, H., Mochimaru, M., Sakurai, H., 2002. Hydrogenases and photobiological hydrogen production utilizing nitrogenase system in cyanobacteria. *International Journal of Hydrogen Energy* 27, 1471–1474.
- [24] UN, 2009. United Nations Climate Change, Paris Agreement. Available at <<http://unfccc.int/2860.php>>.
- [25] Thomas, C., Tennant, T., Rolls, J., 2000. The GHG indicator: UNEP guidelines for calculating greenhouse gas emissions for businesses and non-commercial organisations. United Nations Environment Programme. Available at: <http://www.unepfi.org/fileadmin/publications/cc/ghg_indicator_2000.pdf>.

3. Inovatīva koksnes biomasas bioprodukta ekodizaina analīzes novērtējums

Valters Kazulis, Indra Muižniece, Dagnija Blumberga

Aizsākumi idejai par ekodizainu meklējami Eiropā 1990. gadu sākumā [1], bet pirmie ražošanas un materiālu aprites cikla aspektu pētījumi veikti jau pagājušā gadsimta sešdesmitajos un septiņdesmitajos gados. Paši pirmie pētījumi pievērsās energoefektivitātei, izejmateriālu patēriņam un nedaudz arī atkritumu apsaimniekošanai [2]. Ekodizaina konceptam attīstoties, uzsvars tika likts uz izstrādājuma dizainu un izejmateriāliem, bet idejai laika gaitā plešoties vēl vairāk uzmanības centrā nonāca produkta ražošana, izmantošana un aprites cikla beigas [3], [4].

Standartā ISO 14006:2011 ekodizains raksturots kā vides aizsardzības aspektu ieviešana izstrādājuma dizainā un kā attīstības process, kura mērķis ir samazināt izstrādājuma ietekmi uz vidi visā tā aprites ciklā [5]. Ja izstrādājuma izgatavošanas procesā tiek ņemti vērā ekodizaina pamatprincipi, var panākt ne tikai vidi un klimatam draudzīgu izstrādājumu un ražošanu, bet arī augstu un standartiem atbilstošu izstrādājuma kvalitāti [3].

Pastāv uzskats, ka tikai nelielam skaitam organizāciju piemīt ekodizaina ieviešanā nepieciešamā pieredze. Galvenie sarežģījumi, ar ko organizācijas parasti saskaras, ieviešot ekodizaina principus, ir: stratēģija, rīki, sadarbība, vadība un zināšanas [6]. Spēja pārvaldīt visas šīs sarežģītās procesa kategorijas veicina ilgtspējīgas sabiedrības attīstību un zināšanu ieviešanu praksē un ikdienā.

Pašlaik ekodizaina nozīme sniedzas ārpus patēriņa rāmjiem un arī tālāk par ietekmi uz klimatu un vidi [7]. Ekodizains gūst aizvien lielāku nozīmi bioekonomikas un aprites ekonomikas kontekstā – tas ir atzīts par svarīgu un neaizvietojamu ilgtspējīgas ražošanas aspektu [8]. Šajā pētījumā ekodizaina analīze ir veikta ļoti agrīnā izstrādājuma attīstības posmā jeb precīzāk – izstrādājuma teorētiskās izvērtēšanas posmā, kad pastāv iespēja izvēlēties izstrādājumu un ražošanas procesu, kas atbilstu bioekonomikas pamatprincipiem.

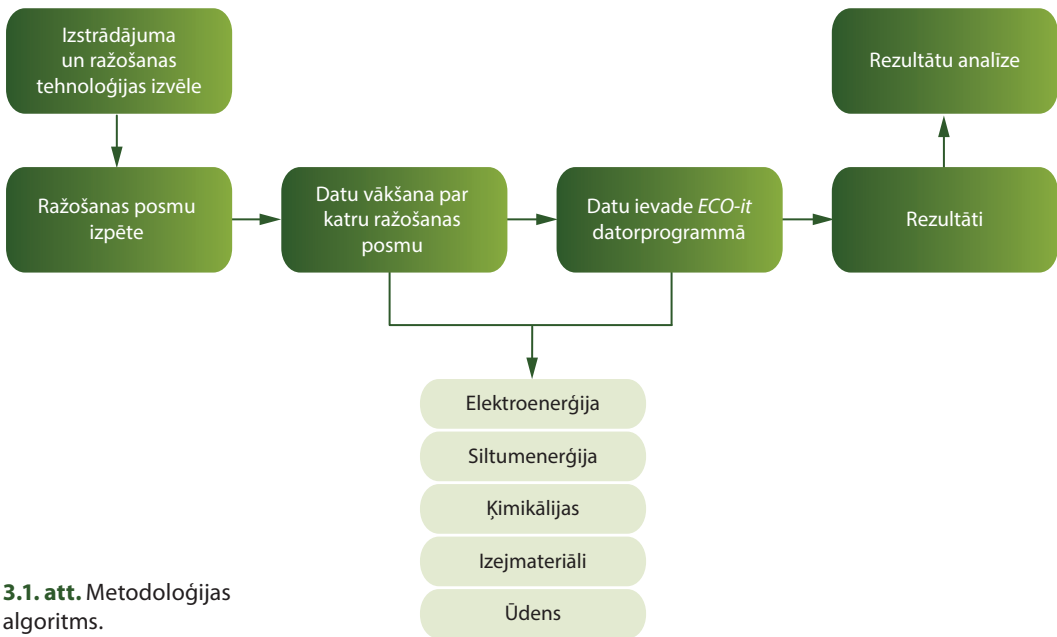
Pētījumā ekodizaina analīze ir veikta no koksnes iegūtam ķīmiskam produktam – ksilānam. Pētījums paredzēts kā piemērs izstrādājuma vides ietekmes novērtējumam agrīnā izstrādājuma

attīstības posmā. Ksilāns ekodizaina analīzei tika izvēlēts, jo iepriekš veiktos pētījumos tas novērtēts kā piemērots komerciāli-zācijai Latvijas apstākļos [9].

Metodoloģija

Ir vairākas produktu ekodizaina analīzes metodes. Lai noteiktu, kuri produkta aprites cikla posmi un faktori rada vislielāko ietekmi uz vidi, var izmantot speciālas datorprogrammas; šajā pētījumā tika izmantota ekodizaina analīzes datorprogramma *ECO-it*.

Bioloģiska izstrādājuma ražošanas procesa analīze ietver vairākas secīgas darbības, 3.1. attēlā metodoloģijas algoritms ir atspoguļots grafiski. Algoritmu veido seši moduļi. Vispirms ir jāizvēlas bioloģiskais produkts un ražošanas tehnoloģija. Pēc tam ražošanas tehnoloģija tiek pētīta, lai ievāktu svarīgākos datus par ražošanas posmiem. Ievāktā informācija tiek sadalīta kategorijās (elektroenerģija, siltums, ķimikālijas, izejmateriāli, ūdens), un dati tiek ievadīti datorprogrammā. Pašās beigās tiek ģenerēti un analizēti rezultāti.



3.1. att. Metodoloģijas algoritms.

ECO-it datorprogrammas pamatā ir *ReCiPe* analīzes metode vides snieguma raksturošanai, kas ļauj novērtēt ietekmi uz vidi aprites cikla viduspunktā un beigu punktā. Ietekmes rezultāts beigu punktā tiek novērtēts punktos (Pt), bet viduspunktā tas tiek

sadalīts starp atsevišķām indikatoru kategorijām (klimata pārmaiņas, ozona slāņa noārdīšanās, sauszemes paskābināšanās, saldūdens eitrofikācija, jūras ūdens eitrofikācija, toksiskums cilvēkiem, fotoķīmisko oksidētāju veidošanās, aerosolu veidošanās, sauszemes ekotoksiskums, saldūdens ekotoksiskums, jūras ūdens ekotoksiskums, jonizējošais starojums, lauksaimniecības zeme, pilsētas zeme, dabas teritoriju pārveidošana, ūdens resursu samazināšanās, minerālresursu samazināšanās, fosilo resursu samazināšanās). Beigu punkta novērtējums ļauj iegūt viegli salīdzināmus rādītājus (ietekme uz cilvēku veselību, videi radītais kaitējums, resursiem radītais kaitējums), kuri zināmi arī kā ekoindikatoru, kas izteikti Pt [10].

Ekodizaina analīze datorprogrammā *ECO-it* sastāv no vairākiem posmiem: resursu ieguve, ražošana, izmantošana un aprites cikla noslēgums. Šajā pētījumā gan aplūkots tikai ražošanas posms, jo tieši to var ietekmēt ksilāna ražotājs, un tas ir svarīgi, ņemot vērā faktu, ka ksilāns ir citu izstrādājumu ražošanā izmantota izejviela.

ECO-it datorprogrammā palīdz saskatīt atsevišķu materiālu un/vai procesu radīto ietekmi uz vidi. Jo lielāka ir rādītāja vērtība, jo lielāks kaitējums tiek nodarīts videi. Pt norāda ietekmes uz vidi apmēru – 1 Pt ir aptuveni 1/1000 daļa no vidējās vērtības ietekmei uz vidi, ko gada laikā rada viens Eiropas iedzīvotājs. Iegūtā CO₂ ekvivalenta vērtība norāda materiāla vai procesa vienību radīto siltumnīcefektu izraisīto gāzu daudzumu. Programma *ECO-it* ir paredzēta ražotājiem un produktu koncepcijas izstrādātājiem, kas vēlas samazināt savu izstrādājumu slodzi uz vidi.

Rezultāti un to izvērtējums

Šī pētījuma ietvaros iepriekš aprakstītā metode tika aprobēta vienam ķīmiskam izstrādājumam, kas ražots no bioresursa (koksnes), – ksilānam. Lietojot ekodizaina analīzes metodi, tika noteikta ksilāna ražošanas ietekme uz vidi. Pētījumā aplūkots tikai ražošanas posms, jo izstrādājums nav galaprodukts, bet gan starpprodukts – ksilāns ir materiāls ar plašām izmantošanas iespējām dažādu produktu ražošanā.

Pastāv daudz tehnoloģiju un izejmateriālu, ko var izmantot ksilāna atvasinājumu ražošanā [11]–[14]. Šajā ekodizaina analīzē tika vērtēta inovatīva ksilāna ieguves metode – mikroviļņu izmantošana ksilāna ieguvē. Tā ir jauna tehnoloģija, kas ļauj iegūt augstas kvalitātes ksilānu ar mazākiem molekulu bojājumiem, nekā izmantojot parasto ksilāna ieguves metodi (hidrolīzi). Ksilāna ieguve ar mikroviļņu tehnoloģiju iedalāma secīgos ražošanas posmos: koksnes smalcināšana, žāvēšana, malšana, putekļu sijāšana, samaltās

koksnes sildīšana skābē, dzesēšana, nobriešana, sijāšana, mazgāšana, sildīšana, sagatavošana ekstrakcijai, mikroviļņu ekstrakcija, filtrēšana, nosēšanās, centrifugēšana, izstrādājuma iepakošana pārdošanai [15].

Lai veiktu ekodizaina analīzi ksilāna atvasinājumu ieguvei, izmantojot mikroviļņu ekstrakcijas tehnoloģiju, vienai tonnai ksilāna tika piemēroti šādi ražošanas procesi, izejas dati u. c. [15]:

- izejmateriāls: svaiga lapkoka koksne ar mitruma saturu 50 %, sausa lapkoka skaidu blīvums 239 kg/m^3 , zemākais sadegšanas siltums – 4048 MJ/m^3 [16];
- koksne Latvijā tiek transportēta ar kravas automašīnām, kravas svars – virs 32 t [17], tāpēc pētījumā izvēlētas kravas automašīnas ar kravas svaru virs 32 t, pieņemot, ka vidējais koksnes transportēšanas attālums ir 50 km, $t_{\text{km}} = 0,117 \text{ kg CO}_{2\text{ekv.}}$ 14 mPt;
- elektroenerģija (neatjaunojamie energoresursi), kWh – $0,594 \text{ kg CO}_{2\text{ekv.}}$ 59,9 mPt;
- siltumenerģija (malka), MJ – $0,006 \text{ kg CO}_{2\text{ekv.}}$ 3,61 mPt;
- 8 t koksnes (mitruma saturs līdz 50 %) smalcināšana (elektroenerģijas patēriņš – 60 kWh);
- skaidas tiek žāvētas $40 \text{ }^\circ\text{C}$ piecas dienas (120 h), līdz tiek sasniegts ražošanā teorētiski nepieciešamais svars, nepieciešamais siltuma daudzums – 3000 kWh (koksnes kurināmais);
- skaidu samalšanai (2 mm lielas daļiņas) nepieciešamā elektroenerģija – 140 kWh;
- putekļu sijāšanai (sieta acs – 0,42 mm) nepieciešamā elektroenerģija – 20 kWh;
- samaltā biomasa tiek apstrādāta 0,05 M sālsskābē (1 g daļiņu uz 10 mL skābes), $70 \text{ }^\circ\text{C}$, 2 h (1,82 g uz 1 L ūdens, 1 tonnai izstrādājuma nepieciešami 97 kg sālsskābes);
- samaltā biomasa tiek piesūcināta ar 14 M amonija hidroksīda, kas pēc tam tiek atgūts (zaudējumi veido 100 kg katru reizi);
- elektroenerģijas patēriņš sijāšanā 20 kWh;
- biomasa tiek mazgāta ūdenī, līdz tiek iegūts neitrāls pH līmenis;
- samaltā biomasa 72–96 h tiek žāvēta $40 \text{ }^\circ\text{C}$, nepieciešamais siltuma daudzums – 1500 kWh;
- samaltā biomasa tiek piesūcināta ar 8 % nātrija hidroksīda šķīdumu proporcijā 1 : 8 (zaudējumi veido 341 kg uz 1 t produkta);

- mikroviļņu ekstrakcijas ilgums – 25 min, nepieciešamais elektroenerģijas daudzums – 1000 kWh;
- filtrēšanai un centrifugēšanai nepieciešamais elektroenerģijas daudzums – 20 kWh.

Pēc biomasas mazgāšanas iegūto ūdeni un ekstrakcijas šķīdumu var izmantot atkārtoti; šķīduma zudums ekstrakcijas procesā ir 10 %. Filtrēšanas laikā iegūtos koksnes blakusproduktus (vairāk nekā 4 t uz 1 t gala produkta) var izmantot kā kurināmo vai arī citu produktu ražošanā. Vienas tonnas ksilāna ražošanas procesā tiek neatgriezeniski patērēts 341 kg 8 % NaOH šķīduma. Pārējās ksilāna ražošanā izmantotās ķimikālijas var izmantot atkārtoti. Lai saražotu vienu tonnu produkta, kopumā tiek patērēts aptuveni 8 MWh.

Vienas tonnas ksilāna ražošana rada 4,02 kg CO_{2ekv.} jeb 453,53 Pt lielu ietekmi uz vidi (sk. 3.1. tabulu). Rezultāti liecina, ka ksilāna ražošanā vislielāko ietekmi uz vidi rada elektroenerģijas patēriņš, ja elektroenerģija tiek iegūta, izmantojot fosilos resursus. Tā kā praksē pastāv iespēja izmantot no atjaunojamiem resursiem iegūtu elektroenerģiju, šajā ekodizaina analīzē iegūtajiem rezultātiem attiecībā uz elektroenerģijas izmantošanu ražošanā ir informatīvs raksturs. CO_{2ekv.} novērtējums rāda, ka ūdens izmantošanas radītā ietekme uz vidi ir neitrāla, līdz ar to rezultātos tā neatspoguļojas. Otru lielāko ietekmi uz vidi rada ķimikāliju izmantošana, jo ražošanas procesā novērojams ķimikāliju zudums.

3.1. tabula

Ksilāna ražošanas ietekme uz vidi, (kg CO_{2ekv.})/t un Pt/t

	Ksilāns, (kg CO _{2ekv.})/t ksilāna	Ksilāns, Pt/t ksilāna
Elektroenerģija	3,00	240,00
Siltumenerģija	0,10	58,00
Ķimikālijas	0,73	83,00
Koksne	0,19	72,00
Ūdens	0,00	0,33
<i>Kopā</i>	<i>4,02</i>	<i>453,53</i>

Lai ksilāna ekodizaina analīzes rezultāti būtu vieglāk salīdzināmi, 3.2. tabulā redzams, kādu ietekmi uz vidi rada vairāku koksnes būvmateriālu ražošana; rezultāti iegūti *ECO-it* datorprogrammas datubāzē [15].

3.2. tabula

Ietekme uz vidi, ko atstāj koksnes būvmateriālu ražošana [15]

Materiāls	Pt/m ³	Pt/t	Blīvums, kg/m ³
Orientēto kokskaidu plātne (OSB)	48	67,6	710
Saplāksnis (iekštelpām)	123	307,5	400
Saplāksnis (ūdensizturīgs)	140	200,0	700
Vidēja blīvuma kokšķiedru plātne (MDF)	66	82,5	800
Augsta blīvuma kokšķiedru plātne	68	75,6	900
Zema blīvuma kokšķiedru plātne	23	32,9	700

Salīdzinājumam izvēlēti no koksnes ražoti būvmateriāli, jo šie materiāli galvenokārt tiek ražoti no koka. Piemēram, spriežot pēc ekodizaina analīzes rezultātiem, OSB ražošanā tiek izmantots mazāk ķīmikāliju, nekā MDF ražošanā. Redzams arī, ka ksilāna ekodizaina analīzes rezultāti ir salīdzināmi ar datorprogrammā *ECO-it* pieejamajiem koksnes būvmateriālu ražošanas rezultātiem, kas pierāda – produkta ekodizaina analīze ir derīga un iegūtie rezultāti ir ticami.

Secinājumi

Produkta ietekmi uz vidi dažādos tā aprites cikla posmos var novērtēt, izmantojot dažādas metodes. Šajā pētījumā tika vērtēta mikroviļņos ekstrahēta ksilāna ražošanas iespējamā ietekme uz vidi. Pētījums veikts, izmantojot ekodizaina datorprogrammu *ECO-it*. Kā liecina ekodizaina analīzes rezultāti, ksilāna ražošana izmantojot mikroviļņu ekstrakcijas tehnoloģiju, rada 4,02 (kg CO_{2ekv.})/t_{gatavā produkta} jeb 453,53 Pt/t_{gatavā produkta} lielu ietekmi uz vidi. Ražošanas laikā lielāko ietekmi uz vidi rada elektroenerģijas patēriņš, ja tiek izmantota no fosiliem resursiem iegūta elektroenerģija. Tādēļ ir svarīgi uzlabot ražošanas energoefektivitāti, pēc iespējas vairāk izmantojot atjaunojamus resursus. Ksilāna ražošanas ekodizaina analīze liecina, ka *ECO-it* metodi var izmantot, lai noteiktu plānotā produkta ražošanas izraisīto ietekmi uz vidi. Lai iegūtu detalizētāku un precīzāku informāciju par produkta ietekmi uz vidi visā tā dzīves laikā, būtu veicama aprites cikla analīze.

Izmantotā literatūra

- [1] Roy, R., 1994. The evolution of ecodesign. *Technovation* 14, 363–380.
- [2] EEA, 1997. European Environment Agency (EEA), *Life Cycle Assessment: A guide to approaches, experiences and information sources*. Denmark, 116 p.

- [3] Ramani, K., Ramanujan, D., Bernstein, W. Z., Zhao, F., Sutherland, J., Handwerker, C., Choi, J. K., Kim, H., Thurston, D., 2010. Integrated Sustainable Lifecycle Design: A Review. *Journal of Mechanical Design* 132, 1–15.
- [4] Berzina, A., Dace, E., Bazbauers, G., 2011. Analysis of Ecodesign Implementation and Solutions for Packaging Waste System by Using System Dynamics Modeling. *Environmental and Climate Technologies* 4, 22–28.
- [5] ISO, 2011. International Standard ISO 14006: Environmental Management Systems – Guidelines for Incorporating Ecodesign.
- [6] Dekoninck, E. A., Domingo, L., O'Hare, J. A., Pigosso, C. A., Reyes, T., Troussier, N., 2016. Defining the challenges for ecodesign implementation in companies: Development and consolidation of a framework. *Journal of Cleaner Production* 135, 410–425.
- [7] Zuin, V. G., 2016. Circularity in green chemical products, processes and services: Innovative routes based on integrated eco-design and solution systems. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 2, 40–44.
- [8] Ghisellini, P., Cialani, C., Ulgiati, S., 2016. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production* 114, 11–32.
- [9] Blumberga, D., Veidenbergs, I., Blumberga, A., et al., 2016. Meža biomasa – jauni produkti un tehnoloģijas. *Atskaite*. Riga Technical University, Riga, Latvia, 212 p.
- [10] ReCiPe, 2013. A life cycle impact assessment method which compromises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. The Netherlands, 133 p.
- [11] Gupta, V. K., Kubicek, C. P., Berrin, J. G., Wilson, D. W., Couturier, M., Berlin, A., Filho, X. F., Ezeji, T., 2016. Fungal Enzymes for Bio-Products from Sustainable and Waste Biomass. *Trends in Biochemical Sciences* 41, 633–645.
- [12] Aguilar-Reynosa, A., Romani, A., Rodriguez-Jasso, R. M., Aguilera, C. N., Garrote, G., Ruiza, H. A., 2017. Microwave heating processing as alternative of pretreatment in second-generation biorefinery: An overview. *Energy Conversion and Management* 136, 50–63.
- [13] Sedlmeyer, F. B., 2011. Xylan as by-product of biorefineries: Characteristics and potential use for food applications. *Food Hydrocolloids* 25, 1891–1898.
- [14] Amidon, T. E., Shijie, L., 2009. Water-based woody biorefinery. *Biotechnology Advances* 27, 542–550.
- [15] Pathapulakkal, F., 2014. Microwave assisted extraction of xylan. University of Toronto, Toronto, USA, 188 p.
- [16] Pre, 2012. ECO-it program, v.1.4. LCA Software, Pre-consultants B. V., Plotterweg 12, 3821 BB Amersfoort. The Netherlands. Available at: <<http://eco-it.software.informer.com/>>.
- [17] Regulations of Minister Cabinet Nr. 343, 16.04.2010. Noteikumi par lielgabariņa un smagsvara pārvaldījumiem. Riga, Latvia. Available at: <<https://likumi.lv/doc.php?id=208072>>

4. Ražošanas uzņēmuma ekodizaina koncepts

Elīza Ķeirāne, Jūlija Gušča

Pieaugošie ražošanas apjomi visā pasaulē rada arvien lielākas emisijas un ietekmi uz vidi, kas liek pievērsties alternatīvām metodēm, kā ražot ekoloģiskāk, ņemot vērā esošā patēriņa pieaugumu [1]. Lielāko daļu produkta ietekmes uz vidi ir iespējams mazināt jau tā dizaina projektēšanas stadijā, tādā veidā mazinot gan izmantoto materiālu daudzumu, gan enerģijas patēriņu. Šīs darbības ir apvienojamas zem jēdziena ekodizains. Lai gan ir saprotams, ka ekodizains ir viennozīmīgi noderīgs paņēmieni produktu ražošanā, ne vienmēr tā ieviešana praksē var būt vienkāršs process, jo tā ieviešanā var rasties dažādi šķēršļi, kas ir visbiežākais iemesls, kas ražotājus attur no šo ideju lietošanas. Visizplatītākais iemesls ir tas, ka ekodizaina principu izpēte ir jāveic katram produktam atsevišķi, kas ir laikietilpīgi un arī dārgi. Tādā veidā var tikt palielinātas produktu ražošanas izmaksas un tā tirdzniecības cena, kas beigās šo ražojumu padara konkurēt nespējīgu salīdzinājumā ar citiem produktiem, kam ir līdzīgs mērķis un funkcijas [2].

Eiropas Komisija 2015. gadā ir veikusi izpēti, kurā noteikti otrreizējās ražošanas galvenās ieviešanas motivācijas un barjeras.

4.1. tabula

Otrreizējās ražošanas ieviešanas motīvi un barjeras [3]

Motivācijas	Barjeras
Augstākas ieņēmumu robežas	Uzņēmumu neatpazīstamība
Mazāka ietekme uz vidi	Izmantojamās detaļas izmērs vai pieejamība
Stratēģiskās priekšrocības	Izmantojamās detaļas kvalitāte
Augoša tirgus daļa	Augstas darba izmaksas

Neskaitot 4.1. tabulā uzskaitītās barjeras, otrreizējās ražošanas ieviešanai, papildus tiek minēts, ka liels mīnuss šajā jomā ir nekvalitatīvi izstrādāts produktu dizains. Lai uzsāktu otrreizējās ražošanas procesu ir nepieciešams:

- labs biznesa modelis – jau esošs uzņēmums, kam ir konkrēts tirgus un garantijas, vai arī labi izstrādāts biznesa plāns jaunam uzņēmumam;
- produktu dizains – lai varētu noteikt, kuras detaļas ir pārstrādājamas un kuru ražošana nes lielāko ietekmi uz vidi;
- piemērotas ražošanas tehnoloģijas – tehnoloģijas, kas ir paredzētas tieši otrreizējai ražošanai, lai varētu veikt efektīvu detaļu un produktu apstrādi un otrreizēju izmantošanu [4].

Turpinot pieaugt jēlmateriālu un resursu patēriņam, nepieciešamībai šo procesu apstādināt un izmantot pārstrādātus materiālus un pārdomātus ražošanas procesus, kas patērē pēc iespējas mazāk enerģijas, ir jābūt šī brīža produktu ražošanas prioritātei, tādēļ Eiropas savienībā ir pieņemta Ekodizaina direktīva (Direktīva 2009/125/EK) [5], kas nosaka vienotus noteikumus un vadlīnijas enerģiju patērējošu produktu ražošanai, lai uzlabotu to ietekmi uz vidi.

Ekodizaina prasības produktiem tiek uzstādītas vairākās produkta dzīves cikla stadijās (no izejmateriālu ieguves līdz produkta aprites cikla beigām).

Visi šie produkta aprites cikla posmi ir jāizvērtē atsevišķi ņemot vērā direktīvā norādītās prasības, kurās ietilpst:

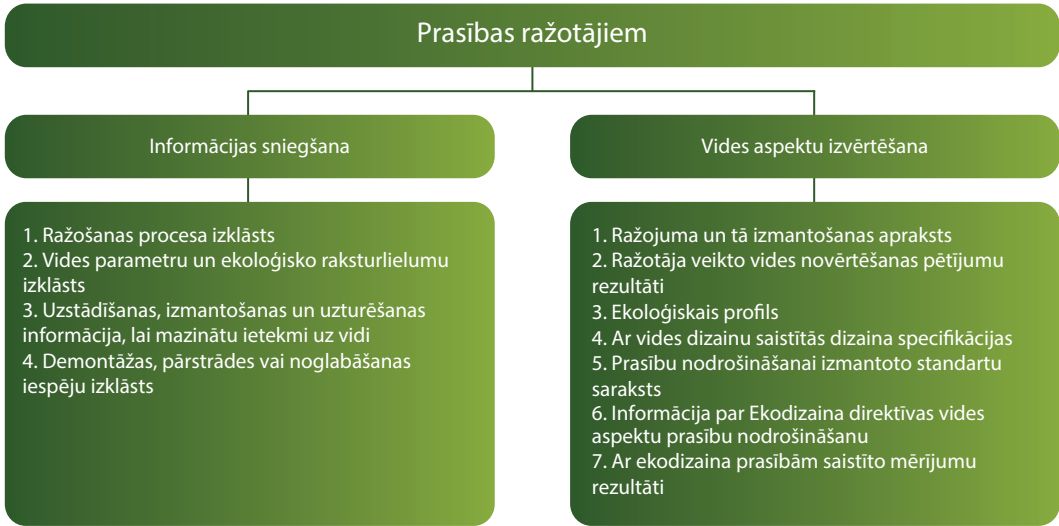
- 1) materiālu, enerģijas un citu resursu patēriņš;
- 2) emisijas gaisā, ūdenī vai augsnē;
- 3) piesārņojums ar fizikāliem efektiem (troksnis, vibrācijas, radiācija u. c.);
- 4) saražotais atkritumu daudzums;
- 5) materiālu un/vai enerģijas atkārtotas izmantošanas, pārstrādes un reģenerēšanas iespējas;
- 6) produkta svars un izmērs;
- 7) pārstrādes procesā izmantojamie materiāli;
- 8) lietošanas laikā patērētais resursu daudzums (enerģija, ūdens u. c.).

No 5. līdz 8. punktam norādītas papildus prasības, kas var tikt izvērtētas nepieciešamības gadījumā, ja tās attiecas uz konkrētā produkta īpašībām [5].

Ekodizaina direktīva nosaka prasības ražojumiem, ne tikai attiecībā uz produkta dizainu, bet gan nosaka arī ražotājam piemērojamās prasības, kas nosaka, kāda veida informācija ir jāsniedz patērētājam (tehniskajā aprakstā).

No Ekodizaina direktīvas [5] izriet regulas noteiktām produktu grupām, kurās norādītas konkrētākas prasības attiecīgajam produktam. Regulas ir izstrādātas 29 produktu grupām. Šo produktu

uzraudzība ir “Tirgus uzraudzības padomes” atbildība, taču tā kā ekodizaina regulu prasības stājas spēkā sākot ar 2021. gadu, neviens produkts, kas pašlaik šīm prasībām neatbilst, netiek uzskatīts par bīstamu un nav izslēgts no tirgus. Taču produkti, kas atbilst Ekodizaina direktīvas un tās regulu prasībām, var tikt attiecīgi marķēti un tādā gadījumā izvēle, vai iegādāties efektīvus un likumdošanai atbilstošus produktus pašlaik paliek patērētāju ziņā [6].



4.1. att. Ekodizaina direktīvā noteiktās prasības ražotājiem par publicējamo informāciju [5].

Esošā pētījumā par izpētes objektu ir izvēlēti Latvijā ražoti kokneses granulu katli. Eiropas Komisija ir veikusi priekšizpēti attiecībā uz lokālajiem cietā kurināmā katliem. Pēc šīs priekšizpētes noteikts, ka 2010. gadā, ražojot enerģiju ar cietā kurināmā lokālajiem telpu sildītājiem, atmosfērā nonākušas 9,5 miljoni tonnu CO₂ emisijas, un ja šīs regulas prasības netiktu ieviestas, tad prognozēts, ka līdz 2030. gadam šis skaitlis pieaugs līdz 8,8 miljoniem tonnu CO₂ emisiju gadā. Taču, ieviešot direktīvas un Komisijas Deleģēto regulu (ES)2015/1186 prasības, CO₂ emisijas ar saražoto enerģiju var tikt samazinātas par 0,4 miljoniem tonnu CO₂ gadā [7].

Regulā noteiktās prasības stājas spēkā no 2022. gada 1. janvāra. Cietā kurināma lokālajiem katliem noteiktās ekodizaina prasības norādītas 4.2. tabulā.

Regulā noteiktas ne tikai ekodizaina prasības, bet arī prasības attiecībā uz informāciju par ražojumu, kā arī mērījumu un aprēķinu metodes. Noteikti arī vispārīgie nosacījumi par telpu apsildi, emisijām un īpašie nosacījumi par telpu apsildes energoefektivitāti [7].

4.2. tabula

Ekodizaina prasības lokālajiem telpu sildītājiem telpu apsildes sezonā [7]

	Efektivitāte η , %	Daļiņu (PM) emisijas, mg/m^3	Organisko gāz- veida savienojumu (OGC) emisijas, mg/m^3	Oglekļa monoksīda (CO) emisijas, mg/m^3	Slāpekļa oksīdu (NO_x) emisijas, mg/m^3
Cietā kurināmā lokālie telpu sildītāji ar vaļēju degkameru	30	50	120	2000	200
Cietā kurināmā lokālie telpu sildītāji ar slēgtu degkameru, kuros izmanto cieto kurināmo, kas nav presēta koksne granulū veidā	65	40	120	1500	200
Cietā kurināmā lokālie telpu sildītāji ar slēgtu degkameru, kuros izmanto presētu koksni granulū veidā	79	20	60	300	300

Regula cietā kurināmā katliem un papildu komplektiem

Regula cietā kurināmā katliem attiecas uz katliem, kas izmanto koksni un to jauda nepārsniedz 50 kW, kā arī ir paredzēti apkures nodrošināšanai. Eiropā ražotajiem katliem direktīvā noteiktajām prasībām ir jāatbilst sākot ar 2020. gada 1. janvāri. Regulā noteikts, ka šie noteikumi neattiecas uz nekoksnes katliem, jo pagaidām nav izpētīts, vai tiem nav nepieciešami papildu noteikumi un prasības attiecībā uz citām emisijām.

Šajā regulā minētas ekodizaina, ražošanas informācijas un informācijas par cietā kurināmā katliem vispārīgās prasības, kā arī nosacījumi attiecībā uz mērījumiem un aprēķiniem, vispārīgie un īpašie nosacījumi par energoefektivitāti telpu apsildei sezonā. Nosaka arī šo parametru aprēķina un noteikšanas metodes.

4.3. tabula

Ekodizaina minimālās prasības attiecībā uz emisijām no katliem telpu apsildes sezonā [7]

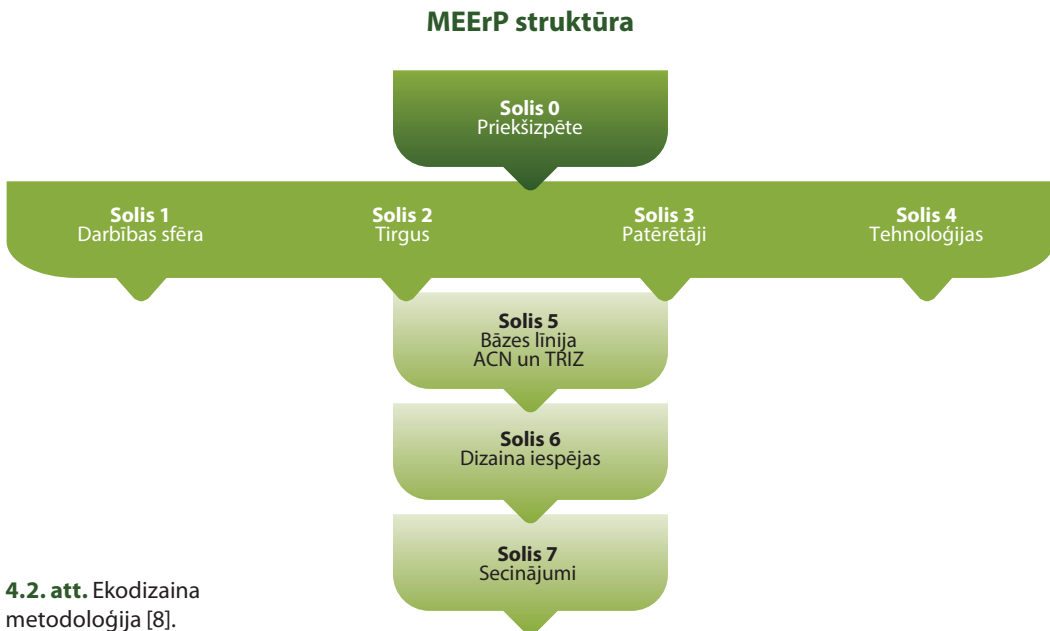
	Daļiņu emisijas, mg/m^3	Organisku gāz- veida savienojumu emisijas, mg/m^3	Oglekļa monoksīda emisijas, mg/m^3
Katli ar automātisku kurināmā padevi	40	20	500
Katli ar manuālu kurināmā padevi	60	30	700

Pēc šīm prasībām izriet, ka cietā kurināmā (biomasas vai cita) katlu efektivitātei (η) jābūt vismaz 75 % katliem ar jaudu līdz 20 kW, vai 77 % katliem ar lielāku jaudu. Emisiju prasības norādītas 4.3. tabulā.

Papildus ir noteiktas prasības biomasas un fosilā kurināmā katliem, kuru slāpekļa oksīdu emisijas nevar pārsniegt attiecīgi 200 mg/m³ un 350 mg/m³ [7].

Novērtējuma metodoloģija

Pētījuma metodoloģija ietver Eiropas Komisijas vadlīniju rekomendācijas enerģiju patērējošu produktu ekodizaina veikšanai (4.2. attēls).



4.2. att. Ekodizaina metodoloģija [8].

Solis Nr. 0 tiek norādīts kā neobligāts, taču ieteicams lielām un nehomogēnām produktu grupām, kur būtu vēlams veikt pirmreizējo produktu izpēti, nosakot, kāda varētu būt galvenā ietekme uz vidi un uzlabošanas ieteikumi, balstoties uz Ekodizaina direktīvas 15. pantu. Šis sadaļas mērķis ir izdalīt lielākās produktu grupas (ja tādas ir), lai varētu pielāgot ekodizaina analīzi, kā tas norādīts turpmākajos posmos.

1. soli tiek definēta produkta kategorija un sistēmas robežas, kurās tiek veikts ekodizains. Svarīgi ir veikt reālistiskus pieņēmumus attiecībā uz produkta uzlabošanas un analīzes potenciālu,

it īpaši ņemot vērā tehniskos aspektus un atbilstošos regulējošos dokumentus. 1. soli ietilpst sagatavošanās daļa un produkta analīzes metodoloģijas izvēle, lai nodrošinātu, ka turpmākā izpēte ir piemērojama. Šajā solī tiek noteikts, kādas izpētes metodes jau eksistē, analizē attiecīgo ES likumdošanu un nosaka globālo konkurētspēju.

2. soļa mērķis ir veikt konkrētā tirgus izpēti, ievietojot konkrēto produktu kopējā ES industrijā un tirgus politikā, piemēram, nosakot, kādi ir šīs nozares attīstības mērķi un nozīme kopējā klimata politikā, kā arī esošos finansiālos aspektus pašreizējā tirgū. Tiek noteikts, kādas ir esošās tirgus tendences, lai varētu paredzēt piemērotākos ekodizaina uzlabojumus, piemēram, vai šī produktu grupa ir ilgtspējīga un pamazām netiek aizstāta ar cita veida tehnoloģijām. Viens no šī soļa aspektiem var būt arī aprites cikla izmaksu aprēķins (*LCC*, angļu val. *Life Cycle Cost*), kas darbā nav izmantots, taču šādu analīzi veicot, tiktu noteiktas, kādas ir aprites cikla izmaksas un vai tajā ir iespējams veikt kādas modifikācijas, kā arī vai iespējamie uzlabojumi nestu arī finansiālu atbalstu produkta ražošanā un lietošanā.

Ļoti svarīgs aspekts, kas tiek apskatīts **3. solī**, ir patērētāju uzvedība, kura ir nozīmīga tieši produkta dizaina un izmaksu aprēķinā, kā arī nosakot ietekmi uz vidi, jo, enerģiju patērējošiem produktiem, vislielākā ietekme uz vidi rodas lietošanas stadijā. Šo posmu mēdz saukt arī par sociālo aprites cikla analīzi, kas arī šajā darbā nav iekļauta, taču ir noderīga, jo ļauj analizēt patērētāju uzvedību un to, vai, piemēram, lietotājs būs gatavs ieguldīt lielākus līdzekļus, lai iegādātos produktu, kas patērē mazāk enerģijas un atmaksātos ilgākā laika posmā, kā arī, vai patērētājs būtu gatavs mainīt produkta lietošanas paradumus, lai uzturētu tā kvalitāti un paildzinātu produkta kalpošanas laiku.

4. solis ietver konkrēto produktu tehnisko analīzi, lai nodrošinātu precīzu aprēķinu nākamajos soļos. Tehniskajā aprakstā būtu jāanalizē ne tikai pētāmais produkts, taču arī tirgū pieejamās labākās tehnoloģijas (*BAT*, angļu val. *Best Available Technologies*) un labākās vēl nepieejamās tehnoloģijas (*BNAT*, angļu val. *Best not Yet Available Technologies*). Šādi ir iespējams padarīt produkta uzlabošanas posmu vienkāršāku, nosakot, kādas tehnoloģijas ir iespējamās un vai tās ir patērētājiem pievilcīgas.

5. solis, jeb Bāzes līnijas izstrāde nosaka, kāds ir labākais gadījums ES produktu ietvaros, lai reprezentētu šo produktu kopumu, pret kuru tiks attiecināti analizējamie produkti. Bāzes līnija tiek radīta apkopojot no 1. līdz 4. solim analizētos parametrus, kā arī tiek uzskatīta par references punktu 6. un 7. solim. Šajā solī tiek veikta dziļāka izpēte, kas ietver izvēlēta produkta analīzi. Šajā

gadījumā tiek veikta produkta aprites cikla analīze, kas ļauj noteikt tā ietekmi uz vidi, to izsakot skaitliski, procentuāli un iedalot ietekmes kategorijās, kas ļauj analizēt, kāda veida ietekme rodas no šī produkta ražošanas un kurā aprites cikla stadijā tā rodas – materiālu ieguves, transportēšanas, produkta ražošanas vai citā stadijā. Tālāk tiek veikta *TRIZ* analīze, kas ļauj noteikt, kādi ir potenciālie ieteikumi, ar kuriem ir iespējams produktu uzlabot. Ir svarīgi, ka aprites cikla analīze tiek veikta pirms tam, jo *TRIZ* analīze var būt diezgan vispārīga un ir jāveic tās kritiska izvērtēšana, jo ne visi ieteiktie uzlabojumi ir fiziski iespējami un tiešām dod labumu. Bet veicot aprites cikla analīzi vispirms, ir iespējams labāk kritiski novērtēt *TRIZ* analīzes rezultātus.

6. solī tiek identificētas iespējamās dizaina iespējas, to finansiālie aspekti gan ražotājiem, gan patērētājiem un vides ieguvumi no šo dizaina iespēju piemērošanas. Pētījuma ietvaros finansiālie aspekti netiek analizēti, jo netiek veikta aprites cikla izmaksu analīze. Šajā solī ļoti būtiski ir ņemt vērā tirgus konkurētspēju un tehniski iespējamus risinājumus, kā arī koncentrēties uz uzlabojumiem, kas attiecas tieši uz aprites cikla analīzē noteiktajām vājākajām produkta vietām, jeb procesiem, kas rada lielāko ietekmi uz vidi.

Visu iepriekšējo soļu apkopojums tiek veikts 7. solī, kur tiek analizēts dizaina iespēju rezultāts un izvēlēts optimālais rezultāts. Šāda veida uzlabojumi tiek salīdzināti ar esošo situāciju (angļu val. *Business as Usual*), lai noteiktu, vai šie uzlabojumi ir pietiekami nozīmīgi, lai tajos ieguldītu resursus, kā arī, kā tie ietekmē kopējos ES mērķus [8].

TRIZ analīzes metode

TRIZ jeb *TIPS* (angļu val. *Theory of inventive problem solving*) metodes mērķis ir noteikt dizainu alternatīvas un vēlamākos variantus – kas ir inovatīvs un kas nē [9].

TRIZ metode radusies 1940. gados, to ieviesis *G. S. Altšūlers* [10], pētot dažāda veida patentu pieteikumus, kuri iedalās piecās grupās: parasta parametriska attīstība, izmaiņas vai pārkārtojumi izvietojumā, nesakritību identificēšana un to risināšana ar zināmiem fiziskiem principiem, jaunu principu identificēšana, jaunu produktu funkciju identificēšana un to risināšana ar fiziskiem principiem. Pirmās divas kategorijas var nosaukt par rutīnas dizainu, kurās nav ieviesti jauninājumi, taču pārējās var redzēt inovācijas un jaunus risinājumus. Ņemot vērā šo kopsavilkumu, *Altšūlers* ir nonācis pie *TRIZ* inovatīvo problēmu risināšanas metodes, jo ja visas inovācijas ir ar līdzīgām tendencēm, ir iespējams arī prognozēt

turpmākos izgudrojumus un precīzāk analizēt problēmas un rast tām inovatīvus risinājumus.

TRIZ metodes galvenie soļi ir:

- 1) noteikt produkta dizaina problēmu; 2) noformulēt šo problēmu kā konkrētus parametrus, piemēram, detaļu svaru, enerģijas patēriņu, lietojamību, ietekmi uz vidi, utt.;
- 3) noteikt parametru krustošanās punktus, izmantojot *TRIZ* matricu;
- 4) noteikt problēmu risinošos dizaina principus, kas izriet no matricas;
- 5) izmantot atbilstošos dizaina principus, lai veidotu risinājumu produkta dizaina problēmai;
- 6) lietot dizaina risinājumus esošajam produktam, lai radītu jaunu dizainu [3].

TRIZ metode galvenokārt strādā kā kontrolsaraksts (angļu val. *checklist*), kurā jau ir noteiktas iespējamās produkta komponentes, kuras savukārt ir iespējams ievietot matricā un, tās analizējot, noteikt galvenos problēmu avotus, kurus tālāk iespējams uzlabot.

TRIZ metode oriģināli nav paredzēta, kā ekodizaina vai vides dizaina metode, taču tā šajā jomā tiek bieži lietota, jo pārsvarā nav pretrunā ar šajās jomās esošajiem standartiem. Ekodizaina ziņā *TRIZ* metode nav ļoti noderīga, lai optimizētu tieši lietošanas procesu, bet ir vairāk lietderīga, lai uzlabotu produkta uzbūvi. *L. Chechurin* un citi savā pētījumā [10] ir pētījuši, ka *TRIZ* analīzes metode ekodizaina ziņā tiek izmantota, lai vienkāršotu produktu savienojumu vietas un minimizētu izmantoto materiālu daudzveidību, šādā veidā nonākot pie vienkāršāka un lētāka ražošanas procesa, kas rezultātā rada arī mazāku ietekmi uz vidi.

Galvenie uzdevumi veicot produkta analīzi izmantojot *TRIZ* metodi ir:

- analīzes iespēju identifikācija;
- problēmas analīze;
- risinājumu izvēle;
- izvērtēšana ņemot vērā vides, drošības un izmaksu aspektus.

Ļoti bieži ir ieteikts *TRIZ* analīzes metodi izmantot to apvienojot ar kādu citu analīzes veidu, tādējādi iegūstot precīzāku rezultātu un izslēdzot subjektīvā viedokļa radītās kļūdas [11].

Aprite cikla analīze

Aprite cikla analīze ir pamatirki produkta analīzešanai, kurā ietilpst izejmateriālu iegūšana, ražošana, transportēšana, lietošana un likvidēšana (vai reģenerēšana). Aprite cikla analīze apskata katru no šiem procesiem un tajos izejošās izejvielu un enerģijas plūsmas, kā arī radušos pārpalikumus, atkritumus vai citu ietekmi.

Pēc produkta aprites cikla posmu noteikšanas ir jāveic to izvērtēšana, ko dara ne tikai no vides viedokļa, bet arī no ekonomiskā, sociālā un politiskā. Ja produkts tiks analizēts tikai no vides viedokļa ir liela iespēja, ka jaunais produkta dizains var būt pārāk dārgs, vai arī pazūd kāda no funkcionālajām vai vizuālajām īpašībām, kas patērētājiem vairs nerada vēlmi šo produktu lietot [12].

Zinot esoša produkta aprites ciklu un no tā izrietošo ietekmi ir iespējams analizēt, kurā no posmiem ir ieviešamas pārmaiņas, kur var samazināt enerģijas patēriņu vai aizvietot kādu materiālu vai transportu.

Zinātniskajā literatūrā ir pieejama informācija par vairākām apkures katlu aprites cikla analīzēm. *M. Cellura* [13] un citi autori ir veikuši aprites cikla analīzi biomasas apkures katlam un ir noteikts, ka lielākā ietekme uz vidi rodas tieši lietošanas procesā, tādēļ tiek izteikti priekšlikumi kā mazināt lietošanas procesā patērēto enerģiju, kurināmo, samazināt siltuma zudumus un palielināt apkures katla efektivitāti. Šajos priekšlikumos ietilpst:

- 1) izmantot efektīvu siltumizolāciju siltuma zudumu samazināšanai;
- 2) radīt efektīvu automātisko kurināmā padeves sistēmu;
- 3) samazināt izejošo dūmgāzu temperatūru, izmantojot efektīvu siltuma apmaiņas sistēmu, un nodrošinot minimāli nepieciešamo padotā gaisa daudzumu;
- 4) palielināt izmantoto elektroiekārtu efektivitāti, kas samazinātu elektroenerģijas patēriņu;
- 5) ražošanai izvēlēties materiālus, kas ir pārstrādāti un pārstrādājami [13].

M. De Paepe savukārt norāda, ka efektīvāku apkures iekārtu izmantošana dzīvojamās ēkās palīdz sasniegt labākus rezultātus arī ēku energoefektivitātes jomā [14].

Pilotuzņēmuma un produkta apraksts

Darba ietvaros tiek analizēts Latvijā ražots granulu apkures katls. Apkures katls ir veidots tā, lai to būtu viegli uzstādīt un apkopt. Ērtākai lietošanai ir uzstādīts vadības bloks, ērtas atveres tīrīšanai un automātiska kurināmā padeves sistēma.



Izvēlēta katla jauda ir 25 kW, kas atbilst noteiktajai, lai tam tiktu piemērotas direktīvas un regulu prasības, kā arī, kā kurināmais var tikt izmantotas malkas granulas vai malka. Katla galvenie parametri un ekodizaina prasības ir apkopotas 4.4. tabulā.

4.3. att. Izpētes apkures katls ar granulu tvertni.

4.4. tabula

Analizējamā apkures katla parametri [15]

Parametrs	Izpētes katls	Ekodizaina prasības
Nominālā jauda, kW	25	–
Siltumapmaiņas lietderība, %	88	–
Kurināmā sadedzināšanas lietderība, %	91	–
Lietderības koeficients	80	77
Siltumnesēja maksimālais spiediens, bar	1,5	–
Siltumnesēja darba temperatūra, °C	70–90	–
Siltumnesēja atgaitas minimālā pieļaujamā temperatūra, °C	65	–
Izvadīto dūmgāzu temperatūra, °C	120–140	–
Patērētais gaiss daudzums pie nominālās jaudas, m ³ /h	29	–
Elektroenerģijas vidējais patēriņš, W	60	–
Granulu patēriņš pie nominālās jaudas, kg/h	8	–
Darbības trokšņa līmenis, dB	70	–
Cieto daļiņu izmešu daudzums ar nominālo slodzi, mg/m ³	16	40

Katlu ražošanas process ietver četrus etapus.

- *Metālapstrādes cehs, iesk. lāzergriešanu, virpotavu un sagatavju cehu.* Uzņēmumā atrodas metālapstrādes cehs, kurā tiek grieztas melnā metāla loksnes, kas tālāk tiek locītas un metinātas.
- *Metināšanas cehs.* Metināšana tiek veikta ar gāzes palīdzību. Tālāk tās apstrādātas nonāk krāsošanas cehā.
- *Krāsošanas cehs.* Krāsošanas process ir optimizēts, lai, pēc vienas detaļas krāsošanas, būtu iespējams pulverkrāsu savākt un izmantot atkārtoti, tādā veidā mazinot radušos atkritumus. Liela daļa katlu sastāvdaļu, tai skaitā elektroierīces, tiek iepirktas.
- *Noliktava.* Gatavā produkcija tiek uzglabāta uzņēmuma robežās un tālāk nonāk pie izplatītājiem vai lietotājiem.

Rezultāti

Ekodizaina prasību ievērošana ražošanas uzņēmumā

Ievērojot pētījuma metodoloģiju (sk. 4.2. attēlu), pirmais solis vērtēšanas algoritmā ir produkta atbilstības novērtējums attiecībā uz noteiktajām ekodizaina prasībām.

Analizējamā apkures katla ražotāja darbības atbilstības novērtējums ekodizaina principiem ir attēlots 4.5. tabulā.

Galvenās neatbilstības, kas izriet no priekšizpētes, ir vides profila un vides parametru neesamība, respektīvi, esošajam katlam nav veikta vides snieguma analīze un nav noteikts, kāda ir tā kopējā ietekme uz vidi. Lai gan ražotājs nav sagatavojis oficiālu informāciju par katla ražošanā izmantotajiem materiāliem vai patērēto elektroenerģijas un siltumenerģijas apjomu, šo informāciju pēc papildus pieprasījuma, ir iespējams iegūt. Katla lietošanas pamācībā ir detalizēti izklāstīts, kāda ir pareiza katla uzstādīšanas shēma, kā arī kā tas pareizi jālieto, tai skaitā, kādai jābūt kurināmā kvalitātei. Ņemot vērā to, ka kā kurināmo ir iespējams izmantot ne tikai koksnes granulas, bet arī malku, ir sniegta papildus informācija, kā rīkoties, kurinot katlu ar malku.

Aprite cikla analīze

Mērķis, robežas un funkcionālā vienība

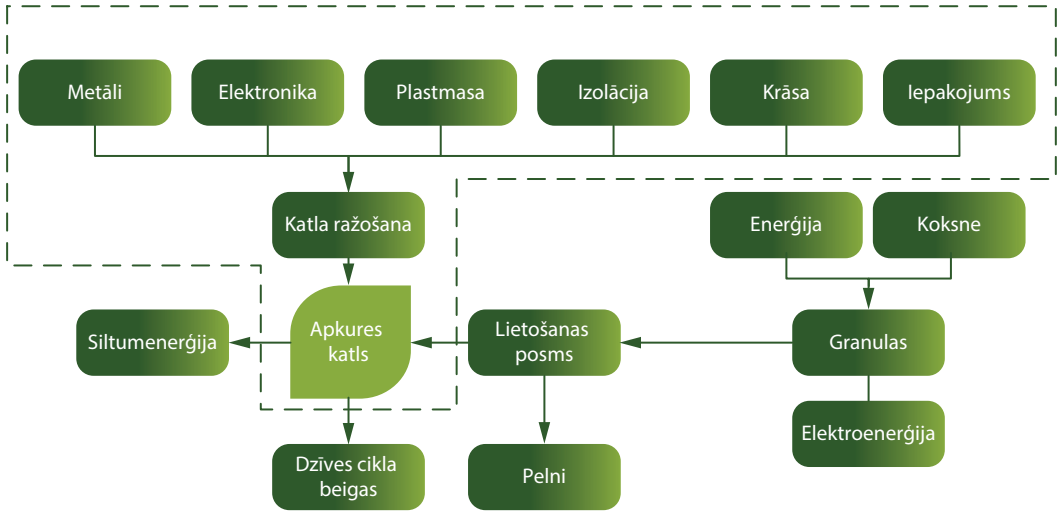
Darbā veiktās aprites cikla analīzes galvenais uzdevums ir noteikt, kāda ir konkrētā produkta ražošanas procesa ietekme uz vidi, tādēļ ir nepieciešams veikt aprites cikla analīzi un tālāk to analizēt, nosakot, vai šie rezultāti ir atbilstoši Eiropas tirgū noteiktajām prasībām, un kādi ir iespējamie uzlabojuma posmi vai aspekti.

Ekodizaina prasību priekšizpēte [5]

Nr. p. k.	Prasība	Atbilstība
1	CE marķējums produktam	Atbilst
2	Ražotājs var sniegt informāciju par produkta sastāvdaļām un mezgliem – to sastāvs un enerģijas, materiālu un/vai resursu patēriņš	Informācija nav sagatavota patērētājiem, taču ražotājs var sniegt informāciju par izmantotajiem kopējiem materiāliem ražotnē un izmantoto enerģijas patēriņu ražošanas procesā.
3	Patērētājiem tiek sniegta informācija par pareizu lietošanu, lai nodrošinātu produkta ilgtspējību	Patērētājiem tiek nodrošināta produkta lietošanas instrukcija, kas paskaidro, kā pareizi apieties un lietot produktu.
4	Ražotājs var sniegt informāciju par produkta ekoloģisko profilu un ekodizaina priekšrocību aprakstu	Ražotājs nav spējīgs šādu informāciju sniegt.
5	Tehniskā dokumentācija ietver: <ul style="list-style-type: none"> • ražojuma un tā paredzētās izmantošanas vispārējo aprakstu • vides novērtējuma pētījuma rezultātus • ekoloģisko profilu • dizaina specifiku aprakstu, kas saistīts ar vides dizainu • atbilstošu standartu aprakstu • informāciju par pareizu lietošanu un rīkošanos aprites cikla beigu posmā • veikto mērījumu rezultātus par ekodizaina prasībām 	<p>Atbilst</p> <p>Neatbilst</p> <p>Neatbilst</p> <p>Neatbilst</p> <p>Neatbilst</p> <p>Atbilst</p> <p>Neatbilst</p>

Lai varētu veikt analīzi, ir nepieciešams noteikt produkta funkcionālo vienību, kas ir atsauces vienība, kura kvantitatīvi nosaka produkta darbību. Funkcionālā vienība šajā gadījumā ir 1 kW no katla uzstādītās nominālās jaudas.

Aprites cikla analīzes veikšanai, nepieciešams noteikt konkrētas sistēmas robežas, kurās tiks veikts novērtējums. Šajā gadījumā tiek ņemti vērā visi izejmateriāli, no kā katls ir ražots, attālums to transportēšanai līdz ražotnei, ražošanas procesā patērētā elektroenerģija un siltumenerģija. Tālākais katla lietošanas posms, kurā ietilpst gatavā katla transportēšana, lietošana un likvidācija, netiek apskatīts. Aprites cikla analīzē netiek iekļauti arī katla lietošanas dati, piemēram, saražotais siltumenerģijas daudzums. Sistēmas robežas ir precīzāk norādītas 4.4. attēlā. Ar raustītu līniju grafikā ir iezīmētas aprites cikla analīzē apskatītās sistēmas robežas.



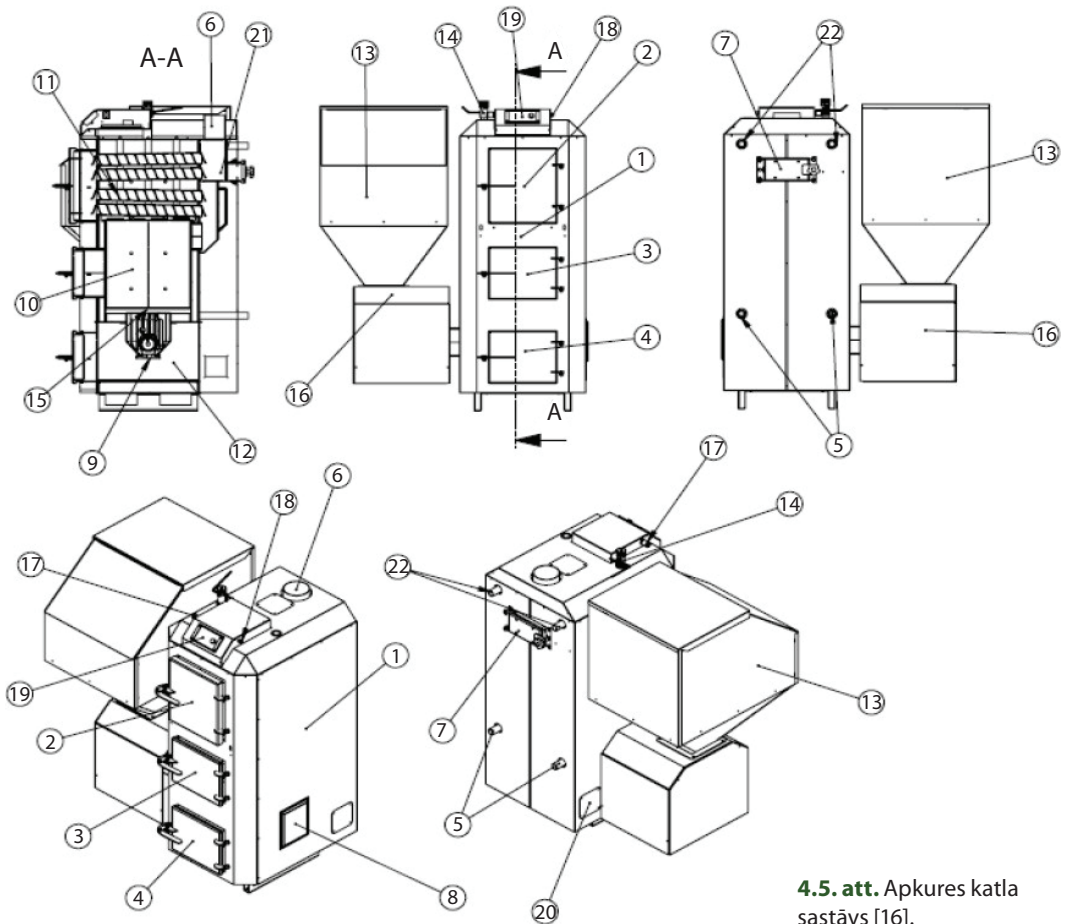
4.4. att. Katla aprites cikla analīzes sistēmas robežas.

Aprites cikla analīzē tiek iekļauti konkrētā produkta sastāvā esošie materiāli, to transportēšana un apstrāde, kā arī ražošanas procesā patērētais elektroenerģijas, siltumenerģijas un ūdens daudzums. Kā vērā ņemamie aspekti šajā posmā ir ražotnes patērētais enerģijas apjoms apgaismojumam un patērētie administratīvie materiāli. Kā vērā ņemamie aspekti šajā posmā ir ražotnes patērētais enerģijas apjoms apgaismojumam un patērētie administratīvie materiāli.

Aprites cikla uzskaitē

Aprites cikla analīzes uzskaitē ietver visu izmantoto un analizēto materiālu apkopojumu, kā arī analīzē izmantoto resursu (elektroenerģijas un siltumenerģijas) apjomus. Darba ietvaros nebija iespējams iegūt informāciju par precīzu analizējamā katla sastāvu un izmantotajiem materiāliem, kā arī to izcelsmes valstīm, tādēļ uzskaites veidošanai lietota proporcijas metode – balstoties uz literatūras apskatu un *B. Monteleone* pētījumā [15] publicētās aprites cikla uzskaites un materiālu saraksta. Tiek pieņemts, ka izmantotie materiāli ir tādi paši, taču, ņemot vērā to, ka katlu kopējā masa atšķiras, šo materiālu apjomus analizējamam katlam tiek aprēķināti katru individuālo materiālu izdalot ar pētījumā publicētā katla kopējo svaru, tādā veidā iegūstot proporciju, kā šie materiāli ir sadalīti. Tālāk šo proporciju sareizinot ar analizējamā katla kopējo masu, iegūstot visticamāko pieņēmumu katla sastāvam.

Katla uzbūvi un komponentu sastāvu var aplūkot 4.5. attēlā, ar paskaidrojumiem 4.6. tabulā. Katla lietošanas instrukcijā parādīts apkures katls un tā sastāvdaļas, taču netiek minēti to materiāli, kas, kā jau iepriekš minēts, ir viens no ekodizaina direktīvas priekšizpētes punktiem – ražotājs ir spējīgs sniegt informāciju par katla sastāvu un izmantotajiem materiāliem, kā arī to izcelsmi, ko šajā gadījumā ražotājs nav nodrošinājis. Līdz brīdim, kad direktīvas noteikumi stāties spēkā, ražotājam šāda informācija ir jāsagatavo, līdz ar produkta ekoloģisko profilu un ietekmes uz vidi novērtējumu.



4.5. att. Apkures katla sastāvs [16].

Ražotāja sniegtā informācija par apkures katla sastāvdaļām [17]

Numurs	Sastāvdaļa	Numurs	Sastāvdaļa
1.	Apkures katla apšuvums	13.	Granulu tvertne
2.	Konvektīvās daļas tīrīšanas lūka	14.	Termostatiskais vilkmes regulators (atsevišķi no komplektācijas)
3.	Kurtuves durvis	15.	Karstumizturīgais režģis (atsevišķi no komplektācijas)
4.	Priekšējās pelnu kastes durvis	16.	Granulu padeves sistēma
5.	Pieslēguma vieta apkures sistēmai (atpakaļgaita)	17.	Stop poga
6.	Dūmvads	18.	Termo aizsardzība
7.	Tīrīšanas lūka	19.	Vadības pults
8.	Granulu padeves pieslēgvietā	20.	Padeves el. pieslēguma vieta
9.	Lūka degļa tīrīšanai	21.	Dūmgāzu izvads ar tīrīšanas sistēmu (atsevišķi no komplektācijas)
10.	Kurtuve	22.	Pieslēguma vieta apkures sistēmai (turpgaita)
11.	Konvektīvās daļas caurules ar turbolizatoriem		
12.	Pelnu kaste		

Daļa no šeit norādītajām detaļām nav iekļauta apkures katla sākuma komplektācijā, kā piemēram, termostatiskais vilkmes regulators, karstumizturīgais režģis un dūmgāzu izvads ar tīrīšanas sistēmu, taču tos ir iespējams iegādāties atsevišķi. Aprites ciklā izmantoto datu uzskaiti iespējams aplūkot 4.7. tabulā.

Katla sastāvā galvenokārt izmantoti tādi materiāli kā melnais metāls, krāsainais metāls, metināmā stieple, akmens vate, pulverkrāsa, kā arī iepakojums – plastikāta plēve. Katla komplektācijā izmantoti arī gatavi materiāli un produkti – elektroierīces, vadi, skrūves un citi. Katla ražošanas procesā izmantotā siltumenerģija tiek ražota uz vietas, izmantojot granulu katlu, kā arī tiek izmantota elektroenerģija no elektrotīkla.

Pieņēmumi par aprites cikla uzskaites datiem transportēšanas posmam ir apkopotī 4.8. tabulā. Tā kā darba gaitā nav bijuši pieejami precīzi dati par katla izejmateriālu izcelsmi, dati tiek pieņemti balstoties uz aptuvenu ražotāja sniegto informāciju un aptuveni pieņemtajiem attālumiem. Aprites cikla analizē izmantojamais lielums tiek aprēķināts materiālu noteikto masu tonnās attiecinoši uz funkcionālo vienību un reizinoši to ar transportējamo attālumu, rezultātā iegūstot tonnkilometrus (tkm).

Uzņēmuma ražošanas procesiem patērētā elektroenerģija ir 149,9 MWh gadā. No ražotāja sniegtās informācijas ir zināms, ka gadā tiek saražoti aptuveni 290 katli, no kuriem 96 ir pētījumā analizētie katli. Tādēļ ir noteikta proporcija, dalot analizējamo

katlu skaitu ar kopējo katlu skaitu, un šo proporciju sareizinot ar kopējo ražošanas vajadzībām patērēto elektroenerģijas daudzumu kWh gadā, tādējādi iegūstot īpatnējo enerģijas patēriņu uz vienu pētījumā analizēto katlu. Lai iegūtu datus, kas attiecas uz izvēlēto funkcionālo vienību, kas ir 1 kW, šis apjoms tika izdalīts ar 25 kW, kas ir katla nominālā jauda.

4.7. tabula

Aprites cikla datu uzskaitē

Materiāls	Daudzums	Mērvienība	Avots
Elektroenerģija	20,61	kWh	Uzņēmuma piesārņojuma atļauja un ražotāja sniegtā informācija
Siltumenerģija	36,44	kWh	
Akmensvate	0,13	kg	<ul style="list-style-type: none"> • Materiāli un to daudzums – aprēķini, balstoties uz literatūru un ražotāja sniegto informāciju; • Ietvertā enerģija (angļu val. <i>embodied energy</i>) – <i>Ecoinvent</i> datu bāze
Dažāda veida metāli	0,00	kg	
	0,98	kg	
	0,88	kg	
	2,94	kg	
	4,66	kg	
	1,79	kg	
Elektroierīces	2,91	kg	
	0,15	kg	
Dažāda veida plastmasas	0,01	kg	
	0,06	kg	
	0,03	kg	
	0,00	kg	
	0,12	kg	
Iepakojuma plēve	0,01	kg	
Kartons	0,06	kg	
Brīdinājuma uzlīmes	0,00	kg	
Lietošanas pamācības	0,00	kg	
Pulverkrāsa	0,07	kg	

4.8. tabula

Aprites cikla uzskaites dati transportēšanas posmam

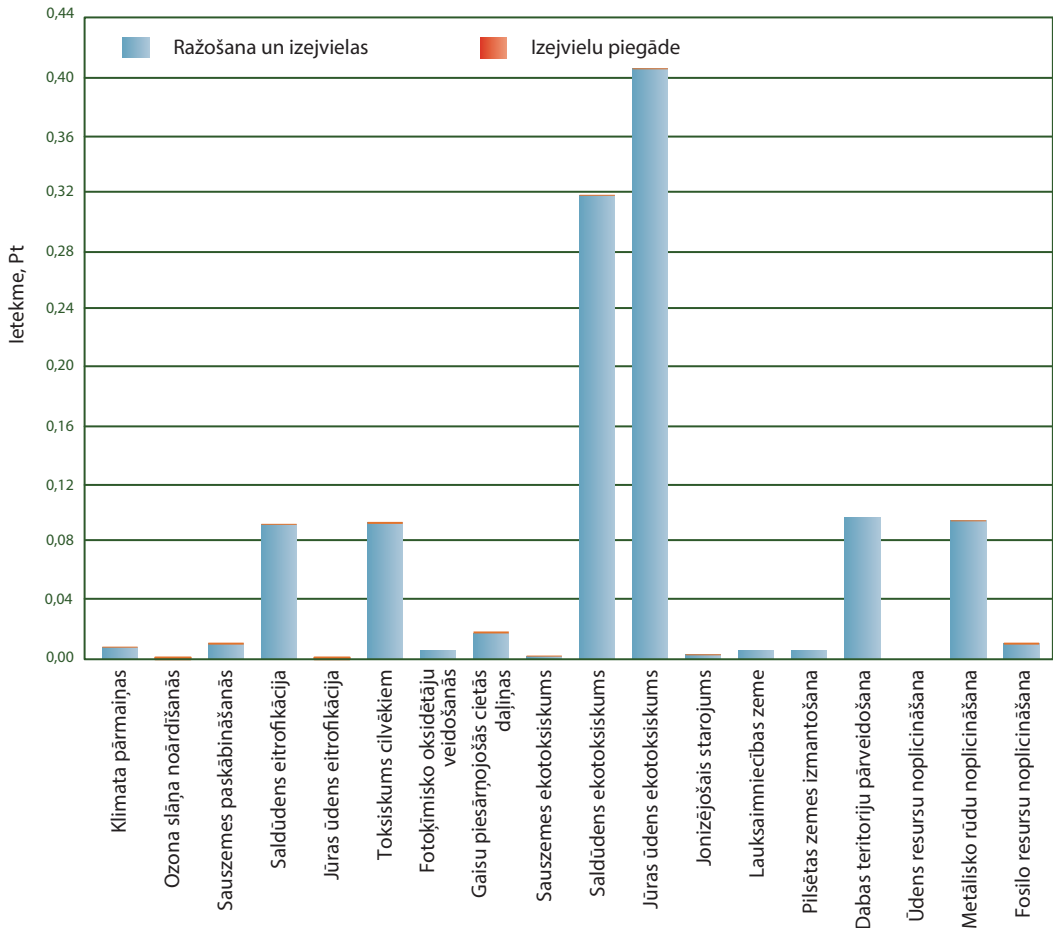
Transportējamais materiāls	Daudzums	Mērvienība	Transportēšanas veids
Siltumizolācija	0,0132	tkm	Vieglā kravas automašīna
Metāli	28,3072	tkm	Dzelzceļa transports
Elektroierīces	0,4908	tkm	Kravas automašīna
Plastmasas	1,2312	tkm	Gaisa transports
Iepakojums	0,0108	tkm	Kravas automašīna
Kartons	0,0066	tkm	Vieglā kravas automašīna
Pulverkrāsa	0,0688	tkm	Kravas automašīna

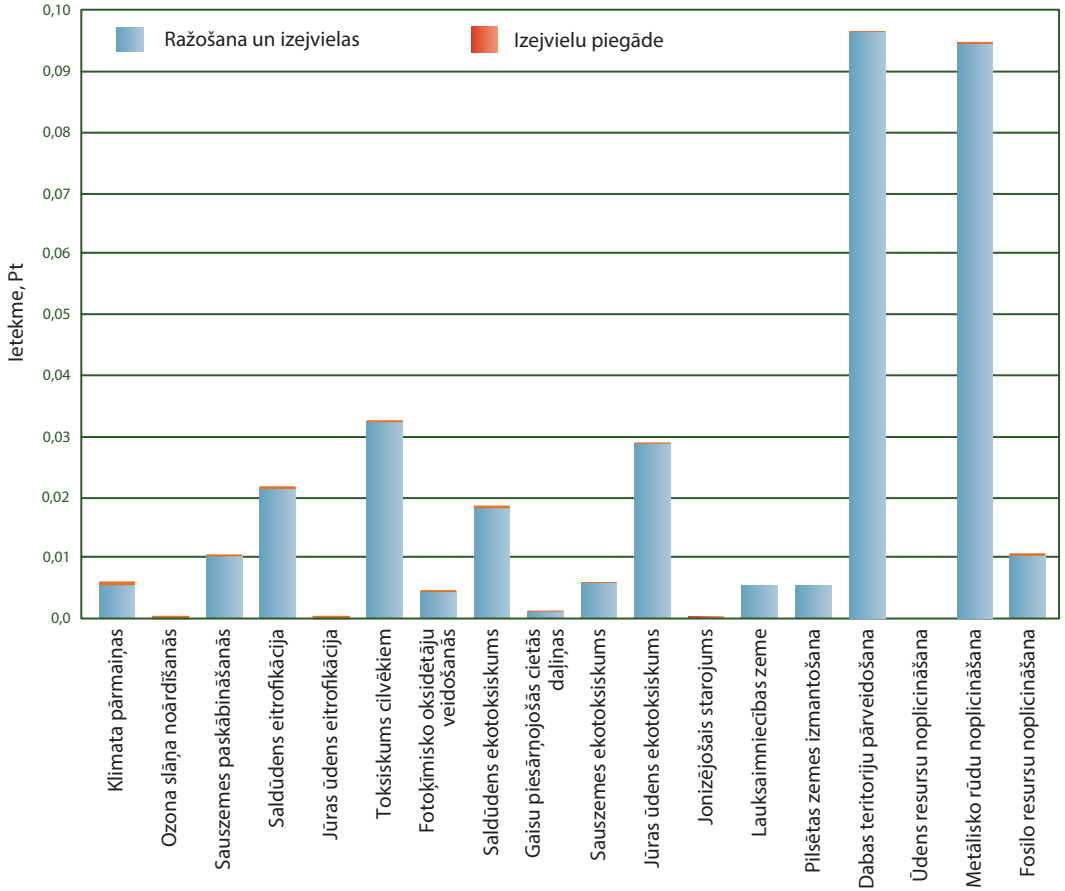
Aprites cikla novērtējums

Ietekmes uz vidi novērtējumam izmantota *ReCiPe* aprēķina metode vidustermiņa un ilgtermiņa ietekmes kategorijās. Lai noteiktu parametra vai produkta aprites cikla posma procentuālo ietekmes vērtību katrā ietekmes kategorijā, tiek izmantoti raksturojuma faktori, kas izsaka, kādu pienesumu viena masas vienība no kopējās produkta uzskaites dod visai ietekmes kategorijai.

Var redzēt, ka ilgtermiņa kategorijā (sk. 4.6. attēlu) lielākā ietekme visās sadaļās rodas tieši no izejvielu izmantošanas un produkta ražošanas procesa, nevis no izejvielu transportēšanas. Lielākā ietekme novērojama gan saldūdens, gan sālsūdens ekotoksicitātes palielināšanās. Samērā liela ietekme rodas arī saldūdens eitrofikācijas procesā, kā arī kaitējumā cilvēku veselībai, izmantotās zemes izmaiņās un metālisko resursu noplicināšanās.

4.6. att. Normalizētās viduspunkta vērtības ietverot ilgtermiņa emisijas.



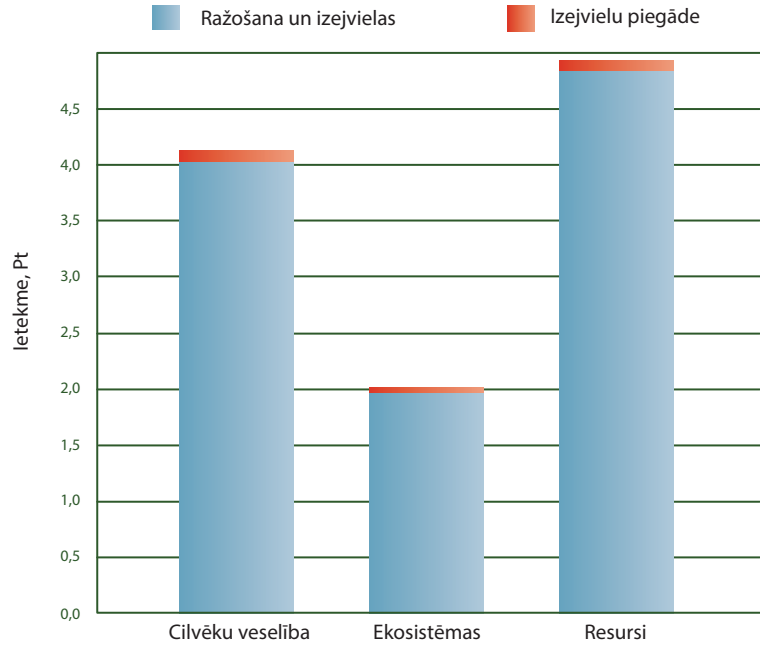


Aplūkojot vidustermiņa ietekmes rezultātus (sk. 4.7. attēlu), lielākā ietekme radīsies izmantotās zemes izmaiņās un metālisko resursu noplicināšanās, kas ļauj secināt, ka saldūdens un sālsūdens ekotoksicitātes palielināšana nebūs tūlītējas sekas šiem ražošanas procesiem un būs novērojamas tikai ilgtermiņā. Izmantotās zemes izmaiņas īstermiņā rada lielāku efektu, jo tiek analizēta, kā ražošanas vai cita procesa laikā aizņemtā un pārveidotā zeme. Pastāv liela iespējamība, ka ilgtermiņā šīs zemes spēs atjaunoties un atgriezties, vai daļēji atgriezties, sākotnējā stāvoklī, tādēļ arī ietekme ir lielāka tikai īstermiņa kategorijā.

4.8. attēlā redzami beigu punkta analīzes rezultāti, kas ir līdzīgi normalizētiem rezultātiem. Tas norāda uz to, ka, arī piešķirot nozīmības pakāpi katram faktoram, joprojām resursu noplicināšana rada visbūtiskāko ietekmi uz vidi. Taču svērtā analīze parāda, ka ietekme uz cilvēku veselību tomēr ir nozīmīgāka, kā iepriekš secināts, kas tomēr nedaudz maina kopējo skatījumu uz katla aprites

4.7. att. Normalizētās viduspunkta vērtības neietverot ilgtermiņa emisijas.

cikla kopējo ietekmi. Taču joprojām ietekme uz ekosistēmu ir salīdzinoši mazāka. Ietekme tika analizēta, gan ietverot, gan neietverot ilgtermiņa emisijas, taču abos gadījumos rezultāts bija līdzīgs.



4.8. att. Svērtās beigu punkta vērtības.

TRIZ analīze

Ekodizaina direktīvā nosaka, ka produkta uzlabošanai piemērojamajiem īstenošanas pasākumiem jāatbilst noteiktiem kritērijiem:

- 1) no produkta lietotāja viedokļa netiks nodarīts kaitējums produkta funkcionalitātei;
- 2) netiek negatīvi ietekmēta veselība, drošība un vide;
- 3) netiek būtiski ietekmēti parametri, kas saistīti ar produkta izmaksām;
- 4) produkts joprojām ir konkurētspējīgs;
- 5) ieviešot pasākumu, ražotājam nav jāizmanto patentēta tehnoloģija, lai to īstenotu;
- 6) ražotājam netiek uzlikts pārāk liels administratīvais slogs.

Ņemot vērā šos pamatnoteikumus, arī papildus ražojuma uzlabošana būtu jāveic tajos aprites cikla posmos, kuros konstatēta nozīmīga ietekme uz vidi [5]. 4.9. tabulā attēloti atsevišķi parametri, kurus nav iespējams mainīt, lai neizmainītu arī paša katla darbību un nepadarītu to funkcionēt nespējīgu.

4.9. tabula

Fizikālo un darbības faktoru ierobežojumi [5], [17]

Faktors	Ierobežojumi
1. Produkta izmēra ierobežojumi	Nepieciešamais minimālais attālums produkta novietojumā
2. Efektivitātes prasības	77 %
3. Cieto daļiņu emisijas	20 mg/m ³
4. Organisko gāzveida savienojumu emisijas	60 mg/m ³
5. CO emisijas	300 mg/m ³
6. NO _x emisijas	300 mg/m ³
7. Izmantotie materiāli	Karstumu izturīgi materiāli; izolācijas materiāli, brīdinājuma uzlīmes.
8. Aksesuāri/papildus komponentes	Vadības sistēma – nemaināma
9. Kurināmā prasības/ saderība	Granulu atbilstība standartiem: <ul style="list-style-type: none"> • Austrija – “ONORM M 7135 Austrian Association pellets” (briketes un granulas); • Anglija – “The British BioGen Code of Practice for biofuel” (granulas); • Vācija – “DIN 51731” (briketes un granulas); • ASV – “Standard Regulations & Standards for Pellets in the US: The PFI” (granulas); • Šveice – “SN 166000” (briketes un granulas); • Zviedrija – “SS 187120” (granulas). Malkas atbilstība – mitruma saturs ne vairāk kā 25 %.

TRIZ analīze tiek veikta matricas formā un kopā tā ietver 40 parametrus (sk. 4.9. att.). Šajā analīzē ir izvēlēti 16 parametri, kas atbilst analizējamajam granulu katlam:

- 1) stacionārā objekta svars;
- 2) stacionārā objekta garums;
- 3) stacionārā objekta laukums;
- 4) stacionārā objekta tilpums;
- 5) spiediens;
- 6) forma;

- 7) objekta sastāva stabilitāte;
- 8) temperatūra;
- 9) stacionārā objekta enerģijas patēriņš;
- 10) jauda;
- 11) enerģijas zudumi;
- 12) objekta radītie kaitīgie faktori;
- 13) darbināšanas vienkāršums;
- 14) labošanas vienkāršums;
- 15) ierīces sarežģītība;
- 16) produktivitāte.

4.10. tabula

TRIZ analīzes tabulas fragments [18]*

	Stacionārā objekta svars	Stacionārā objekta garums	Stacionārā objekta laukums	Stacionārā objekta tilpums	Spriedze vai spiediens	Forma
Stacionārā objekta svars		10; 1; 29; 35	35; 30; 13; 2	5; 35; 14; 2	13; 29; 10; 18	13; 10; 29; 14
Stacionārā objekta garums	35; 28; 40; 29		17; 7; 10; 40	35; 8; 2; 14	1; 14; 35	13; 14; 15; 7
Stacionārā objekta laukums	30; 2; 14; 18	26; 7; 9; 39			10; 15; 36; 37	
Stacionārā objekta tilpums	35; 10; 19; 14	35; 8; 2; 14			24; 35	7; 2; 35
Spriedze vai spiediens	13; 29; 10; 18	35; 1; 14; 16	10; 15; 36; 37	35; 24		35; 4; 15; 10
Forma	15; 10; 26; 3	13; 14; 10; 7		7; 2; 35	34; 15; 10; 14	

* Uzlabojumu (skaitliskās vērtības tabulā) uzskaitījums ir sniegts 4.9. attēlā.

Katram parametru krustpunktam ir jau noteikti iespējamie uzlabojumi. 4.10. tabulā ir redzams matricas fragments, kurā tiek attēloti uzlabošanas pasākumu kārtas numuri katrā no parametru krustpunktiem. Piemēram, lai regulētu objekta garumu un tilpumu, ir iespējami četri pasākumi:

- 1) parametru maiņas:
 - a) izmainīt objekta fizikālo stāvokli (gāze, šķidrums, cieta viela);
 - b) izmainīt koncentrāciju vai konsistenci;
 - c) izmainīt elastības pakāpi;
 - d) izmainīt temperatūru;

- 2) atsvari:
 - a) apvienot objektu vai detaļu ar citu, lai kompensētu tā svaru;
 - b) lai kompensētu objekta svaru, integrēt to vidē (izmantojot aerodinamisko, hidrodinamisko vai citus spēkus);
- 3) izņemt detaļas:
 - a) atdalīt traucējošo daļu un mainīt tā novietojumu;
- 4) sfēriskas liknes:
 - a) taisnleņķa detaļu, virsmu vai formu vietā izmantot noapaļotas formas;
 - b) izmantot veltņus, lodes, spirāles, kupolus;
 - c) pāriet no linēras kustības uz rotējošu, izmantot centrālās kustības spēku.

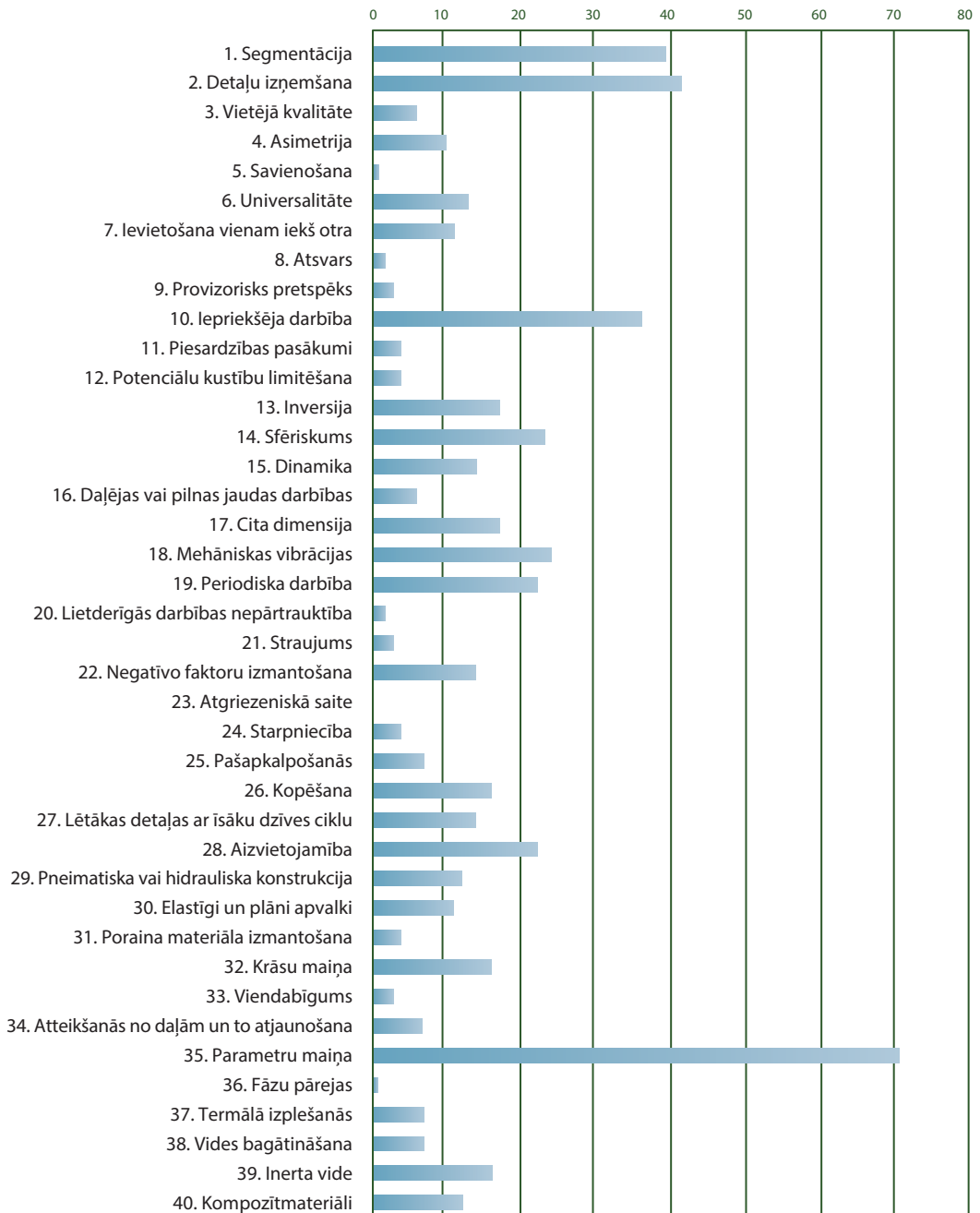
Kā jau redzams, šie pasākumi ne vienmēr ir pielāgojami konkrētajam produktam, tādēļ pēc analīzes attiecināmajiem ieteikumiem jāpieiet kritiski un jāizvērtē, vai šādi labojumi ir fiziski iespējami, kā arī vai tie nekādā veidā nemaina katla funkcijas.

Ņemot vērā visas analīzes ieteiktos uzlabojumus, var secināt, ka vairāki uzlabojuma varianti ir attēloti vairākas reizes, kas nozīmē, ka tie ir spējīgi uzlabot vairākus parametrus. Uzlabojumu biežums ir attēlots 4.9. attēlā. Visbiežāk kā uzlabojums tiek minēts “parametru maiņa”, kurā kā jau minēts, ietilpst dažādu fizikālo parametru izmaiņas, taču, analizējot detalizētāk, var secināt, ka tieši uz granulu apkures katlu šādi ieteikumi nebūs attiecināmi. Kā otrs populārākais variants ir “detaļu izņemšana”, kas izpaužas kā traucējošās daļas izņemšana jeb aizvietošana ar citu. Tālāk viens no variantiem ir “segmentācija”, kas iedalās vairākās daļās:

- 1) sadalīt objektu vairākās neatkarīgās daļās;
- 2) radīt produktu, ko ir viegli izjaukt;
- 3) palielināt sadrumstalotības vai segmentācijas pakāpi.

Galvenā šī ieteikuma doma ir ražojuma sadalīšana vairākos objektos, ar kuriem ir vieglāk apieties, tos ir vieglāk nomainīt, ja ir nepieciešama produkta labošana. Kā arī, tas ir liels atspazs katla aprites cikla beigās, jo, ja to ir iespējams sadalīt detaļās, tad ir lielāka iespēja pārstrādāt pēc iespējas vairāk materiālu, nerodoties nekādiem piemaisījumiem. Viens no ekodizaina galvenajiem principiem ir veidot viegli atdalāmas savienojuma vietas, bez dažādu materiālu sakausējumiem, kas it īpaši attiecas uz elektroiekārtām, kas ir arī katla sastāvā.

Biežums



4.9. att. Biežāk ieteiktie uzlabojumi [17].

Kā ceturtais ieteikumu punkts ir “iepriekšēja darbība”, kurš iedalās:

- 1) laicīga (pirms tas ir nepieciešams) objekta nomaiņa;
- 2) objektu priekšsakarītošana tā, lai brīdī, kad tie ir nepieciešami, netiek zaudēts laiks to meklēšanai.

Ši ieteikuma īstenošana var rezultēties enerģijas patēriņa ietaupīšanā gan lietošanas, gan ražošanas posmā. Lietošanas posmā laicīgi nomainot detaļas vai laicīgi veicot pienācīgu katla apkopi, var izvairīties no tā, ka katls sāk darboties arvien neefektīvāk, tādā veidā patērējot vai nu vairāk elektroenerģijas, ja runājam par katla elektroierīcēm, vai arī vairāk kurināmā, ja tas ir attiecināms uz katla sastāvu. Ražošanas posmā ietaupīt enerģiju iespējams, ja tiek optimizēts ražošanas process, tādā veidā neradot nekādas aizķeršanās, jo gaidot kāda procesa sākšanos ir iespējams, ka joprojām tiek darbināta kāda ierīce, kas patērē elektroenerģiju. Bet ja šis process tiek optimizēts un notiek bez jebkādam aizķeršanās, tad lieki enerģijas patēriņi nerodas.

Viens no biežākajiem ieteikumiem ir “sfēriskās līknes”, kas, kā jau iepriekš aprakstīts, galvenokārt paredz taisnleņķa stūru un plakānu virsmu noapaļošanu, kas var rezultēties ar efektīvāku produkta lietošanu. Šis ieteikums var dot dažādus plusus, kā piemēram, samazināt katla virsmu, kā arī siltuma zudumus, jo sfēriskās virsmās nerodas termiskie tilti, vai arī ietaupīt izmantoto materiālu daudzumu, gan metālu ziņā, gan arī siltumizolācijas materiāla vai pat izmantotās krāsvielas ziņā. Taču lai gan šādai rīcībai ir vairākas pozitīvas iezīmes, tās var tikt atsvērtas ar to, ka sfērisku materiālu izgatavošana un savienošana var prasīt daudz vairāk resursu, ne tikai tādēļ, ka no šādiem materiāliem rodas vairāk atgriezumī, bet gan arī tādēļ, ka var tikt patērēts lielāks daudzums enerģijas, lai ražotu, piemēram, sfēriskas formas metāla loksnes.

Nākamais ieteikums ir “periodiska darbība”, kurā ietilpst:

- 1) nepārtrauktas darbības vietā izmantot periodisku;
- 2) ja darbība jau ir periodiska, izmainīt perioda magnitūdu vai biežumu;
- 3) izmantot pauzes starp impulsiem, lai radītu dažādas darbības.

Šāda veida darbība jau tiek plaši lietota granulu katlu lietošanā – tieši granulu padeves ziņā. Vienmērīga un periodiska granulu padošana palīdz noturēt vienmērīgu degšanas procesu, neradot pārkaršanu vai pārāk lielas temperatūras svārstības, kas arī var radīt siltuma zudumus, kā arī nodrošina efektīvāku degšanas procesu, vieglāk pievadot skābekli, tādā veidā pilnīgāk izmantojot kurināmo un nodrošinot, ka rodas mazāk pelnu.

Secinājumi

Veicot produkta priekšizpēti, aprites cikla analīzi un *TRIZ* analīzi, ir noteikts, ka analizējamais produkts, apkures katls, daļēji atbilst Ekodizaina direktīvā noteiktajām prasībām. Pēc saņemtās informācijas par apkures katla testa rezultātiem, var spriest, ka efektivitāte un emisiju apjomi ir Ekodizaina direktīvā un tai atbilstošajās regulās noteikto maksimālo vērtību robežās. Taču tā kā ražotājs nevar sniegt pietiekamu aprakstu par apkures katla ekoloģisko profilu, tiek konstatētas neatbilstības ar Ekodizaina direktīvu, jo tajā ir noteikts, ka šādi informācijai ir jābūt lietotājiem pieejamai.

TRIZ analīzes rezultāti parāda iespējamus uzlabojumus apkures katla dizainā. Kā viena no biežāk minētajām iespējām ir apkures katla parametru maiņa, kura, balstoties uz iepriekš veikto literatūras analīzi, interpretēta kā optimālāka un kvalitatīvāka katla lietošana. Tas var izpausties, kvalitatīvāka kurināmā izvēlē, gaisa padeves optimizācijā degšanas procesa nodrošināšanai.

Izmantotā literatūra

- [1] European Commission, Waste of electrical and electronic equipment. Available at: <http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm#>
- [2] Prendeville, S., O'Connor, F., Bocken, N., Bakker, C., 2016. Uncovering ecodesign dilemmas: A path to business model innovation. *Journal of Cleaner Production* 143, 1327–1339.
- [3] Otto, K. N., Wood, K. L., 2001. *Product Design. Techniques in reverse engineering and new product development.* Prentice Hall, New Jersey, USA, 1051 p.
- [4] Parker, D., Riley, K., Robinson, S., Symington, H., Hollins, O., 2015. *Remanufacturing Market Study. Report, European Remanufacturing Network,* 145 p.
- [5] Directive E 2009/125/EC establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. *Official Journal of the European Union* L 285, 10–35.
- [6] Market surveillance for products. European Commission. Available at: <https://ec.europa.eu/growth/single-market/goods/building-blocks/market-surveillance_en>.
- [7] Commission Delegated Regulation (EU) 2015/1186 supplementing Directive 2010/30/EU of the European Parliament and of the Council with regard to the energy labelling of local space heaters. *Official Journal of the European Union* L 193, 20–42.
- [8] Kemna, R., et. al., 2011. *Methodology for Ecodesign of Energy-related Products. MEErP 2011 Project Report,* European Commission, Brussels, Belgium, 197 p.
- [9] Rosli, M. U., Ariffin, M. K. A., Sapuan, S. M., Sulaiman, S., 2013. Integrating TRIZ and AHP: A MPV's Utility Compartment Improvement Design Concepts. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing* 1, 32–35.

- [10] Chechurin, L., Borgianni, Y., 2016. Understanding TRIZ through the review of top cited publications. *Computers in Industry* 82, 119–134.
- [11] Niemann, J., Tickewitch, S., Westkamper E., 2009. *Design of sustainable product life cycles*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 207 p.
- [12] Cellura, M., La Rocca, V., Longo, S., Mistretta, M., 2014. Energy and environmental impacts of energy related products (ErP): A case study of biomass-fuelled systems. *Journal of Cleaner Production* 85, 359–370.
- [13] De Paepe, M., T'Joel, C., Huisseune, H., Van Belleghem, M., Kessen, V., 2013. Comparison of different testing methods for gas fired domestic boiler efficiency determination. *Applied Thermal Engineering* 50, 275–281.
- [14] Tehniskie dati: Saskaņota tehniskā specifikācija – Ražotāja sniegtā informācija.
- [15] Monteleone, B., et. al., 2015. Life cycle analysis of small scale pellet boilers characterized by high efficiency and low emissions. *Applied Energy* 155, 160–170.
- [16] Katla lietošanas instrukcija – Ražotāja sniegtā informācija.
- [17] TRIZ, 2017. *The TRIZ Journal*. Available at: <http://triztools.bmgilabs.com/#>.

5. Makroaļģu ilgtspējīga izmantošana biogāzes ražošanā Latvijā: priekšizpēte, izmantojot daudzkritēriju analīzi un aprites cikla novērtējumu

*Laura Pastare, Francesco Romagnoli, Dace Lauka, Ilze Dzene,
Tatjana Kuzņecova*

Jau gadsimtiem ilgi fosilie resursi ir bijuši galvenais energoresurss, bet, šo resursu krājumiem strauji sarūkot, nākas meklēt citus energoražošanas paņēmienus [1]. Ir pieejams plašs klāsts atjaunojamo resursu, un ir jāizvērtē to piemērotība efektīvai izmantošanai enerģētikas sektorā [2], [3]. Šajā sakarā aizvien biežāk uzmanība tiek pievērsta aļģēm un makrofītiem kā biodīzeļdegvielas un biogāzes izejvielām [4]–[7].

Aļģu piemērotība enerģijas ražošanai tiek pētīta vairāku iemeslu dēļ. Viens no biežāk minētajiem iemesliem ir to augstā produktivitāte un augšanas temps [8]–[10]. Lai arī šie indikatori katrai sugai atšķiras, kopumā tiek uzskatīts, ka aļģēm un makrofītiem tie ir augstāki nekā sauszemes augiem [11], [12]. Citas svarīgas un aļģēm raksturīgas pazīmes ir: spēja pielāgoties dažādām augšanas vidēm, piemēram, iesāļam un sālām ūdenim; nav nepieciešams izmantot auglīgu lauksaimniecības zemi; iespēja izvairīties no pārtikā lietojamo graudaugu izmantošanas enerģijas ieguvei; oglekļa dioksīda neitrāls aprites cikls (atmosfērā esošais oglekļa dioksīds tiek piesaistīts augšanas posmā, bet pēc tam emitēts sadegšanas posmā); atsevišķu sugu augstais lipīdu saturs [9], [10], [12]. Meklējot efektīvākus un ilgtspējīgākus resursu izmantošanas paņēmienus, visi šie pozitīvie aspekti tikai palielina interesi par aļģēm. Salīdzinot mikroaļģu un makroaļģu (jeb makrofītu) izmantošanu, ir secināts, ka makroaļģu audzēšana un ieguve ir dārgāka. Svarīgs pētāmais jautājums ir saistīts ar izvēli starp jūras aļģu un saldūdens aļģu izmantošanu, ņemot vērā iegūtās aļģu biomasas atsāļošanu [4], [8], [12].

Atkarībā no vēlamā rezultāta ir iespējams izvēlēties atbilstošāko aļģu audzēšanas un iegūšanas tehnoloģiju. Vairums pētījumu rāda, ka vienkāršākās sistēmas, kā atklātie dīķi, ir ekonomiski dzīvotspējīgākas nekā fotobioreaktori [13]–[16]. Arī aļģu ieguve dabīgās ūdenstilpnēs ir lētāka, tomēr šis process ir ārkārtīgi neparedzams augšanas posma sarežģītās kontroles dēļ [6], [8]. Katra audzēšanas metode būtu jāpēta, ņemot vērā konkrētus kritērijus, piemēram,

zemes izmantošanu salīdzinājumā ar ūdens virsmas izmantošanu, saldūdens patēriņu, ekosistēmu bioloģisko daudzveidību un iespēju izvairīties no mēslojuma un barības vielu lietošanas.

Tā kā pastāv lielas atšķirības starp aļģu raksturīgajām īpašībām, to lielumu un pieejamību, augšanas vidi, enerģijas pārveidošanai var izmantot vairākas metodes. Iepazīstoties ar pētījumiem par enerģijas ražošanu izmantojot aļģes, uzmanību izpelnās divas tehnoloģijas – biomasas pāresterificēšana biodīzeļdegvielā un biomasas anaerobā pārstrāde biogāzē [17], [18]. Daudzi zinātnieki ir vienprātīgi, ka anaerobā pārstrāde piedāvā vislielāko potenciālu veiksmīgai biodegvielu ražošanai, jo pārveidošanas tehnoloģija ir jau pārbaudīta, pieejama un izceļ aļģu priekšrocības enerģijas ražošanā [19]–[21].

Pārskatot nozares literatūru, redzams, ka vairākos pētījumos galvenā uzmanība pievērsta tehniski ekonomiskajam pamatojumam biogāzes ražošanas komercializācijai, izmantojot aļģu ieguves sistēmas [12], [14]–[16]. Līdz ar to tādi jautājumi kā vispārējā ilgtspējība un ietekmes novērtējums joprojām ir pētīti nepietiekami un paver iespējas turpmākam zinātnieku darbam. Pētījums, kura pamatā ir aprites cikla novērtējums (ACN) brūnaļģu izmantošanai Ziemeļvalstu apstākļos [5], rāda, ka ir pieejama daudzsološa tehnoloģija, kuru var pielāgot aļģu masveida ražošanai piekrastes audzētavās.

“Eiropa 2020” mērķi paredz līdz 2020. gadam samazināt siltumnīcefekta gāzu emisiju par 20 % salīdzinājumā ar 1990. gada rādītājiem, palielināt atjaunojamās enerģijas īpatsvaru enerģijas galapatēriņā par 20 % un par 20 % palielināt energoefektivitāti. Kā ES dalībvalsts, arī Latvija piedalās to sasniegšanā. Latvijā atjaunojamie energoresursi ir plaši izmantoti jau vēsturiski (36,3 % no primārā enerģijas patēriņa 2012. gadā) [22], un biežāk izmantotie atjaunojamie energoresursi ir koksnes biomasas un ūdens. Bet neatkarīgi no tā Latvija ir apņēmusies vēl vairāk palielināt ar atjaunojamo enerģiju saistīto tehnoloģiju izmantošanu, tostarp biogāzes ražošanu [23], [24]. Ņemot vērā šīs apņemšanās, jāsaprot, ka zinātniskajos pētījumos lielu potenciālu uzrāda no alternatīvām izejvielām, piemēram, aļģēm, iegūtās trešās paaudzes biodegvielas, un tās Latvijas apstākļiem varētu būt ļoti piemērotas, tāpēc šī joma būtu pētāma vairāk.

Šī pētījuma galvenais mērķis bija pievērsties biogāzes ražošanai, izmantojot makroaļģes un pieejamās aļģu audzēšanas tehnoloģijas, un veikt biogāzes ražošanas ilgtspējības vispārīgu novērtējumu.

Iepazīstoties ar nozares literatūru, jāsecina, ka saistībā ar pētījuma relatīvi jauno tēmu trūkst noderīgu datu par biodegvielas ražošanā izmantotajām aļģu audzēšanas un iegūšanas liela mēroga

sistēmām. Šis pētījums būtībā pievēršas biogāzes ražošanā izmantoto aļģu sistēmu komercializēšanai, un liela daļa pētījumā izmantoto tehnisko datu tika atlasīti no pieejamajiem literatūras avotiem. Tikai specifiski dati, kas saistīti ar biometāna iegūvi no atlasītajiem makrofītiem un šīs ieguves novērtējumu, tika iegūti tieši laboratorijā. Lai iegūtu specifiskos datus, tika veikti biogāzes partijas testi (angļu val. *batch test*) atbilstoši metodei, ko iesaka *Alvarado-Morales* un citi autori [5], proti, brūnaļģu komerciālas izmantošanas vispārīga aprites cikla novērtējuma ietvaros tika veikti aļģu partiju testi, lai noteiktu biometāna potenciālu.

Šī pētījuma ietvaros veiktā analīze pievērsās galvenajiem ilgtspējības aspektiem (ekonomiskajiem, tehniskajiem, vides un sociālajiem), un šobrīd pētījums galvenokārt pievēršas iepriekš atlasītiem visā pasaulē sastopamiem saldūdens makrofītiem (*C. demersum*), kas atgādina makroaļģes un šī pētījuma ietvaros par tādām arī tiek uzskatīti.

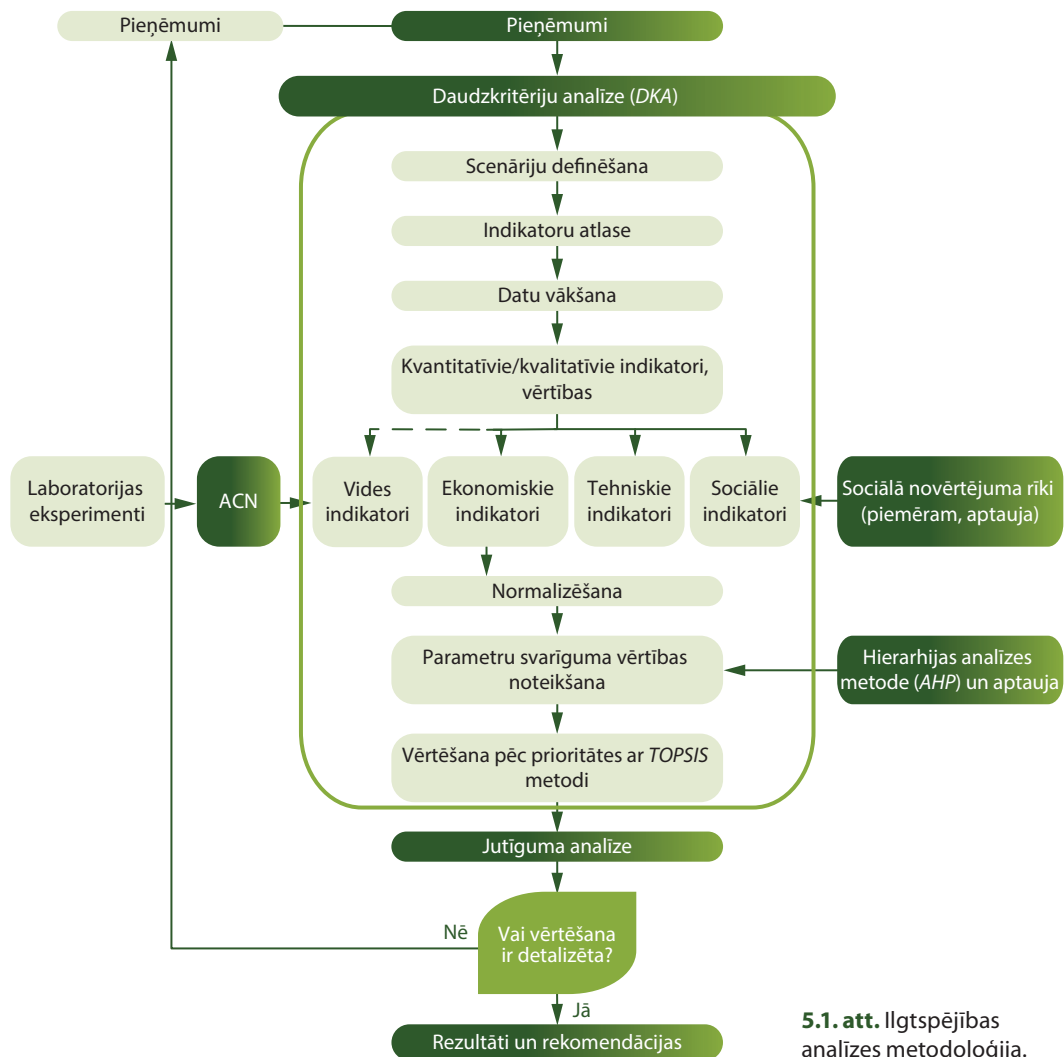
Pētījumā paredzēts izmantot abas Latvijā sastopamās makroaļģu sugas un arī makrofītus, kas ir bioloģiski līdzīgi makroaļģēm (līdzība ir sugai raksturīga, nevis vispārīga) [25], [26]. Pētījuma mērķis ir noskaidrot, kādas ir makroaļģu kā bioresursa uzticamas un tehniski iespējamās komerciālas izmantošanas stiprās un vājās puses, jo tas var palīdzēt veicināt šīs tehnoloģijas izmantošanu. Tajā pašā laikā šis pētījums ir pirmais mēģinājums identificēt potenciāli noderīgas sugas Baltijas jūrā, kuras atbilst optimāliem ilgtspējības kritērijiem reģionā. Aplūkotajiem un analizētajiem scenārijiem ir veikts integrēts ilgtspējības novērtējums, apvienojot daudzkritēriju analīzes (*DKA*, angļu val. *multi-criteria analysis*) *TOPSIS* metodi (tehnika izvēles priekšrocību sarindošanai atkarībā no līdzības ideālajam risinājumam), kā arī aprites cikla novērtējumu.

Metodoloģija: konceptuālā modeļa veidošana

Lai sasniegtu galveno mērķi, izmantojot ierosināto daudzkritēriju analīzes un aprites cikla novērtējuma kombinēto metodi, pētījumā vērtēts, cik ilgtspējīgi ir vairāki uz aļģēm balstītas biogāzes ražošanas scenāriji. Metodoloģiskā modeļa veidošanas pamatsoļi un modeļa pamatjēdzieni ir atspoguļoti 5.1. attēlā. Nākamajās sadaļās ir veikta gadījumu izpēte, pamatojoties uz identificētajiem scenārijiem.

Ilgspējības novērtējuma ietvaros veiktajā *DKA* tika vispārīgi novērtēti prioritārie tehniskie, vides, ekonomiskie un sociālie kritēriji. Risinot specifiskas, ar lēmumu pieņemšanu saistītas problēmas un īstenojot *DKA* metodi, tiek aplūkoti gan kvalitatīvie, gan kvantitatīvie aspekti. Lai gan kvantitatīvs situācijas novērtējums *DKA*

ietvaros ir būtisks uzdevums, strādājot pie *DKA* galīgā novērtējuma, ir svarīgi saglabāt objektivāti. Šajā posmā var apsvērt iespēju apvienot *ACN* metodi ar *DKA* metodi (sk. 5.1. attēlu).



5.1. att. Ilgtspējības analīzes metodoloģija.

Izvēloties ilgtspējības aspektus, jāatceras, ka ekonomisko indikatoru vērtību pamatā ir dati, kas pieejami literatūrā, tostarp zinātniskajās publikācijās, ražotāju sniegtā informācija un ekspertu viedokļi. Tehniskie indikatori ir saistīti ar konkrētā scenārija ilgtspējību un tehnisko dzīvotspēju, un to vērtēšanā ņemts vērā ne tikai attiecīgās tehnoloģijas gatavības līmenis, bet arī enerģijas

atmaksāšanās laiks un enerģijas patēriņa indikators (ko izsaka kā attiecību starp sistēmas saražoto enerģiju un kopējo pievadīto enerģiju). Kā norādīts iepriekš, vides kritēriju vērtību pamatā ir galvenie ACN aspekti (proti, zaudējumu kategorijas), bet sociālo kritēriju vērtības gūtas, analizējot aptauju rezultātus un veicot ekonomisko analīzi, un turpmāk tās tiek izmantotas indikatoru normalizēšanā. Šīs pieejas īstenošanai tika izmantota *DKA TOPSIS* metode.

Daudzkritēriju analīze izmantojot TOPSIS metodi

Daudzkritēriju analīzes pamatā ir atlasīto kritēriju novērtēšana. Un *TOPSIS* metodes lietošana ilgtspējības novērtējumā, jo īpaši saistībā ar atjaunojamo energoresursu izmantošanu, ir jau ierasta prakse [27].

Visa procesa matemātiskais princips balstās uz iepriekš noteiktu vairākmērķu matricas optimizāciju. Optimizācijas iznākums ir vērtēšanai pielāgots koeficients, kuru piemērojot var novērtēt katru kritēriju.

DKA metodē vislielākā nozīme ir tieši ar kvantitatīvo novērtējumu saistītajiem kritērijiem, jo novērtēšana jāveic, ņemot vērā katru no atlasītajiem indikatoriem. Šī metodoloģija piedāvā rīku specifisku sistēmu un procesu novērtēšanai ar atlasītajiem kritērijiem [28].

Šajā pētījumā *DKA* metode kā vispārējās integrētās vērtēšanas daļa ir atzīta par piemērotu dažādu bioenerģijas ražošanas scenāriju starpdisciplinārai novērtēšanai.

Lai kvantitatīvi novērtētu ilgtspējīgāko no visiem atlasītajiem scenārijiem, tika izmantota *TOPSIS* metode. Huena un Jūna [28] ierosinātās metodes nolūks ir atvieglot lēmumu pieņemšanu, sarindojot alternatīvas atkarībā no to līdzības ideālajam risinājumam [29].

TOPSIS metodes pamatā ir datu matrica, kurā vērtēšanas kritēriji ir izkārtoti kolonnās. Lai salīdzinātu un līdz ar to arī sakārtotu alternatīvas lineāri, tiek veikta to normalizācija [30], [31], kuras ietvaros tiek izvērtēti arī katrs kritērijs.

Ar hierarhijas analīzes metodi (*AHP*) tiek noteikti *DKA* metodē izmantojamie koeficienti. Viena no galvenajām *AHP* priekšrocībām ir salīdzinājums pāros, kas vienkāršo relatīvi svarīgākā kritērija noteikšanu [32]. Katra kritērija vērtība tiek noteikta 9 baļļu skalā, izmantojot analītiskās hierarhijas procesa (*AHP*) pamatlīcēja Tomasa Saatija izstrādāto relatīvās nozīmes principu [33].

TOPSIS iznākums ir cipars, kura vērtība ir no 0 līdz 1; jo vērtība ir tuvāka "1", jo alternatīva ir līdzīgāka ideālajam risinājumam.

Aprite cikla novērtējums

Standarts ISO 14044 [34], [35] nosaka, ka aprites cikla novērtējums ir analītisks un vispārējs rīks, ar kuru novērtēt vides slodzi, kā arī ar produkta, procesa vai pakalpojuma piegādes ķēdi saistītos ieguvumus un veiktspēju. ACN metodoloģijas pamatā ir četri posmi: 1) mērķis un tvērums; 2) uzskaites analīze; 3) ietekmes novērtējums; 4) rezultātu interpretācija.

Īstenojot šo pieeju, materiāla un enerģijas bilance tiek noteikta, ņemot vērā patērēto enerģijas daudzumu, izmantotos resursus, kā arī visos iesaistītajos aprites ciklos radītās emisijas daudzumu. Līdz ar to ACN metode atspoguļo “no šūpuļa līdz kapam” pieeju, kurā enerģijas pārveidošanas process tiek vērtēts no sākotnējā resursa izmantošanas līdz pat attiecīgo produktu un blakusproduktu utilizācijai.

Aprite cikla uzskaitē (ACU) tiek vērtēta analizētās sistēmas iespējamā ietekme uz vidi, lai varētu plānot potenciālos optimizācijas un ietekmes mazināšanas pasākumus. Aprite cikla uzskaitē un aprites cikla ietekmes novērtējums ir svarīgi vispārējā aprites cikla novērtējuma aspekti. ACU posmā tiek vākta visa svarīgākā informācija par ievaddatiem (materiāla un enerģijas plūsmām, kā arī emisijas daudzumu) [36].

Izvēlēto scenāriju aprites cikla novērtējuma veikšanai nepieciešamie galvenie indikatori ir iegūti no nozares literatūras avotiem, ekspertu viedokļiem un pieņēmumiem, kā arī *Ecoinvent* datubāzes [37]. Konkrētās gadījumu izpētes aprites cikla uzskaitē izmantotie dati tika gūti, veicot laboratorijas partijas testus, kuros tika noteikts no makrofītiem iegūtas biogāzes potenciāls.

Aprite cikla ietekmes novērtējumā, izpildot noteiktas secīgas darbības, tiek vērtēta aprites cikla rezultātu vērtība un nozīmība noteiktās ietekmes kategorijās. Ir izstrādātas vairākas aprites cikla ietekmes novērtējuma metodes, un tās tiek plaši izmantotas [36], tomēr šajā konkrētajā gadījumu izpētē tika izmantota *IMPACT 2002+* metode [37]. Šī metode izšķir četras zaudējumu kategorijas (cilvēku veselība, klimata pārmaiņas, bioloģiskā daudzveidība un resursi). Pēc tam šīs vides kategorijas tiek iekļautas arī ierosinātajā ilgtspējības novērtējuma metodē.

Gadījumu izpēte: no aļģēm un makrofītiem iegūtas biogāzes ražošanas scenāriju ilgtspējas novērtējums

Šajā sadaļā tiek veikts ilgtspējas novērtējums aļģu izmantošanai biogāzes ražošanā.

Scenāriji

Novērtējumā tiek aplūkoti seši aļģu izmantošanas scenāriji vidēji lielā biogāzes ražotnē. Scenāriji paredz saražoto biogāzi izmantot koģenerācijas iekārtā siltumenerģijas un elektroenerģijas ieguvei.

5.1. tabula**Pētītie scenāriji**

Kods	Izejvielas/resurss	Audzēšanas vide un vieta	Ieguves tehnoloģija
Nat-F	Saldūdens aļģes	Augušanas dabā	Ar traleriem
Nat-M	Jūras aļģes	Augušanas dabā	Ar traleriem
OF-F	Saldūdens aļģes	Atklāts dīķis (audzēšana piekrastē)	Manuāli
OF-M	Jūras aļģes	Atklāts dīķis (audzēšana piekrastē)	Manuāli
ON-F	Saldūdens aļģes	Atklāts dīķis (audzēšana krastā)	Manuāli
ON-M	Jūras aļģes	Atklāts dīķis (audzēšana krastā)	Manuāli
Man	Kūtsmēsli	Nav norādīta	Sūknējot
Crop	Rapšu eļļas spiešanas atliekas	Nav norādīta	Nav norādīta
NG	Dabaszāze	Nav norādīta	–

Kā redzams 5.1. tabulā, aplūkotie scenāriji paredz gan jūras, gan saldūdens aļģu izmantošanu, dažādas audzēšanas metodes un dabīgi augušu aļģu ieguvu no ūdenstilpnēm, kā arī aļģu audzēšanu mākslīgās ūdenstilpnēs atvērta tipa dīķos vai nu sauszemē (krastā), vai ūdenī (piekrastē). Identificētie aļģu izmantošanas scenāriji tika vērtēti, salīdzinot tos ar trim scenārijiem, kas tiek īstenoti līdzīgā koģenerācijas sistēmā, kurā tiek izmantotas citas izejvielas – kūtsmēsli, rapšu eļļas spiešanas atliekas un dabaszāze. Scenārijos, kur aļģu audzēšana plānota dīķos, tās paredzēts iegūt manuāli, bet dabīgi augušās aļģes paredzēts iegūt ar traleriem. Pētījumā pieņemts, ka scenārijā izmantoto kūtsmēsli īpašības atbilst Latvijas liellopu audzētavu kūtsmēsli vidējām vērtībām, bet scenārijā izmantotā biomasa ir rapšu eļļas spiešanas atliekas. Tā kā gan kūtsmēsli, gan rapšu eļļas spiešanas atliekas tiek uzskatīti par atkritumiem, ar šo produktu ieguvu saistītā vides slodze netika ņemta vērā.

Ilgtspējības analīzes kritēriju atlase

Lai sasniegtu pētījuma mērķi – novērtētu biogāzes ražošanas procesu vispārējo ilgtspēju – novērtējuma kritēriji tika izvēlēti četrās noteiktajās ilgtspējības jomās (ekonomiskajā, tehniskajā, vides un sociālajā) (sk. 5.2. tabulu).

Lai nodrošinātu atbilstību ACN scenārijiem, visas indikatoru vērtības ir attiecinātas uz 1 MWh_{el}, kas saražota koģenerācijas iekārtā (viena tehnoloģija visiem scenārijiem). Tādējādi šis

parametrs ir noteikts kā ACN funkcionālā vienība (FV) un kā visu ilgtspējības indikatoru bāzes vērtība.

5.2. tabula

Pētījumā izvēlētie kritēriji

	Joma	indikators	Vienība
A	Ekonomiskā	Īpatnējās investīcijas	EUR/FV
B	Ekonomiskā	Ienākumi	EUR/FV
C	Ekonomiskā	Ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksas	EUR/FV
D	Tehniskā	Enerģijas patēriņa indikators	–
E	Tehniskā	Enerģijas atmaksāšanās laiks	mēneši/FV
F	Tehniskā	Tehnoloģijas gatavības līmenis	(pakāpe)
G	Vides	Ekosistēmas kvalitāte	PDF/m ² gadā uz FV
H	Vides	Klimata pārmaiņas	(kg CO ₂ ekv.)/FV
I	Vides	Cilvēku veselība	DALY/FV
J	Vides	Resursu izmantošana	MJ primārās neatjaunojamās enerģijas uz FV
K	Sociālā	Atbalsts sabiedrībā	%
L	Sociālā	Sociālie ieguvumi	EUR/FV

Ekonomiskie kritēriji ietver specifiskas tehnoloģiju investīcijas aļģu audzēšanā, iegūšanā, transportēšanā, priekšapstrādē, anaerobajā pārstrādē, biogāzes attīrīšanā, digestātu izmantošanā un sadedzināšanā. Ienākumi tiek izteikti eiro kā ieguvums no 1 MWh_{el} saražotās elektroenerģijas pārdošanas. Eksploatācijas un uzturēšanas izmaksas iekļauj visas izmaksas par vienas funkcionālās vienības saražošanai nepieciešamajiem materiāliem un enerģiju, tostarp darbaspēka izmaksas. Visi ekonomiskie kritēriji ir izteikti EUR/FV.

Enerģijas patēriņa indikators rāda attiecību starp patērēto un saražoto enerģiju – 1 MWh_{el} elektroenerģijas saražošanai ir vajadzīgs liels daudzums enerģijas. Enerģijas atmaksāšanās laiks izsaka, cik laika nepieciešams, lai saražotu tik daudz enerģijas, cik patērēts būvniecības laikā.

Sociālie kritēriji atspoguļo sabiedrības atbalstu un viedokli par aļģu izmantošanu biogāzes ražošanai (arī par bāzes scenārijiem).

Konkrētajā gadījumā un atbilstoši izvēlētajai metodei sociālā atbalsta kritērijs ir izteikts, procentuāli norādot, cik daudz aptaujas dalībnieku atbalsta konkrētā scenārija īstenošanu. Aptaujā piedalās 100 nejauši izvēlētu dalībnieku – dažādu interešu grupu pārstāvji. Sociālo ieguvumu kritērijs atspoguļo jaunu darbavietu sniegto finansiālo labumu, bet šajā analīzes posmā tas nav vērtēts.

Vides indikatoru kvantitatīvā noteikšana aprites cikla novērtējumā

Visos biogāzes ražošanas scenārijos ir pieņemts, ka digestāts tiek izmantots vai nu augsnes mēslošanai vai kā papildbarība aļģēm to augšanas posmā. Protams, ja tā daudzums ir pietiekams, to var izmantot abiem šiem mērķiem.

Kā norādīts, funkcionālā vienība ir izteikta kā 1 MWh_{el} elektroenerģijas, kas saražota koģenerācijas iekārtā, un ir pieņemts, ka visos scenārijos tiek izmantota viena koģenerācijas iekārta. Visos biogāzes ražošanas scenārijos tiek izmantots viens nepārtrauktas darbības divpakāpju reaktors, bet biogāzes attīrīšanai – skrubers ar mitrās attīrīšanas tehnoloģiju.

No aļģēm ražotas biogāzes ietekme uz vidi ir modelēta, izmantojot vienkāršotu ACN modeli, kas izstrādāts ar *SimaPro* programmu un kurā ņemta vērā aprites cikla ietekmes novērtējuma metode *IMPACT 2002+* [37]–[39].

Bāzes scenāriji ir vērtēti tieši, analizējot *Ecoinvent* datubāzē atrodamos procesus [39]–[41].

ACN izmantotie dati ir gūti eksperimentos, no zinātniskajām publikācijām un citiem literatūras avotiem. Ja dati ir nav zināmi, tad to vērtība ir noteikta pieņēmumu līmenī, izmantojot attiecīgo pieejamo informāciju. Ja iespējams, ir izmantoti tieši Latvijas apstākļus raksturojošie dati. Galvenie aspekti, kas jāņem vērā saistībā ar sistēmas robežām:

- pētījumā nav iekļauts augšanas posms tiem scenārijiem, kuros biomasa tiek iegūta no dabīgām ūdenstilpnēm;
- pētījumā ir iekļauta digestāta izmantošana augsnes mēslošanai (iekļaujot digestāta apstrādi un transportēšanu);
- pētījumā nav iekļauta ražotnes būvniecība.

No aļģēm iegūtas biomasas ražošanas ACN ierobežojumi un pieņēmumi:

- pētījumā nav iekļauta darbinieku pārvadāšana;
- pētījumā ir pieņemts, ka izejvielu kvalitāte ir viendabīga;
- pētījumā ir pieņemts, ka uzglabāšanas laikā nerodas nekādas emisijas;
- pētījumā ir pieņemts, ka iegūtās biogāzes daudzums un metāna saturs visos scenārijos ir nemainīgs;
- pētījumā ir pieņemts, ka saražotajai biogāzei ir nemainīgs zemākais sadegšanas siltums;
- pētījumā ir pieņemts, ka vienas sugas aļģēm ir identiskas prasības pēc barības vielām.

Dati par saldūdens aļģēm balstās uz *C. demersum* (500 L CH₄ uz kg gaistošo cietvielu sausnā (VS); 32 t kopējo cietvielu (TS) uz ha gadā) augšanas parametriem un no tām iegūtās biogāzes

daudzumu, bet datiem par jūras aļģēm ir izmantotas ziņas par aļģēm *U. lactuca* (350 L CH₄ uz kg gaistošo cietvielu sausnā; 45 t kopējo cietvielu uz ha gadā) [42]. Audzēšana notiek 1 ha lielā un 0,6 m dziļā mākslīgā dīķī, kurā ūdens apmaiņas rādītājs ir 0,2. Pētījumā ir pieņemts, ka gan saldūdens, gan jūras aļģēm ir nepieciešams vienāds daudzums barības vielu un oglekļa dioksīda un ka tām ir vienādi arī citi vispārēji aļģēm raksturīgi parametri (galvenie uzskaites dati attēloti 5.3. tabulā).

5.3. tabula

Galvenie uzskaites dati ACN modelēšanai

Dati	Vērtība	Vienība	Avots
Aļģu uzņemtais CO ₂ daudzums	1,8	t _{CO2} /(t aļģu _{mitrās masas})	[43]–[45]
Barības vielu (N ₂) saturs digestātā salīdzinājumā ar ieejas rādītāju	1,80	%	[46]
Barības vielu (P ₂ O ₅) saturs digestātā salīdzinājumā ar ieejas rādītāju	1,00	%	[46]
Barības vielu (K ₂ O) saturs digestātā salīdzinājumā ar ieejas rādītāju	0,90	%	[46]
Biomases smalcinātāja jauda	38	kWh/(t _{sausās masas})	[5]
Anaerobās pārstrādes reaktora maisīšanas jauda	0,11	kWh/(kg aļģu)	[47], [48]
Nepieciešamais barības vielu daudzums	4,55	MJ/(kg svaigu aļģu)	[49]
Aļģēm nepieciešamā N daudzums	0,26	kg/(kg aļģu _{sausās masas})	[49]
Aļģēm nepieciešamā P daudzums	0,05	kg/(kg aļģu _{sausās masas})	[49]
Aļģu audzēšanai nepieciešamais ūdens daudzums	1,67	m ³ /(kg aļģu)	[49], [50]
Dīķa maisīšanas iekārtas jauda	30	kWh/(kg aļģu)	[49]
Sūkņa jauda (sūknis darbojas 12 h dienā)	6	kWh	[49]
Anaerobajai pārstrādei nepieciešamais siltuma daudzums	32	kWh/(t ieejas)	[48]
Digestāta daļa ieejas biomasā	0,99	t/(t ieejas)	[48]
Biogāzes blīvums	1,21	kg/m ³	[51]
Digestāta separatora kapacitāte	500	kg/h	[52]
Digestāta separatora jauda	2	kW	[52]
Biogāzes attīrīšanas iekārtas jauda	0,3	kWh/(m ³ uzlabotas biogāzes)	[47]
Biogāzes attīrīšanai nepieciešamais ūdens daudzums	0,33	m ³ /(m ³ biogāzes)	[47]
CO ₂ emisija	2,75	(kg CO ₂)/(kg metāna)	[53]
Nepieciešamais barības vielu (N) daudzums rapsim	50	kg/(t biomasas)	[54]
Nepieciešamais barības vielu (P) daudzums rapsim	15,69	kg/ha	[54]
Nepieciešamais barības vielu (K) daudzums rapsim	90	kg/ha	[54]
Rapša produktivitāte	2050	kg/ha	[55]
No rapša iegūtās biogāzes daudzums	0,57	(m ³ CH ₄)/(kg VS)	[56], [57]
No kūstmēsliem iegūtās biogāzes daudzums	0,5	(m ³ CH ₄)/(kg VS)	[56], [57]
NO _x emisijas no metāna sadedzināšanas	264	(t NO ₂)/MWh	[58]

Eksperimenti biogāzes ieguves apjoma noteikšanai ACN vajadzībām

Eksperimentu mērķis ir noteikt, cik daudz biogāzes var iegūt no vietēji pieejamajām aļģu sugām. Eksperimenti tika veikti vairākos posmos – eksperimentālā plānošana, aļģu parametru noteikšana, sākotnējie eksperimenti biogāzes ieguves apjoma noteikšanai, noslēguma eksperimenti biogāzes ieguves apjoma noteikšanai un datu analīze [59].

Pamatojoties uz zinātnisko literatūru, tika izveidots biogāzes ražošanai potenciāli piemēroto sugu sākotnējais saraksts. Šajā pētījuma posmā priekšroka tika dota saldūdens aļģu sugām, galvenokārt pateicoties to izteiktajai spējai augt laboratorijas apstākļos. Tika izvēlēts makrofīts *C. demersum* – tā ir visā pasaulē ļoti izplatīta suga, kas aug dažādos apstākļos. Tā kā šo sugu bieži izmanto kā akvāriju augu, tā ir pieejama arī ziemā, kad vairumu ūdenstilpņu sedz ledus. *C. demersum* nav sakņu, un kā ūdenī iegrimis vai brīvi peldošs makrofīts tā aug ezeros, dīķos un citās saldūdens ūdenstilpnēs ar lēnu ūdens kustību [60]–[64].

Izvēlēto aļģu kopējais cietvielu daudzums (TS) un gaistošo cietvielu daudzums (VS) tika noteikts, izmantojot ASV Vides aizsardzības aģentūras (EPA) piedāvāto metodoloģiju (sk. 5.4. tabulu) [65].

5.4. tabula

***C. demersum* TS un VS vērtības ar standartnovirzi**

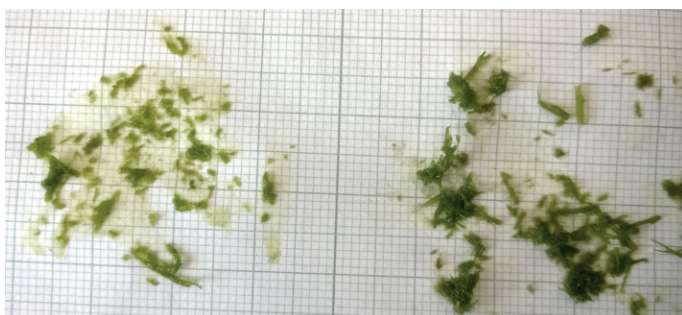
	TS	Σ	VS	σ
A paraugs	5,11 %	0,3 %	78,30 %	0,9 %
B paraugs	3,70 %	0,1 %	82,01 %	0,1 %

Inokulācijas veikšanai tika izmantotas dūņas no kādas Latvijas notekūdeņu attīrīšanas stacijas; dūņu kopējais cietvielu daudzums bija 3 %. Lai samazinātu jebkādu iespējamu ietekmi uz eksperimenta rezultātiem, pirms eksperimenta inokulāts piecas dienas tika glabāts inkubatorā 37 °C. Nekāda cita iepriekšēja apstrāde (filtrācija, šķaidīšana) inokulātam netika veikta.

Izmantojot rokas blenderi, tika iegūti divu veidu paraugi ar dažādu daļiņu lielumu. Lielākās daļiņas bija apmēram 2–5 mm lielas, bet mazākās – ne lielākas kā 2 mm (sk. 5.2. attēlu).

Testi tika veikti 100 mL lielās stikla pudelēs. Biomasa tika sagatavota un ievietota pudelēs (no 1,2 g līdz 2,4 g atkarībā no $TS_{aļģes} : TS_{inokulāts}$; izvēlēta attiecība bija 1 : 10 un 1 : 5), pēc tam tai tika pievienots destilēts ūdens (30 mL), buferšķīdums Na-HCO₃ (3 g/L) un 20 mL inokulāta. Pēc tam pudeles tika skalotas ar CO₂,

gumijas vāciņi tika īpaši nostiprināti. Tad pudeles tika kratītas un ievietotas inkubatorā 37 °C. Pudelēs iegūtās biogāzes daudzums tika mērīts ar šļircēm, kurās bija 5 mL NaOH šķīduma. Biogāzei plūstot cauri sārma šķīdumam, CO₂ izšķīst un pāri paliek gandrīz tīrs CH₄. Mērījumi tika veikti un reģistrēti katru dienu, līdz neviens no paraugiem biogāzi vairs neražoja (1 mēnesis).



5.2. att. Makrofīts *Ceratophyllum demersum*, daļiņas uz milimetru papīra (kreisajā pusē mazākas daļiņas, labajā – lielākas daļiņas).

Jānorāda, ka bojātu vāciņu dēļ daži no paraugiem saražoja ievērojami mazāk biogāzes nekā citi (sk. 5.5. tabulu). Šie bojātie paraugi turpmāk netika analizēti. Nav pieejami dati par biogāzes jeb metāna ieguves apjomu *C. demersum* izmantojot anaerobās pārstrādes procesā, bet kopējo ieguvumu var salīdzināt ar populārākajām izmantotajām aļģēm un to produktivitāti. Kopumā aļģu produktivitāte ir ļoti dažāda, sākot no 100 (L CH₄)/(kg VS) līdz 500 (L CH₄)/(kg VS). Ja aļģu produktivitāte ir lielāka nekā 400–450 (L CH₄)/(kg VS), tiek uzskatīts, ka produktivitāte ir augsta un ka šī aļģu suga līdz ar to ir potenciāli piemērota biogāzes ražošanas komercializācijai.

Kā redzams, visvairāk metāna tika iegūts no paraugiem ar lielāku daļiņu izmēru. Tas nesakrīt ar literatūrā pieejamo informāciju, un loģisko pieņēmumu, ka mazākām daļiņām ir vieglāk sairt. Rezultātus var izskaidrot ar nekonsekventu aļģu paraugu sadalīšanu partijās. Zinātniskā literatūra liecina, ka pareizi veiktā eksperimentā ar mazām daļiņām produktivitātei būtu jābūt vēl lielākai, kas ir īpaši atzīmējams fakts, ņemot vērā, ka jau šobrīd produktivitātes rādītāji ir salīdzinoši augsti. Vēl viens interesants aspekts ir tas, ka paraugi, kuros aļģu bija vairāk nekā inokulāts, uzrādīja mazu produktivitāti. Vai nu šo paraugu pudeles bija ar defektiem, kas daļēji samazināja biogāzes produktivitāti, vai arī metanogēni nespēja pārstrādāt tādu biomasas daudzumu. Jebkurā gadījumā šie rezultāti no turpmākas analīzes būtu jāizslēdz, un testi būtu jāatkārto, lai redzētu, vai problēma ir saistīta ar izejvielu proporciju vai ar tehniskiem aspektiem.

5.5. tabula

Testā iegūtais metāna daudzums no makrofīta *Ceratophyllum demersum* anaerobās pārstrādes procesā, L – lielas daļiņas, 2–5 mm, S – mazas daļiņas, līdz 2 mm

Paraugs	Biomasa			Piemaisījumi				Inokulāts		Metāna daudzums			
	Veids	Svars, g	Aļģu izmērs	TS, g	VS, g	Bufēršķīdums, mL	Ūdens, mL	Tilpums, mL	TS, g	TS _A : TS _{IN}	(Li CH ₄)/ (kg VS)	Vid.	σ
1.1.											562,30		
1.2.	<i>C. Demersum</i>	1,2	L	0,06	0,047	1	30	20	0,6	1 : 10	546,33	397,33	
1.3.											83,37	(554,31)*	(7,98)*
2.1.											436,71		
2.2.	<i>C. Demersum</i>	1,2	S	0,06	0,047	1	30	20	0,6	1 : 10	131,26	351,93	
2.3.											487,80	(462,25)*	(25,54)*
3.1.											78,05		
3.2.	<i>C. Demersum</i>	2,4	S	0,12	0,094	1	30	20	0,6	1 : 5	8,87	63,86	
3.3.											104,65	(91,35)*	(13,3)*

* Vērtības, neņemot vērā bojātos paraugus.

Eksperimenti rāda, ka vietēji pieejamajam makrofītam *C. demersum* ir augsta metāna ražošanas produktivitāte – 554 (L CH₄)/ (kg VS), līdz ar to tas ir piemērots biogāzes ražošanai Latvijā vai turpmākām analizēm. Ir jānorāda arī, ka pirmo piecu dienu laikā tika saražoti apmēram 50 % visas biogāzes, kas ir pozitīvs aspekts, ņemot vērā biogāzes reaktora nepārtrauktas darbības principu (nevis atsevišķu partiju pārstrādes principu).

Aprites cikla novērtējuma rezultāti

Kā jau minēts, ACN rezultāti ir jāizmanto un jāintegrē kopējā daudzkritēriju analizē, lai varētu izvērtēt arī biogāzes ražošanas alternatīvu ietekmi uz vidi. Ar *SimaPro* programmu iegūtie četru zaudējumu kategoriju rezultāti ir atspoguļoti 5.6. tabulā.

Cilvēku veselības kritērija vērtības visām alternatīvām ir visai tuvas; viszemāko vērtību uzrādīja biogāzes ražošana izmantojot kūtsmēslus, bet augstāko – biogāzes ražošana izmantojot gan piekrastes, gan krasta dīķos audzētas jūras aļģes. Atšķirība starp augstākajiem un zemākajiem rezultātiem ir ap 10 %. Biogāzes ražošanas alternatīvām, kas uzrādīja augstākos rezultātus, ir nepieciešams arī visvairāk enerģijas un izejmateriālu.

5.6. tabula

ACN vides kritēriju vērtības, iegūtas ar programmu *SimaPro*

	Cilvēku veselība, DALY/FV	Ekosistēmas kvalitāte, (PDF m ² y)/FV	Klimata pārmaiņas, (kg CO _{2ekv.})/FV	Resursu izmantošana, (MJ primārās enerģijas)/FV
Nat-F	0,0226	1361	-1612	-4053
Nat-M	0,0231	1924	-1039	-444,1
OF-F	0,0245	1831	905,0	19 024
OF-M	0,0247	2404	980,1	19 859
ON-F	0,0246	1832	1127	18 935
ON-M	0,0247	2404	980,1	19 859
Man	0,0224	1246	-1834	-10 155
Crop	0,0235	1498	-408,8	1312
NG	0,0238	1560	-61,92	13 478

Līdzīgi cilvēku veselības kritērijam arī ekosistēmas kvalitātes kritērija rādītāji ir tuvi – zemākais rezultāts novērots biogāzes ražošanai izmantojot kūtsmēslus, bet augstākais – biogāzes ražošanas scenārijiem, kuros izmantotas jūras aļģes.

Klimata pārmaiņu kritērija vērtības ir ļoti atšķirīgas, un to diapazons ir plašs. Daļai biogāzes ieguves scenāriju šī kritērija vērtības ir negatīvas, kas lielākoties skaidrojams ar iespēju izvairīties no minerālmēslu lietošanas. Piemēram, biogāzes ražošanai nepieciešamo biomasu audzējot dīķos, aļģu augšanai nepieciešamās barības vielas tiek ņemtas no digestāta, tādējādi veidojot slēgtu elementu aprites ciklu. Izmantojot dabīgi augušu biomasu, digestātā esošās barības vielas sistēmā var izmantot kā mēslojumu, lai izvairītos no mākslīgo mēslojumu ražošanas un izmantošanas. Līdz ar to visvairāk no kāda produkta neizmantošanas iegūst tieši klimata pārmaiņu kritērijs.

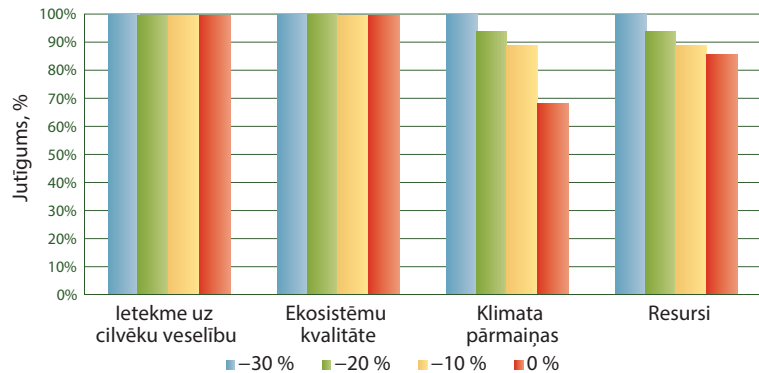
Resursu izmantošanas ietekme uz vidi uzrāda līdzīgus rezultātus klimata pārmaiņu kategorijai, proti, visaugstākie rezultāti ir četriem dīķos audzētu aļģu izmantošanas scenārijiem, bet pārējiem scenārijiem rezultāti ir zemāki vai pat negatīvi. Vienīgais izņēmums ir scenārijs, kurā tiek izmantota dabasgāze – tā kā dabasgāze nav atjaunojams energoresurss, tās izmantošana tieši ietekmē šī kritērija vērtību.

Pārreķinot vides indikatoru rezultātus, redzams, ka vislielāko ietekmi uz vidi rada kritērijs “ietekme uz cilvēku veselību” (to galvenokārt veido degšanas procesā radītās NO_x emisijas daudzums). Līdz ar to var secināt, ka daži kritēriji rezultātu ietekmē vairāk nekā citi, un, lai izvērtētu pašu pētījumu, ir jāveic jutīguma analīze.

Tika veikta gan no saldūdens, gan no jūras aļģēm ražotas biogāzes ieguves apjoma jutīguma analīze. Jūras aļģu produktivitāte tika pielīdzināta *Ulva lactuca* jūras aļģu produktivitātei, proti, 300 L CH₄ uz kg VS. Tas ir eksperimentāli noteikts lielums, kas pārbaudīts vairākos eksperimentos. Attiecībā uz saldūdens aļģēm tika izmantoti *C. demersum* produktivitātes indikatori, proti, 500 L CH₄ uz kg VS. Šī ir eksperimentāli iegūto rezultātu pazemināta vērtība, kas jāpārbauda, veicot papildu eksperimentus. Abas vērtības ir atkarīgas no eksperimentos izmantoto paraugu īpašībām un kvalitātes. Tā kā šīs vērtības tieši ietekmē 1 MWh_{el} enerģijas saražošanai nepieciešamās biomasas daudzumu, tās ir jāpārbauda, veicot jutīguma analīzi.

Jutīguma analīzi veic, samazinot biogāzes produktivitātes vērtību, jo ir maz ticams, ka šī vērtība varētu būt augstāka. Vērtības tiek koriģētas diapazonā no –30 % līdz 0 %, korekcijas solis ir 10 % (sk. 5.3. attēlu).

Mainot aļģu produktivitāti biogāzes ražošanā, mainās arī nepieciešamo aļģu daudzumus, to augšanas, iepriekšējās apstrādes, anaerobās pārstrādes u. c. posmos nepieciešamās enerģijas daudzums. Vienīgie nemainīgie parametri ir saistīti transportēšanu un biogāzes attīrīšanu, jo šīs darbības ietekmē biogāzes daudzums.



5.3. att. ON-F scenārijā ražotas biogāzes ieguves apjoma jutīguma analīze.

5.3. attēlā parādīts, kā pēc jutīguma analīzes veikšanas mainās zaudējumu kategoriju vērtības. Kā redzams, visvairāk tiek ietekmēta klimata pārmaiņu un resursu kategorija – jo mazāk biogāzes tiek iegūts no biomasas, jo vairāk šīs kategorijas tiek ietekmētas (kas skaidrojams ar papildus nepieciešamo elektroenerģijas daudzumu). Šī pati tendence vērojama attiecībā uz jūras aļģu sugām un scenārijiem, kuros aļģes tiek audzētas piekrastes diļķos.

ACN metodoloģija ļauj noteikt biogāzes ieguves alternatīvu vājās puses (nepieciešamo enerģijas un izejmateriālu daudzumu aļģu augšanas posmā), kā arī jutīgos aspektus (iespēju izvairoties no mākslīgo minerālmēslu klātbūtnes digestātā un novērsto siltuma rašanos). Jutīguma analīze rāda, ka dati ir savstarpēji saistīti. Turklāt rezultātu interpretāciju būtiski ietekmē arī robežu noteikšana (piemēram, digestāta plaša izmantošana un no kūtsmēsliem ražotas biogāzes ieguves ierobežošana).

Ekonomisko, tehnisko un sociālo indikatoru kvantitatīva noteikšana

Lai noteiktu ekonomiskos indikatorus, ir jāveic vienkārši ekonomiskie aprēķini, kuru pamatā ir analizētie literatūras avoti par alternatīvu investīcijām, izmaksām un ienākumiem. Arī sociālo ieguvumu kritērija vērtību pamatā ir šie dati.

Enerģijas atmaksāšanās laika kritērijs rāda, cik ilgs laiks nepieciešams, lai saražotu tikpat daudz enerģijas, cik iztērēts būvniecības posmā. Robežas var būt noteiktas visai plaši – ņemot vērā procesā lietoto tehnoloģiju ražošanas posmā izmantoto enerģiju – vai samērā šauri – pievēršoties tikai rūpnīcas būvēšanas un komplektēšanas posmā iztērētajai enerģijai.

Kopējās investīcijas visām alternatīvām svārstās no 1217 EUR/FV līdz 2703 EUR/FV (sk. 5.7. tabulu). Ienākumi tiek gūti, pārdojot saražoto elektroenerģiju. Dažādiem enerģijas ražošanas paņēmieniem tiek piemēroti atšķirīgi tarifi.

5.7. tabula

Daudzkritēriju analīzes ekonomiskie kritēriji: specifiskās investīcijas, ienākumi un ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksas

	Specifiskās investīcijas, EUR/FV	Ienākumi, EUR/FV	Ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksas, EUR/FV
Nat-F	2180	289	1008
Nat-M	2203	289	1099
OF-F	2680	289	1857
OF-M	2703	289	1923
ON-F	2569	289	1857
ON-M	2592	289	1923
Man	2178	289	831
Crop	2176	289	826
NG	1217	218	409

Dažādu alternatīvu ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksas atšķiras pat piekārtīgi – zemākās izmaksas uzrāda dabasgāzes izmantošanas alternatīva, kur tās ir 409 EUR/FV (jo process ir samērā automatizēts, un tajā nav nepieciešami nekādi papildu materiāli), bet augstākās izmaksas ir piekrastes diķos audzētu jūras aļģu izmantošanas alternatīvai – 1923 EUR/FV.

Tehniskie kritēriji ietver enerģijas atgūšanas koeficientu, enerģijas atmaksāšanās laiku un tehnoloģiju gatavības līmeni. Šos kritērijus raksturojošie dati ir aprakstīti turpinājumā. Enerģijas atgūšanas koeficienta aprēķina pamatā ir ACN uzskaitē. Elektroenerģija tiek patērēta katrā no ražošanas posmiem, bet siltums tiek patērēts tikai anaerobās pārstrādes laikā. Kopējais iztērētās enerģijas daudzums neietver transportēšanā izmantoto enerģiju (sk. 5.8. tabulu).

5.8. tabula

Ražošanā patērētās enerģijas daudzums un alternatīvu rezultāts šādiem kritērijiem: enerģijas atgūšanas koeficients, atbalsts sabiedrībā un sociālie ieguvumi

	Patērētā enerģija, kWh	Enerģijas atgūšanas koeficients	Atbalsts sabiedrībā, %	Sociālie ieguvumi, EUR/FV
Nat-F	1070	0,38	72,4	712
Nat-M	1259	0,45	72,4	712
OF-F	1423	0,51	72,4	1352
OF-M	1612	0,58	72,4	1352
ON-F	1423	0,51	72,4	1352
ON-M	1612	0,58	72,4	1352
Man	612	0,22	78,4	656
Crop	285	0,10	78,4	672
NG	142	0,05	85,6	400

Kā redzams, visvairāk enerģijas tiek patērēts, ražojot biogāzi, kas iegūta, izmantojot diķos audzētu biomasu. Tā kā standartsceņāriji neiekļauj augšanas vai ražošanas posmā patērētās enerģijas daudzumu, koeficients attēlo patērētās un iegūtās enerģijas proporciju. Šajā novērtējumā netiek aplūkots rūpnīcas būvēšanas un tehnoloģiju konstruēšanas posms (vērā tiek ņemts tikai ražošanas posms), visa aprites cikla vērtības noteikti ir augstākas. Ņemot vērā, ka jūras aļģu izmantošana enerģijas ražošanā ietver papildu posmu – attīrīšanu no sāls – alternatīvas, kurās tiek izmantotas jūras aļģes, uzrāda mazāk izdevīgu enerģijas atgūšanas koeficientu.

Tehnoloģijas gatavības līmenis norāda, cik attīstīta ir konkrētā tehnoloģija, ieskaitot tās aizsākumu (sākot no idejas, kas jāpierāda) un beigu posmu (ražošana komerciālā mērogā). Dažādos literatūras avotos tehnoloģijas gatavības līmeņu apraksti un līdz ar to arī paši gatavības līmeņi atšķiras. Visizplatītākā ir tā saucamā tehnoloģijas gatavības līmeņa (angļu val. *technology readiness level*) skala [62]. Tā kā robežas starp līmeņiem ne vienmēr ir skaidri nosakāmas, šī skala ir pielāgota no detalizētas deviņu līmeņu sistēmas daudz vispārīgākai četru līmeņu sistēmai. Pirmais līmenis atbilst priekšizpētei, kurā tiek veikti tikai eksperimenti, lai pierādītu pamatideju. Otrais līmenis raksturo tehnoloģijas izpētes attīstību laboratorijas apstākļos, bet trešais – tehnoloģijas eksperimentālu demonstrēšanu (tehnoloģijas validāciju). Ceturtais līmenis tiek piešķirts funkcionējošai sistēmai un tehnoloģijas komerciālai ražošanai.

Tā kā katrā no alternatīvām tiek izmantota vairāk nekā viena tehnoloģija, būtu jāveic katras iesaistītās tehnoloģijas gatavības novērtējums. Kopumā tiek izmantotas četru veidu tehnoloģijas – audzēšanas, iegūšanas, anaerobās pārstrādes un dedzināšanas tehnoloģijas.

Tehnoloģijas gatavības līmenis raksturo tehnoloģijas attīstības posmu, turklāt jāatceras, ka nevienu no šiem attīstības posmiem izlaist nevar. Pirms tehnoloģijas ieviešanas tirgū un komerciālas ražošanas uzsākšanas tai sevi ir jāpierāda visos attīstības līmeņos. Ja kāda no izmantotajām tehnoloģijām joprojām tiek izstrādāta, tas var nozīmēt, ka biogāzes ražošanas alternatīvas īstenošana varētu būt sarežģīta un salīdzinoši dārga. Turpmākā analizē izmantotā gatavības līmeņa vērtība ir visu konkrētās alternatīvas tehnoloģiju gatavības līmeņu minimālā vērtība (sk. 5.9. tabulu).

5.9. tabula

Alternatīvu tehnoloģiju gatavības līmenis

Scenārijs	Audzēšana	Iegūšana	Anaerobā pārstrāde	Koģenerācija	Min.
Nat-F	–	4	4	4	4
Nat-M	–	4	4	4	4
OF-F	2	–	4	4	2
OF-M	2	–	4	4	2
ON-F	3	–	4	4	3
ON-M	3	–	4	4	3
Man	–	–	4	4	4
Crop	–	–	4	4	4
NG	–	–	–	4	4

Kā redzams, jūras vai saldūdens aļģu izmantošana neietekmē atsevišķu tehnoloģiju gatavības līmeni. Aļģu audzēšana notiek atklātos dīķos piekrastē un krastā, un pati aļģu audzēšana ir jau zināma tehnoloģija, bet tā kā pētījumā tiek aplūkota alternatīvas komerciāla īstenošana, tiek uzskatīts, ka tehnoloģijas gatavības līmenis ir 3. Jāatzīst, ka tehnoloģija aļģu audzēšanai piekrastes dīķos ir mazāk attīstīta – šī tehnoloģija piedāvā vairākas lieliskas idejas, kuru īstenošana joprojām ir visai problemātiska.

Dabīgi augušās aļģes tiek ievāktas ar traļiem – šī tehnoloģija ir zināma un tā tiek izmantota arī citās akvakultūras audzēšanas darbībās. Aļģu manuāla ieguve no dīķiem netiek uzskatīta par tehnoloģiju, līdz ar to tā arī netiek vērtēta. Citās biogāzes ražošanas alternatīvās anaerobajā pārstrādē izmantotais materiāls netiek iegūts. Anaerobās pārstrādes tehnoloģija ir attīstīta pilnīgi, proti, tās lietošana atkarībā no izmantoto aļģu veida nemainās, tāpēc arī tās gatavības līmenis ir novērtēts ar 4.

Biogāzes ražošanas alternatīvas ar zemāko tehnoloģijas gatavības līmeni ir alternatīvas, kurās aļģes tiek iegūtas piekrastes vai krasta dīķos. Tas skaidrojams ar aļģu audzēšanas posmā izmantotajām tehnoloģijām. Ja šīs alternatīvas būtu paredzēts īstenot, tieši audzēšanas posmā izmantotajām tehnoloģijām būtu jāpievērš īpaša uzmanība.

Gatavības līmeņa novērtējums parāda arī to, ka visa ražošanas procesa vājais posms ir aļģu audzēšana. Atklātos piekrastes dīķos tā joprojām notiek laboratorijas mērogā, bet krasta dīķos – eksperimentālas ražošanas līmenī. Tas nozīmē, ka tehnoloģijai nepieciešams vairāk laika, lai tā kļūtu komerciāli pieejamāka un piemērotāka.

No pētījuma ir izslēgts kritērijs “enerģijas atmaksāšanās laiks”, jo tam nepieciešams liels apjoms izejas datu – kritērija aprēķini neļauj pievienot papildu aspektu vai dzēst kādu no esošajiem, jo tad būtu jāpārreķina visas savstarpējās saistības.

Investīcijas biogāzes ražošanā no aļģēm vai citām izejvielām parasti sastāv no izmaksām par anaerobās pārstrādes tvertni, biogāzes attīrīšanas iekārtu un koģenerācijas iekārtu. Lielāko daļu ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksu veido darbaspēka izmaksas, jo šajā nozarē ir nepieciešami gan labi speciālisti, gan roku darbs. Ienākumu līmeni nosaka tiesību akti, un tie ir atkarīgi no enerģijas ražošanā izmantotajām izejvielām.

Lai novērtētu kritēriju “atbalsts sabiedrībā”, tika rīkota aptauja. Aptaujas pirmajā daļā respondenti tika iepazīstināti ar aptauju un sniedza vispārīgu informāciju par sevi. Otrās daļas nolūks bija noteikt, kādas ir respondentu zināšanas par tādiem ar vidi

saistītiem jautājumiem kā vides aizsardzība, globālā sasilšana un atjaunojamie resursi. Bet aptaujas trešajā daļā tika noskaidrota respondentu interese un viedoklis par vides aizsardzības jautājumiem. Jautājumi aptver plašu tēmu loku – sākot no atbalsta fosilajam kurināmajam līdz atbalstam biogāzei, un tālāk pievēršoties arī atbalstam no aļģēm ražotai biogāzei. Pēc jautājumiem par atbalstu no aļģēm ražotai biogāzei tika sniegta informācija par šīs biomasas izmantošanas plusiem. Šī papildu informācija tika sniegta, jo tika pieņemts, ka vidusmēra iedzīvotājam ir nepietiekamas zināšanas par šāda veida biomasas izmantošanas aspektiem (tajā pašā laikā tika pieņemts, ka vidusmēra iedzīvotājam ir pamatzināšanas par biogāzes ražošanu, kas tam ļauj pieņemt lēmumu par tehnoloģijas atbalstīšanu vai neatbalstīšanu). Kad respondenti bija iepazīstināti ar šo informāciju, viņiem bija iespēja mainīt savu atbildi uz jautājumu par atbalstu no aļģēm iegūtas biogāzes ražošanai Latvijā. Pēc tam aptaujas rezultāti tika analizēti, lai noteiktu kritērija “atbalsts sabiedrībā” vērtību.

Atbalsts dažādām tehnoloģijām ir norādīts 5.8. tabulā. Rezultāti atbilst prognozēm – populārākās tehnoloģijas sabiedrībā ir guvušas plašāku atbalstu. Tā kā sabiedrībā trūkst izpratnes par atšķirībām starp alternatīvām, kurās tiek izmantotas aļģes, visu šo alternatīvu atbalsts sabiedrībā tiek vērtēts vienādi.

Kritērija “sociālie ieguvumi” vērtības pamatā ir ekonomiskie aprēķini, kas veikti, lai noteiktu kritērija ekonomisko vērtību. Šis kritērijs norāda, cik eiro izmaksā viena funkcionālā vienība (sk. 5.8. tabulu).

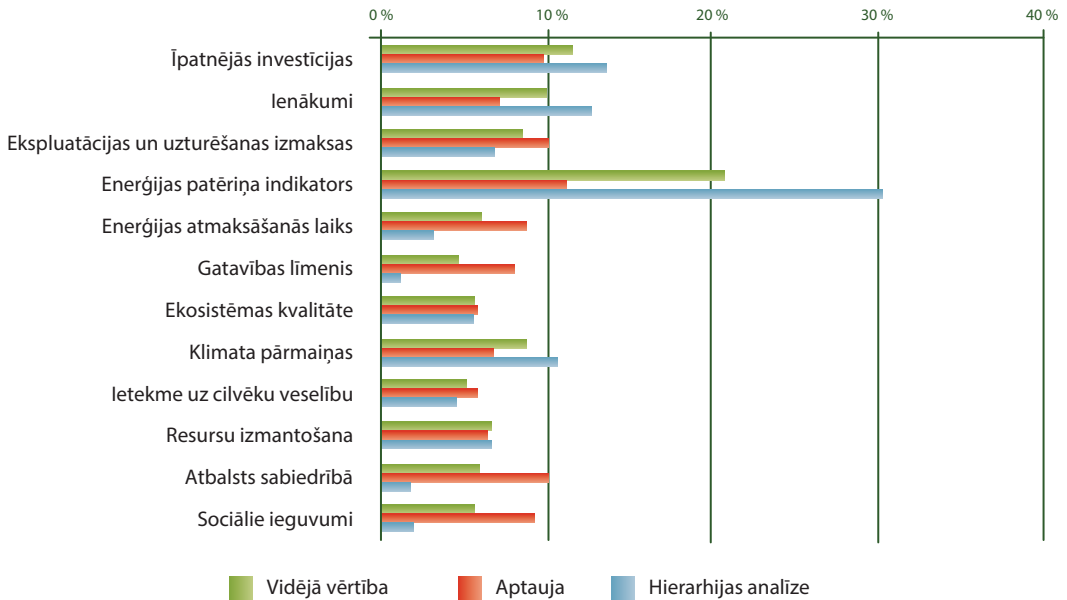
Kā redzams, zemākās kritērija vērtības uzrāda alternatīva, kurā tiek izmantota dabasgāze. Vērtības alternatīvām ar atklātu dīķu izmantošanu ir pat trīs reizes lielākas, kas skaidrojams ar papildu personālu, kurš nepieciešams gan biogāzes ražošanas, gan aļģu audzēšanas un ieguves posmā. Starp alternatīvām, kurās izmantotas jūras un saldūdens aļģes, atšķirību nav, jo biomasas attīrīšanā no sāls ieguldītais darbs nav liels.

Vērtēšana

Šajā daļā tiek veikta hierarhijas analīze (AHP). Kaut arī skaitliskās vērtības piešķiršana ir subjektīva, šo vērtību salīdzināšana lēmumu pieņemšanu padara vienkāršāku un skaidrāku. Lai samazinātu kādas personas ietekmi vērtēšanā, tika aptaujāti vairāki vides eksperti ar doktora grādu. Aptaujas sākumā tiek norādīts tās temats un pētījums, kurā šī aptauja tiks izmantota, bet pēc tam tiek uzdoti jautājumi. Ekspertiem ir jānovērtē gan kritēriju kategorijas, gan paši kritēriji. Lai aprēķinātu kritēriju vērtības, tiek noteikta

aptaujā iegūtā kritērija vidējā vērtība, kā arī *AHP* rezultāts, kas ļauj izvairīties no datu subjektivitātes.

Jāatzīst, ka pēc ekspertu domām kritēriji bija vērtējami daudz līdzīgāk, nekā uzrādīja *AHP* rezultāti (sk. 5.4. attēlu).



5.4. att. Kritēriju vērtēšana piemērojot hierarhijas analīzes metodi un ekspertu aptauju un kritēriju gala rezultāts.

Atšķirības starp vērtējumiem var skaidrot ar faktu, ka visās metodēs tika īstenotas dažādas pieejas. Salīdzinājums pāros ļauj izvērtēt vienu kritēriju salīdzinājumā ar citu, tādējādi mainot to, kā kritēriju uztver katrs eksperts atsevišķi.

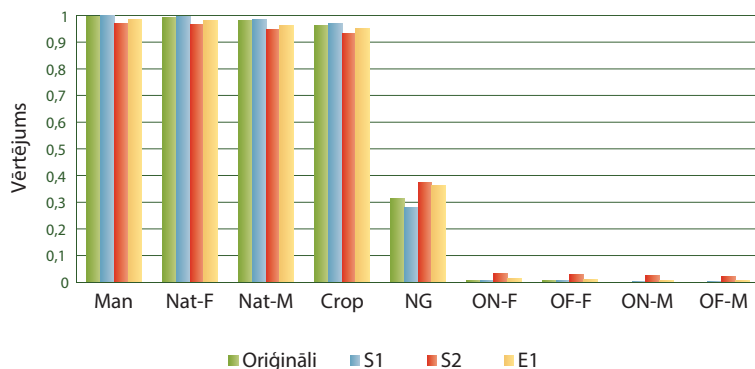
Lielākās atšķirības vērojamas starp sociālajiem kritērijiem un enerģijas patēriņa indikatoru. Sociālo kritēriju atšķirības var skaidrot ar to, ka kritēriji tiek uztverti dažādi – lai arī sociālie kritēriji šķiet nozīmīgi, kad tie tiek salīdzināti ar konkrētiem ekonomiskiem kritērijiem, to nozīmība bieži vien samazinās.

Enerģijas patēriņa indikators, kas noteikts ar *AHP* metodi, skaidri parāda, ka autoruprāt šis ir ļoti svarīgs rādītājs. Arī ekspertu aptaujas rezultāti liecina, ka šim kritērijam piešķirta ļoti liela nozīme. Līdz ar to šo abu vērtējumu apvienošana sniedz skaidrāku priekšstatu par vērtēšanas sistēmu.

Pateicoties tam, ka *AHP* metodei un ekspertu aptaujai ir katrai savas priekšrocības, to apvienošana ir ļāvusi gūt mazāk subjektīvus vērtēšanas rezultātus.

Divu kritēriju vērtības ir negatīvas, bet literatūras avotos nav informācijas par to, vai šo kritēriju vērtības varētu noteikt ar *TOPSIS* metodi. Tāpēc šo kritēriju vērtības ir pārrēķinātas, izmantojot visu alternatīvu minimālo vērtību. Līdz ar to minimālā vērtība ir 1 (nevis 0, kas rezultātus varētu ietekmēt negatīvi), bet pārējo kritēriju vērtības tiek pārrēķinātas, ņemot vērā šo aspektu. Būtībā šis ir sākotnējais datu normalizēšanas uzdevums, lai nodrošinātu kvalitatīvus rezultātus.

Kad tas ir paveikts, vērtības var normalizēt un izmantot *TOPSIS* metodē. *TOPSIS* metodes rezultāti norāda to, cik tuvu ideālajam risinājumam ir konkrētā alternatīva (sk. 5.5. attēla stabiņus “Oriģināli”).



5.5. att. *TOPSIS* metodes kritēriju jutīguma analīze, kur S1 – sabiedrības viedoklis, S2 – ieinteresēto pušu viedoklis, E1 – uzņēmēju viedoklis.

Kā redzams, katras alternatīvas rezultāti savstarpēji ir līdzīgi, lai arī alternatīvu starpā tie ļoti atšķiras. Visaugstāko vērtējumu ir saņēmusi alternatīva, kurā tiek izmantoti kūtsmēsli. Kā jau iepriekš minēts, tas varētu būt skaidrojams ar atrunu, ka netiek ņemta vērā kūtsmēsli ražošanas un biogāzes ražošanas “sākas” tikai ar kūtsmēsli transportēšanu. Pēc tam seko alternatīvas, kurās tiek izmantota dabīgi augusi un ievākta biomasas, – šīs alternatīvas ir ļoti tuvu ideālajam risinājumam (97 % un 99 %). Pārējie bāzes scenāriji ir saņēmuši zemāku vērtējumu nekā alternatīvas, kurās izmantotas aļģes. Zemais vērtējums alternatīvai, kurā tiek izmantota labība, varētu būt skaidrojams ar atšķirīgām biomasas īpašībām un līdz ar to funkcionālajai vienībai nepieciešamās biomasas mainīgo daudzumu. Piektajā vietā ar 31 % ir alternatīva, kurā tiek izmantota dabasgāze. Tās rezultātu lielā mērā nosaka emisijas ietekme uz vidi un neliels skaits nepieciešamo darbinieku (sociālo ieguvumu kritērijs). Pārējo alternatīvu rezultāts ir mazāks nekā 1 %, kas nozīmē, ka tās ne tuvu nelīdzinās ideālajam risinājumam. Šeit jau atkal

jānorāda, ka būtisku atšķirību rada iespēja izvairīties no mākslīgā mēslojuma ietekmes uz vidi, kā arī ekonomiskie indikatori. Tā kā aļģu audzēšana ir saistīta ar investīcijām un iekārtu ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksām, šo tehnoloģiju tehniskā iespējamība ir zema. Rezultāti rāda, ka aļģu ilgtspējīgai izmantošanai biogāzes ražošanā ir potenciāls, tomēr ir jāatrisina problēma, kas saistīta ar aļģu audzēšanas augstajām izmaksām. Jāapsver arī iespēja izmantot aļģes kopā ar citiem izejmateriāliem (piemēram, kūtsmēsliem), jo izmaksas tas varētu samazināt uz pusi, tajā pašā laikā veicinot aļģu izmantošanu un ražošanu, kā arī nodrošinot tehnoloģiju attīstību.

ACN modeļa jutīguma analīze uzrāda tā stabilitāti, tomēr tas nenozīmē, ka arī galīgais modelis noteikti ir stabils. Jutīguma analīze tiek veikta, mainot vērtējumu atbilstoši dažādu ieinteresēto pušu prioritātēm. Tika aplūkots sabiedrības viedoklis (S1), kurā vides aizsardzība kā sociālais kritērijs ir svarīgāks, nekā vides un ekonomikas apsvērumi. Pēc ieinteresēto pušu domām (S2) uzsvars ir liekams uz ekonomiskajiem un sociālajiem kritērijiem, bet uzņēmējprāt (E1) vissvarīgākie ir ekonomiskie un tehniskie kritēriji. Kā redzams, izmaiņas galīgā novērtējuma rezultātos ir niecīgas, un modelis ir vērtējams kā stabils.

Secinājumi

Šis pētījums bija viens no sākotnējiem mēģinājumiem novērtēt iespēju izmantot makroaļģes kā alternatīvu izejvielu anaerobās pārstrādes procesos Latvijā. Pētījums sniedz īpašu ieskatu makroaļģu audzēšanas un ieguves sistēmu potenciāla novērtējumā, salīdzinot to ar dabasgāzes izmantošanu un biogāzes ražošanu no klasiskām izejvielām (proti, kūtsmēsliem un lauksaimniecības atliekām).

Iegūto rezultātu pamatā ir jauna ilgtspējas novērtēšanas metodoloģija, kas iegūta, apvienojot daudzkritēriju analīzes un aprites cikla novērtējuma pieeju.

Pētījuma rezultāti liecina, ka aļģu izmantošana biogāzes ražošanā var sasniegt tādu pašu ilgtspējas līmeni kā standartscenāriji (5 % robežās *TOPSIS* vērtējumā), ja tiek ievēroti noteikti šajā pētījumā izteikti pieņēmumi. Tas nozīmē, ka aļģu izmantošana biomasas ieguvei tieši no ūdenstilpnes nodrošina tādus pašus rezultātus kā standartscenāriji (proti, dabasgāze un lauksaimniecības atliekas). Lai arī makroaļģu ieguve var likties visai īstenojams scenārijs, lai novērstu būtisku ietekmi uz vietējo ekosistēmu, ir nepieciešama ļoti rūpīga darbību pārvaldība. Turklāt būtu jāveic arī padziļināta analīze, lai novērtētu aļģu ieguvē patērētās enerģijas daudzumu, jo tā varētu būt vājā vieta šīs alternatīvas realizēšanai komerciālā mērogā.

Pētījums rāda, ka Latvijas apstākļos aļģu ilgtspējīga izmantošana ir iespējama un ka aļģu biomasu var izmantot biogāzes ražošanai. Pamatojoties uz šo pētījumu, galvenajiem pieņēmumiem un definētajiem scenārijiem, kā arī uz ievaddatiem – vispiemērotākais īstenojamais un ticamais risinājums aļģu izmantošanai no biogāzes ražotas enerģijas ieguvei ir alternatīva, kurā aļģes tiek iegūtas dabīgās ūdenstilpnēs (rezultāts *TOPSIS* vērtējumā – 0,99 no 1,00). Galvenie jautājumi ir saistīti ar dzīvotspējīgas un izmantojamas aļģu biomasas kvantitatīvu novērtēšanu, labāko sugu atlasīšanu (vai to optimālu kombināciju), kā arī ar sekām ūdens videi, kas rodas, iegūstot lielu apjomu aļģu biomasas.

Pētījums pierāda, ka nozīmīga pozitīva ietekme uz vidi ir saistīta ar digestāta izmantošanu, ja ar to var novērst mākslīgo minerālmēsli izmantošanu. Iegūtās aļģes pozitīvi ietekmē arī eitrofikāciju, tomēr ir nepieciešami papildu pētījumi, lai izprastu, vai aļģu ieguve neatstāj citu ietekmi.

Šajā pētījumā aplūkoto alternatīvu ietvaros tika vērtēta tikai viena veida biomasas vienlaicīga izmantošana biogāzes reaktorā, tomēr neseni pētījumi rāda, ka pareiza izejvielu kombinācija saražotās biogāzes daudzumu var palielināt. Tas ne tikai samazinātu izmaksas aļģu audzēšanai dīķos, bet arī palielinātu biogāzes ražošanas vispārējo ilgtspēju. Izejvielu kombinācijas izmantošana nodrošinātu iespēju izmantot arī ūdenstilpnēs iegūtas aļģes, jo to ieguves apjoms ir neparedzams. Līdz ar to šīs aļģes varētu izmantot kā sekundāro izejvielu, lai palielinātu biogāzes ražotnes efektivitāti, ja tas ir iespējams. Šo iespēju izvērtēšana nav tik vienkārša kā šajā pētījumā aplūkoto alternatīvu novērtēšana, jo īpaši ja nav zināms izmantoto aļģu daudzums. Arī attiecībā uz aļģu ieguvei dabīgās ūdenstilpnēs jānorāda – nav iespējams nodrošināt, ka tiek iegūtas noteiktas sugas aļģes, ja vien to ieguve netiek veikta manuāli. Latvijas kontekstā jāmin, ka šeit ir daudz aizsargājamo aļģu un makrofitu sugu, kā arī liels skaits īpaši aizsargājamo ūdens un piekrastes teritoriju, kurās biomasas ieguve būtu sarežģīta vai pat aizliegta.

Praktiski ieviešot aļģes enerģijas ražošanas sistēmā, vajā vieta to komerciālai izmantošanai joprojām būtu aļģu audzēšanas posms. Padziļinātām vispārējās ilgtspējas novērtējumam būtu nepieciešama lielāka izpratne par reālo ekonomisko ietekmi, kas saistīta ar šīs jaunās un potenciālās tehnoloģijas ieviešanu. Vispārēja aprites cikla novērtējuma pieeja kombinācijā ar daudzkritēriju analīzi ļauj gūt plašu un skaidru priekšstatu par vides, ekonomiskajiem un sociālajiem ieguvumiem un ietekmi, un tās ir noteikti jāizmanto tehnoloģiju attīstības un politisku lēmumu pieņemšanas procesā. Papildus būtu jāveic daudz detalizētāka jutīguma analīze.

Izmantotā literatūra

- [1] Nehrin, R., 2009. Traversing the mountaintop: world fossil fuel production to 2050. *Philosophical transactions of the Royal Society. Biological Sciences* 1532, 3067–3079.
- [2] McKendry, P., 2002. Energy production from biomass: overview of biomass. Review paper. *Bioresource Technology* 83, 37–46.
- [3] Demirbas, A., 2001. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management* 24, 1357–1378.
- [4] Alam, F., Date, A., Rasjidin, R., Mobin, S., Moria, D., Baqui, A., 2012. Biofuel from algae – Is it a viable option? *Procedia Engineering* 49, 221–227.
- [5] Alvarado-Morales, M., Boldrin, A., Karakashev, B., Holdt, S. L., Angelidaki, I., Astrup, T., 2013. Life cycle assessment of biofuel production from brown seaweed in Nordic conditions. *Bioresource Technology* 129, 92–99.
- [6] Debowski, M., Zielinski, M., Grala, A., Dudek, M., 2013. Algae biomass as an alternative substrate in biogas production technologies – Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 27, 596–604.
- [7] Singh, A., Olsen, S. I., 2011. A critical review of biochemical conversion, sustainability and life cycle assessment of algal biofuels. *Applied Energy* 88, 3548–3555.
- [8] Bruton, T., Lyons, H., Lerat, Y., Stanley, M., Rasmussen, M. B., 2009. A review of the potential of marine algae as a source of biofuel in Ireland. Report, Sustainable Energy Ireland. Dublin, Ireland, 92 p.
- [9] Wellinger, A., 2009. Algal Biomass – Does it save the world? Short reflections. Report, IEA Bioenergy, Task 37, 13 p.
- [10] Kim, S. K., 2011. *Handbook of Marine Macroalgae: Biotechnology and Applied Physiology*. John Wiley & Sons Ltd. New Jersey, USA, 592 p.
- [11] Archer, D., Barber, J., 2004. *Molecular to global photosynthesis*. Imperial College Press. London, UK, 788 p.
- [12] Zamalloa, C., Vulsteke, E., Albrecht, J., Verstraete, W., 2011. The techno-economic potential of renewable energy through the anaerobic digestion of microalgae. *Bioresource Technology* 102, 1149–1158.
- [13] Lundquist, T. J., Woertz, I. C., Quinn, N. W. T., Benemann, J. R., 2010. A realistic Technology and Engineering assessment of algae biofuel production. Report, Energy Biosciences Institute. USA, 178 p.
- [14] Resurreccion, E., Colosi, L., White, M., Clarens, A., 2012. Comparison of algae cultivation methods for bioenergy production using a combined life cycle assessment and life cycle costing approach. *Bioresource Technology* 126, 298–306.
- [15] Richardson, J. W., Johnson, M. D., Outlaw, J. L., 2012. Economical comparison of open pond raceways to photo bio-reactors for profitable production of algae for transportation fuels in the Southwest. *Algal Research* 1, 93–100.
- [16] Slade, R., Bauen, A., 2013. Micro-algae cultivation for biofuels: Cost, energy balance, environmental impacts and future prospects. *Biomass and Bioenergy* 53, 29–38.
- [17] Demirbas, A., 2000. Mechanisms of liquefaction and pyrolysis reactions of biomass. *Energy Conversion and Management* 41, 633–646.

- [18] Demirbas, A., 2001. Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. *Energy Conversion and Management* 24, 1357–1378.
- [19] Dragone, G., Fernandes, B., Vicente, A. A., Teixeira, J. A., 2010. Third generation biofuels from microalgae. *Communicating Current Research, Technology and Education Topics in Applied Microbiology and Microbial Biotechnology* 2, 1355–1366.
- [20] Bahadar, A., Khan, M. B., 2013. Progress in energy from microalgae: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 27, 128–148.
- [21] Eroglu, E., Melis, A., 2011. Photobiological hydrogen production: Recent advances and state of art. *Bioresource Technology* 102, 8403–8413.
- [22] Environmental policy strategy 2009–2015. Cabinet order 517. *Latvijas Vēstnesis* 122 (4108). Riga, Latvia, 53 p.
- [23] EC, 2010. European Commission, Europe 2020. A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth. Brussels, Belgium, 37 p.
- [24] Kalns, J., 2012. Biogas in Latvia. LV Portāls. Available at: <<http://www.lvportals.lv/likumi-prakse.php?id=251397>>
- [25] Astill, H., Walker, D., Kilminster, K., et. al., 2010. Macrophytes and macroalgae in the Swan-Canning estuary. *River Science* 20, 2–12.
- [26] Dodds, W. K., 2002. *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications*. Academy Press. California, USA, 591 p.
- [27] Gül, T., 2004. *Integrated Analysis of Hybrid Systems for Rural Electrification in Developing Countries*. M. Sc. Thesis. RIT Division of Land and Water and Water Resources Engineering. Stockholm, Sweden, 117 p.
- [28] Hwang, C. L., Yoon, K., 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Springer-Verlag. Berlin, Germany, 259 p.
- [29] Tzeng, G. H., Huang, J. J., 2011. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, USA, 350 p.
- [30] Körth, H., 1969. Zur Berücksichtigung mehrere Zielfunktionen bei der Optimierung von Produktionsplanen. *Mathematik und Wirtschaft* 6, 184–201.
- [31] Pubule, J., Blumberga, A., Romagnoli, F., Blumberga, D., 2015. Finding an optimal solution for biowaste management in the Baltic States. *Journal of Cleaner Production* 88, 214–223.
- [32] Dong, J., Chi, Y., Zou, D., Fu, C., Huang, Q., Ni, M., 2014. Energy environment economy assessment of waste management systems from a life cycle perspective: model development and case study. *Applied Energy* 114, 400–408.
- [33] Saaty, T., 1980. *The analytic hierarchy process*. McGraw Hill. New York, USA.
- [34] ISO, 1997. International Standard ISO 14040: Environmental management-Life cycle assessment – Principles and Framework.
- [35] ISO, 2006. International Standard ISO 14044: Environmental management. Life cycle assessment – requirement and guidelines.
- [36] Rodríguez R., Ruyck J. D., Díaz P. R., Verma V. K., Bram S., 2011. An LCA based indicator for evaluation of alternative energy routes. *Applied Energy* 88, 630–635.

- [37] Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H. J., Doka, G., Dones, R., Hischier, R., Hellweg, S., Humbert, S., Margni, M., Nemecek, T., Spielmann, M., 2007. Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods: Data v2.0. ecoinvent. Report No. 3, Swiss center for Life Cycle Inventories. Switzerland.
- [38] Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., Meijer, E., 2013. Introduction to LCA with *SimaPro*. PRe consultants. The Netherlands.
- [39] Goedkoop, M., Oel, M., Schryver, A., Vieira, M., 2008. *SimaPro* Database Manual: Methods Library. PRe consultants. The Netherlands.
- [40] Humbert, S., Schryver, A., Bengoa, X., Margni, M., Jolliet, O., 2012. IMPACT 2002+: User Guide. Draft for version Q2.21. Quantis press. USA.
- [41] Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G., Rosenbaum, R., 2003. IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. Ecomed publishers. USA.
- [42] Bruhn, A., Dahl, J., Nielsen, H. B., et. al., 2011. Bioenergy potential of *Ulva lactuca*: Biomass yield methane production and combustion. *Bioresource Technology* 102, 2595–2604.
- [43] Van Iersel, S., Gamba, L., Rossi, A., Alberci, S., Dehue, B., Van de Staaij, J., Flammini, A., 2009. Algae-based biofuels: A review of challenges and opportunities for developing countries. Review, Food and agriculture Organization of the Unites Nations. Rome, Italy, 59 p.
- [44] Kumar, P., 2010. Analysis of CO₂ capture using algae. *Oilgae*, USA, 24 pp.
- [45] Bruhn, A., Dahl, J., Nielsen, H. B., et. al., 2011. Bioenergy potential of *Ulva lactuca*: Biomass yield methane production and combustion. *Bioresource Technology* 102, 2595–2604.
- [46] Surendra, K. C., Takara, D., Hashimote, A. G., et. al., 2012. Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31, 846–859.
- [47] Collet, P., Helias, A., Lardon, L., et. al., 2011. Life-cycle assessment of microalgae culture coupled to biogas production. *Bioresource Technology* 102, 207–214.
- [48] Frost, P., Gilkinson, S., 2011. 27 months performance summary for anaerobic digestion of dairy cow slurry at AFBI Hillsborough. Interim Technical report. Report, Agri-Food and Biosciences Institute. USA, 13 p.
- [49] Aresta, M., Dibenedetto, A., Barberio, G., 2005. Utilization of macro-algae for enhanced CO₂ fixation and biofuels production: Development of a computing software for an LCA study. *Fuel Processing Technology* 86, 1679–1693.
- [50] Tredici, M. R., 2012. Energy balance of microalgae cultures in photobioreactors and ponds. The energy balance and the NER, calculated on real number as at the base of a sound LCA of algal biofuels. EU workshop, Life Cycle Analysis of Algal Based Biofuels. Italy, 38 p.
- [51] Biogas composition from different sources. Naskeo Environnement. Available at: <http://www.biogas-renewable-energy.info/biogas_composition.html>
- [52] Selehion, A. R., Minael, S., Razavi, S. J., 2013. Design and performance evaluation of screw press separator for separating dairy cattle manure. *International Journal of Agronomy and Plant Production* 4, 3849–3858.
- [53] Cuellar, A. D., Webber, M. E. Cow power: the energy and emissions benefits of converting manure to biogas. *Environmental Research Letters* 3, 8 p.

- [54] Koenig, R. T., Hammac, W. A., Pan, W. L., 2011. Canola growth, development and fertility. Fact sheet, Washington State University. USA, 6 p.
- [55] Balodis, I., Balodis, O., 2013. Winter Oilseed Rape Growing – Experience in Farm „Azaidi. Lauksaimniecības zinātne veiksmīgai saimniekošanai 21, 224-227.
- [56] EE, 2012. Energy and Environment, Biogas use alternative system efficiency and cost comparison for socio-economic gain evaluation. Technical implementation report. Report, Riga, Latvia, 20 p.
- [57] Dubrovskis, V., Niklass, M., Emsis, I., Kārklīņš, A., 2013. Biogas production and efficient use. Report, Latvijas Biogāzes Asociācija. Riga, Latvia, 88 p.
- [58] Frank, E. D., Han, J., Palau-Rivera, I., et. al., 2012. Methane and nitrous oxide emissions affect the life-cycle analysis of algal biofuels. Environmental Research Letters 7, 10 p.
- [59] Auziņš, J., Januševskis, A., 2007. Experimental planning and analysis. Riga Technical University press. Riga, Latvia, 256 p.
- [60] Keskinan, O., Goksu, M. Z. L., Basibuyuk, M., et. al., 2004. Heavy metal adsorption properties of a submerged aquatic plant (*Ceratophyllum demersum*). Bioresource Technology 92, 197–200.
- [61] Aravind, P., Prasad, M. N. V., 2004. Zinc protects chloroplasts and associated photochemical functions in cadmium exposed *Ceratophyllum demersum* L., a freshwater macrophyte. Plant Science 166, 1321–1327.
- [62] Rajiv, K. S., 2010. Air, water and soil pollution science and technology: green plants and pollution. Nova science publisher. New York, USA.
- [63] Block, T. A. Rhoads, A. F., Anisko, A., 2011. Aquatic Plants of Pennsylvania: A Complete Reference Guide Book. University of Pennsylvania Press. Philadelphia, USA.
- [64] Ha, M. H., Pflugmacher, S., 2013. Time-dependent alterations in growth, photosynthetic pigments and enzymatic defense systems of submerged *Ceratophyllum demersum* during exposure to the cyanobacterial neurotoxin anatoxin-a. Aquatic toxicology 138, 26–34.
- [65] EPA, 2001. Environmental Protection Agency, METHOD 1684: Total, Fixed, and Volatile Solids in Water, Solids, and Biosolids. Washington, USA.

6. Atjaunojamās enerģijas alternatīvas dabasgāzes izmantošanai būvmateriālu nozarē un to aprites cikla novērtējums

Māra Rēpele, Gatis Bažbauers

Keramisko būvmateriālu ražošanas nozare ir energoietilpīga, jo šīs nozares uzņēmumos krāsnis ilgu laiku tiek darbinātas augstā temperatūrā [1], [2]. Ņemot vērā ražošanas iekārtu patērēto enerģiju un ar to saistītās siltumnīcefekta gāzu emisijas, šo materiālu ražošana būtiski veicina globālo sasilšanu. Būvniecības nozare gadā patērē aptuveni 40 % no pasaulē izmantotajām izejvielām [3], un ķieģeļi ir viens no galvenajiem būvniecībā izmantotajiem materiāliem [4]. Ķieģeļu un dakstiņu apdedzināšanai, kā arī keramikas kausēšanai, veidošanai un žāvēšanai ir nepieciešams ievērojams daudzums enerģijas. Lai arī būvmateriālu ražošana atstāj nozīmīgu ietekmi uz vidi, šiem materiāliem ir ilgs kalpošanas laiks un tie samazina ēku energopatēriņu. Līdz ar to ir nepieciešami aprites cikla novērtējuma dati, lai varētu salīdzināt dažādu būvmateriālu aprites cikla ietekmi uz vidi.

Vairāku pētījumu mērķis ir bijis uzlabot krāsnis un ražotnes [5]–[7], izpētīt ķieģeļu ražošanas piedevu ietekmi uz kurināmā patēriņu un ķieģeļu mehāniskajām un fizikālajām īpašībām [8]–[10], izstrādāt ilgtspējīgus būvmateriālus, kas izgatavoti no pārstrādātiem atkritumiem [11], [12], kā arī novērtēt ēku vai būvniecības sistēmu aprites ciklu [13], [14]. Tomēr mazāk uzmanības ir pievērsts atsevišķu būvmateriālu ražošanas radītajai ietekmei uz vidi, lai novērtētu, kā mainās ietekme uz vidi, ja tiek veikta kurināmā nomaiņa.

Analizējot atsevišķu būvmateriālu ražošanas radīto ietekmi uz vidi, jāsecina, ka tikai daži no publiskotajiem pētījumiem novērtē keramisko būvmateriālu ietekmi uz vidi. Ķieģeļu ražošanas ietekmes uz vidi pētījumā Grieķijā [4] novērtēšanai izmantota *EcoIndicator'95* metode, kas ir *EcoIndicator'99* vecāka versija. Tomēr šobrīd ir pieejamas jau daudz jaunākas metodes, piemēram, *ReCiPe* [15], kura ir izmantota šajā pētījumā, lai novērtētu ķieģeļu ražošanas ietekmi uz vidi Latvijā.

Ir veikti pētījumi par energoefektivitātes uzlabojumiem vai atjaunojamo energoresursu izmantošanu [16], [17] nolūkā samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas uz vienu produkcijas vienību.

Tomēr ir paredzams, ka, ņemot vērā ēku energoefektivitātes palielināšanos, būvmateriālos “ietvertās” enerģijas nozīme nākotnē kļūs vēl lielāka. Eiropas Komisijas izdotajā atsauces dokumentā par labākajām pieejamajām tehnoloģijām keramikas izstrādājumu ražošanā ir norādīts, ka pašlaik ķieģeļu apdedzināšanai pārsvarā tiek izmantota dabasgāze, sašķidrināta naftas gāze un īpaši vieglā degviela. Krāšņu kurināšanai tiek izmantoti arī citi energoresursi, piemēram, sašķidrināta dabasgāze, biogāze, biomasa, elektrība, smagā dīzeļdegviela un cietais kurināmais (ogles, koks) [1]. Atsauces dokumentā ir uzsvērts – smago dīzeļdegvielu vai cieto kurināmo aizvietojo ar dabasgāzi, sašķidrināto naftas gāzi vai sašķidrināto dabasgāzi, varētu ievērojami samazināt ietekmi uz vidi. Papildus ir norādīts, ka arī atjaunojamos energoresursus varētu izmantot krāšņu kurināšanai, tomēr joprojām trūkst informācija par emisijām un kurināmā patēriņa dati [1].

Aprites cikla uzskaites datu pētījumi [18], [19] rāda, ka, aizvietojo dabasgāzi ar biometānu, siltumnīcefekta gāzu emisijas var samazināt par gandrīz 80 %. Līdz ar to var apgalvot, ka kurināmā aizvietošana šajā nozarē var sniegt daudz lielāku ieguvumu videi, nekā pakāpeniska iekārtu efektivitātes uzlabošana. Austrijas zinātnieki ir aprakstījuši biogāzes ražotnes integrāciju cementa ražošanas nozarē, vērtējot to no enerģētikas un ekonomiskā viedokļa [17]. Tomēr joprojām ir nepieciešams daudz detalizētāks aprites cikla novērtējums un pētījums par citu alternatīvu, piemēram, biodegvielas izmantošanu. Tāpēc šajā pētījumā tiek salīdzināti trīs atjaunojamie energoresursi, proti, biometāns, kā arī pirmās un otrās paaudzes biodegviela, un izvērtēta to izmantošana keramisko ķieģeļu ražošanā Latvijā, ņemot vērā ietekmi uz vidi.

Pētījuma jautājumi ir: cik lielu ietekmi uz vidi rada ķieģeļu ražošana Latvijā un kā šī ietekme mainās, ja tiek variēti ražošanā izmantotie energoresursi, tas ir, kurināmais siltuma ieguvei un dažādi elektroenerģijas avoti. Šī pētījuma galvenais mērķis ir raksturot ķieģeļu ražošanas posmu (“no šūpuļa līdz vārtiem”; angļu val. *cradle-to-gate*) ietekmi uz vidi (1) un novērtēt, kā kurināmā aizvietošana un elektroenerģijas avotu variēšana maina ietekmi uz vidi (2). Iegūtie rezultāti izmantojami galvenokārt ekodizaina ieviešanai būvniecības nozarē, kā arī ķieģeļu ražošanas nozares radītās ietekmes uz vidi samazināšanai. Pētījuma rezultāti var noderēt ēku projektēšanā un būvniecības materiālu ražošanā, kā arī nākotnes energoapgādes sistēmu plānošanā.

Latvijā saražotie ķieģeļi tiek eksportēti uz daudzām valstīm, tāpēc šī pētījuma rezultāti ir aktuāli plašam reģionam. Šis pētījums turpina iepriekš aizsāktu pētījumu [18]–[20], kurā tika raksturota

būvmateriālu ietekme uz vidi, analizēti vides ieguvumi dabasgāzi aizstājot ar bioloģiski sintezētu dabasgāzi un veikts biometāna piegādes sistēmas aprites cikla novērtējums, lai izvērtētu alternatīvas ķieģeļu apdedzināšanā izmantotajiem kurināmajiem, piemērojot aprites cikla novērtējuma metodoloģiju ar divām ietekmes novērtēšanas metodēm.

Metodoloģija

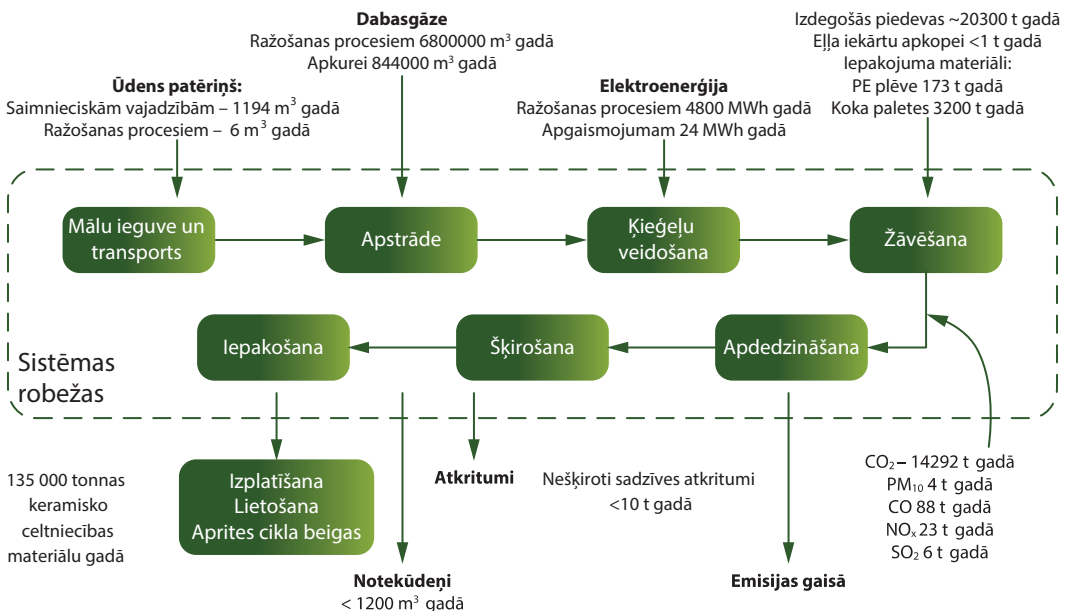
Lai raksturotu Latvijā ražotu ķieģeļu ietekmi uz vidi “no šūpuļa līdz vārtiem”, tika izmantota aprites cikla novērtējuma (ACN) metode. ACN ir viens no svarīgākajiem ekodizaina rīkiem, un tas aptver vairākus vides aspektus [21]–[23]. Šajā pētījumā ACN ir veikts atbilstoši ISO standartu 14 040 un 14 044 prasībām [24], [25].

Pētījuma mērķis ir izvērtēt, kā mainās ietekme uz vidi, ja ķieģeļu apdedzināšanas krāsnīs šobrīd izmantotā dabasgāze tiek aizvietota ar biometānu un šķidrajām biodegvielām. Tika pētīts arī, kādu ietekmi uz vidi atstāj elektroenerģijas avotu variēšana.

Funkcionālā vienība un sistēmas robežas

Pētījuma ietvaros par funkcionālo vienību un atsaucis plūsmu tika izvēlēta 1 tonna saražotu ķieģeļu. Izpētītā sistēma, tajā skaitā galvenie ieejas un izejas materiāli, ir parādīti 6.1. attēlā. Pētījumā netika vērtēta ķieģeļu ražotnes būvniecība.

6.1. att. Sistēmas robežas un galveno ieejas un izejas materiālu shematiskais attēlojums.



Aprites cikla novērtējuma metodoloģija un ietekmes veidi.

Produkta aprites ciklā radītās ietekmes uz vidi modelēšanai un analizēšanai tika izmantota ACN programma *SimaPro 8.0.0* [26], kā arī *Ecoinvent (v 2.2)*, Eiropas Aprites cikla (*ELCD v 2.0*) un ASV Aprites cikla uzskaites (USLCI) datubāze. Pētījumā tika izmantoti tikai datubāzēs pieejamie sistēmas procesi.

Ķieģeļu ražošanas “no šūpuļa līdz vārtiem” ietekme uz vidi tika raksturota aprites cikla vidus un beigu punktā. Lai pētījuma rezultāti būtu salīdzināmi ar nesenajiem pētījumiem, kas veikti citur pasaulē, un tos varētu piemērot ekodizaina vajadzībām, Latvijā ražotu keramisko būvmateriālu ietekmes novērtējumam tika izmantotas divas metodes:

- *ReCiPe*, kas ir viena no jaunākajām saskaņotajām pieejām aprites cikla ietekmes novērtējuma veikšanā – būtībā tā ir uzlabota *CML 2000* un *EcoIndicator'99* versija; *ReCiPe* ietver saskaņotus kategoriju indikatorus vidus un beigu punktu līmeni;
- *EcoIndicator'99* ir viena no visbiežāk izmantotajām ACN metodēm un pirmā beigu punkta ietekmes novērtēšanas metode, kas ļauj izteikt produkta radīto slodzi uz vidi vienā indikatorā. Tā kā pēdējo gadu laikā *EcoIndicator'99* metode ir izmantota daudzos citos pētījumos, tā tika izmantota arī šajā pētījumā, lai nodrošinātu rezultātu salīdzināmību.

Lai novērtētu konkrētas vielas radīto potenciālo apdraudējumu, abas metodes ir izstrādātas trim kultūras tipu perspektīvām: egalitārisms, hierarhijai un individuālismam [26]. Pētījumā gan tika aplūkota tika hierarhijas perspektīva. Pastāv uzskats [27]–[29], ka tā aplūko visas vielas ilgtermiņā, ja pastāv vienprātība attiecībā uz to ietekmi. Hierarhijas perspektīva atbalsta viedokli, ka laika perspektīva ir līdzsvarota un no ietekmes var izvairīties, ja tiek veiktas atbilstošas darbības. Bieži vien hierarhija tiek uzskatīta par noklusējuma modeli, tāpēc tā arī tika izvēlēta šajā pētījumā, izmantojot *ReCiPe Endpoint (Europe ReCiPe H/A)* [29] un *EcoIndicator'99 (Europe EI 99 H/A)* [30] metodes (“H” norāda attiecīgo perspektīvu, bet “A” – vidējos rādītājus, atbilstoši metožu izstrādātāju rekomendācijām).

Rezultāti ir atspoguļoti tikai tām ietekmes kategorijām, kuru kopējā ietekme uz vidi bija vismaz 5 %, un tās arī tika izvēlētas turpmākai analīzei. Izvēlētās *ReCiPe* metodes ietekmes kategorijas ir: 1) fosilo kurināmo izsmelšana, 2) un 3) klimata pārmaiņas (cilvēku veselība un ekosistēma), 4) cieto daļiņu veidošanās, 5) lauksaimniecības zemes izmantošana, 6) sauszemes ekotoksiskums.

EcoIndicator'99 metodei tika izvēlētas šādas ietekmes kategorijas: 1) fosilie resursi, 2) neorganisko vielu radītais respiratorais apdraudējums, 3) klimata pārmaiņas, 4) kancerogēnās vielas, 5) zemes izmantošana.

“No šūpuļa līdz vārtiem” aprites cikla novērtējums un sistēmas robežas ietvēra mālu ieguvu un pārstrādi, ķieģeļu formēšanu, žāvēšanu un apdedzināšanu, kā arī iesaiņošanu. Pētījuma nolūks nebija salīdzināt *ReCiPe* un *EcoIndicator*'99 metožu rezultātus, bet gan iegūt datus, kas, neraugoties uz metožu atšķirībām, ļautu iegūt vienādus secinājumus attiecībā uz alternatīvu izvēli.

Datu veidi un avoti

Pētījumā izmantoti ķieģeļu ražotnes apmeklējumos gūtie darbības dati par vienu gadu, kā arī dati, kas norādīti uzņēmuma atļaujā piesārņojošo darbību veikšanai [31]. Uzskaites rezultāti atspoguļoti 6.1. attēlā.

Produkta aprites cikla ietekme ir atkarīga no elektroenerģijas avotiem, kurus savukārt ietekmē apstākļi elektroenerģijas tirgū. Tāpēc novērtējuma sākumā tika noteiktas divējādas elektroenerģijas padeves iespējas – “A” un “B” –, lai izvērtētu, kādā mērā elektroenerģijas tirgus apstākļi skar ķieģeļu ražošanas ietekmi uz vidi. Ja ziemā elektroenerģijas cena *NordPool Spot* tirgū ir salīdzinoši augsta, vietējās koģenerācijas stacijas, kas izmanto dabasgāzi, kļūst konkurētspējīgākas un saražo ap 40 % no bruto elektroenerģijas patēriņa gadā (“A” scenārijs). Vēl 40 % bruto elektroenerģijas patēriņa gadā saražo vietējās hidroelektrostacijas, bet atlikušie 20 % tiek importēti. Tomēr, ja elektroenerģijas tirgus cena ir zema, siltumapgādi nodrošina vienīgi ar ūdenssildāmajiem katliem un koģenerācijas staciju saražotās elektroenerģijas apjoms sarūk līdz 20 %, bet importētās elektroenerģijas daudzums pieaug līdz 30 % (“B” scenārijs). Atlikušo elektroenerģiju saražo hidroelektrostacijas.

Tā kā lielu daļu elektroenerģijas Latvija iepērk no Igaunijas, tika pieņemts, ka no Igaunijas importētās elektroenerģijas daudzums ir 90 %, bet no Ziemeļvalstīm – 10 %. Igaunijā elektroenerģijas ražošanā galvenokārt izmanto degslānekli, un aptuveni 90 % šādi saražotās elektroenerģijas tiek iegūti spēkstacijās Narvā [32]. Šī pētījuma aprites cikla ietekmes novērtējuma ietvaros degslāneklis tika aizvietots ar brūnoglēm un tika pieņemts, ka Ziemeļvalstīs iegūtā elektroenerģija tiek saražota hidroelektrostacijās. Ir pamats uzskatīt, ka “B” scenārija gadījumā (zema elektroenerģijas tirgus cena) lielu daļu bruto elektroenerģijas gada patēriņa nodrošina hidroelektrostacijas, jo periodos, kad iespējama liela hidroelektrostaciju izstrāde ir raksturīga zema elektroenerģijas cena.

Lai analizētu produkta aprites cikla ietekmi atkarībā no izmantotā kurināmā, tika izstrādāti četri kurināmā scenāriji – “N”, “M”, “F1” un “F2”. “N” scenārijs raksturo pašreizējo situāciju, kurā krāsnis tiek kurinātas ar dabasgāzi. “M” scenārijā dabasgāzes vietā tiek izmantots biometāns. Bet “F1” un “F2” scenārijos tiek izmantota attiecīgi pirmās un otrās paaudzes biodegviela. Pētījumā nav ietverta biodegvielas rūpnīcu būvniecība.

Pētījuma ietvaros kā atjaunojama alternatīva dabasgāzei tika izvēlēts biometāns. Biometānu var iegūt anaerobi pārstrādājot organiskos atkritumus (piemēram, augu masu, kūtsmēslus, notekūdeņus, biodegradējamus sadzīves atkritumus u. c.). Biometānu uzskata par vienu no dzīvotspējīgākajām atjaunojamām alternatīvām dabasgāzei [33], jo pēc attīrīšanas no piemaisījumiem to var lietot tāpat kā dabasgāzi, izmantojot labi attīstīto dabasgāzes infrastruktūru. Pateicoties salīdzinoši augstajam biogāzes zemākajam sadegšanas siltumam (21 MJ/m^3 , ja sastāvā ir 60 % metāna), to varētu tiešā veidā izmantot kā kurināmo keramisko būvmateriālu apdedzināšanā [17]. Tomēr, ņemot vērā, ka bez speciālas apstrādes biogāzi nevar ievadīt dabasgāzes infrastruktūrā, to nevar uzskatīt par tiešu dabasgāzes aizstājēju.

Rapša metilesteris tika izvēlēts kā “F1” scenārija pirmās paaudzes biodegviela, bet pārtikas rūpniecībā izmantotā augu eļļa – kā “F2” scenārija otrās paaudzes biodegviela. Dati šo degvielu aprites cikla ietekmes uz vidi novērtējumam tika iegūti *SimaPro* datubāzē. Lai aprēķinātu nepieciešamo degvielas daudzumu, tika pieņemts, ka abu biodegvielu zemākais sadegšanas siltums ir $37,27 \text{ MJ/kg}$.

Dabasgāze ķieģeļu rūpniecībā pārsvarā tiek izmantota apdedzināšanas posmā, un aptuveni 11 % dabasgāzes tiek izmantoti siltumapgādes nodrošināšanai. Līdz ar to dabasgāzes patēriņš, kā arī tās radītās emisijas ir saistītas tikai ar šo ražošanas posmu. Māla apstrādes posmā tiek patērēts visvairāk elektroenerģijas, tādēļ tika pieņemts, ka 40 % visas elektroenerģijas tiek patērēti tieši šajā ražošanas posmā. Gan būvmateriālu žāvēšanai, gan apdedzināšanai tiek patērēti 25 % elektroenerģijas, formēšanai un iesaiņošanai – tikai 5 % elektroenerģijas.

Rezultāti un diskusija

Analizējot “A” un “B” scenāriju (dažādu elektroenerģijas avotu) ietekmi uz vidi ar *ReCiPe* metodi, iegūtais rezultāts ir attiecīgi $13,8 \text{ mPt/MJ}$ un 13 mPt/MJ . Analizējot scenārijus ar *EcoIndicator'99* metodi, iegūtie rezultāti atšķiras nedaudz vairāk, proti, attiecīgi $12,4 \text{ mPt/MJ}$ un 10 mPt/MJ . “A” scenārija rezultāti un *ELCD* datubāzē [26] pieejamie indikatori Latvijas vidēja sprieguma

elektroenerģijas avotam ir gandrīz vienādi. Ja scenārija “A” vietā tiek izmantots elektroenerģijas “B” scenārijs, skaitliski izteiktā funkcionālās vienības ietekme uz vidi samazinās tikai par aptuveni 0,6 % (*ReCiPe*) vai 2,2 % (*EcoIndicator’99*). Abu scenāriju atšķirības kopējo ietekmi uz vidi būtiski nemaina, tāpēc turpmākajos aprēķinos izmantots tikai “A” elektroenerģijas scenārijs.

Analizējot vienas tonnas keramisko būvmateriālu ietekmi uz vidi ar *ReCiPe* metodi, redzams, ka visos scenārijos vislielāko ietekmi uz vidi rada kurināmā un elektroenerģijas patēriņš. Māla ieguve, zāģskaidu (izdegošo piedevu) pievienošanas un iesaiņojuma (polietilēna plēves un koka palešu) radītā ietekme ir neliela un savstarpēji līdzīga (sk. 6.1. tabulu).

6.1. tabula

Funkcionālās vienības saražošanas radītā ietekme uz vidi, vērtējot ar *ReCiPe* metodi*

Scenārijs	N	M	F1	F2
Kurināmais, %	81 (76)	64 (52)	90 (94)	57 (63)
Elektroenerģija, %	11 (12)	20 (24)	6 (3)	24 (18)
Māla ieguve, %	2 (4)	4 (8)	1 (1)	5 (6)
Izdegošās piedevas, %	2 (3)	4 (5)	1 (1)	5 (5)
Iesaiņošana, %	4 (5)	8 (11)	2 (1)	9 (8)

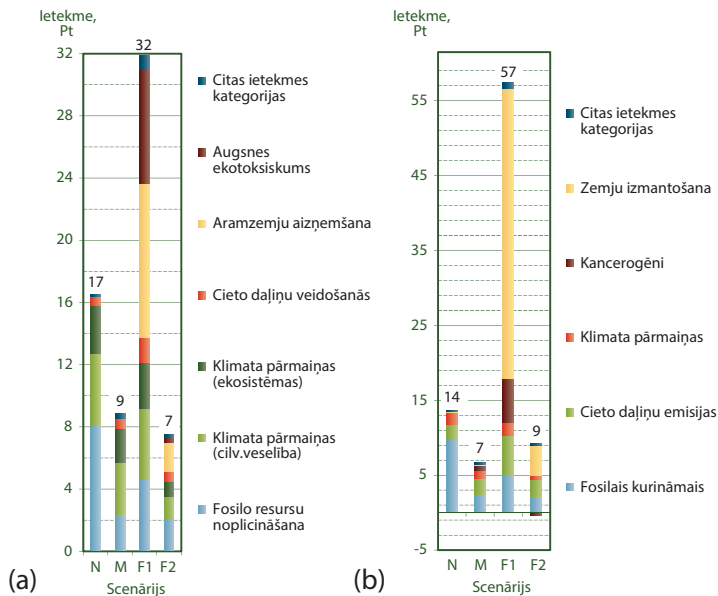
* Ar *EcoIndicator’99* metodi iegūtie rezultāti ir norādīti iekavās.

Aizstājot dabasgāzi ar biometānu (“M” scenārijs), kopējā ietekme uz vidi samazinās par 46 %, vērtējot ar *ReCiPe* metodi (sk. 6.2.a attēlu), vai par 51 %, vērtējot ar *EcoIndicator’99* metodi (sk. 6.2.b attēlu). Ja dabasgāzi aizvieto ar otrās paaudzes biodegvielu (“F2” scenārijs), ietekme uz vidi samazinās par attiecīgi 55 % vai 35 %. Savukārt pirmās paaudzes biodegvielas izmantošana (“F1” scenārijs) ietekmi uz vidi būtiski palielinātu – par attiecīgi 93 % vai 321 %, ko var skaidrot ar rapša audzēšanai nepieciešamajām zemes platībām un minerālmēsliem.

Salīdzinot “N” scenārija rezultātus ar *Ecoinvent (v 2.2)* datubāzē pieejamajiem datiem par ķieģeļu ražošanas ietekmi uz vidi, var secināt, ka keramisko būvmateriālu ražošana Latvijā, kā kurināmo izmantojot dabasgāzi, rada par apmēram 18 % mazāku ietekmi uz vidi, vērtējot ar *ReCiPe* metodi, vai par aptuveni 10 % mazāku ietekmi, vērtējot ar *EcoIndicator’99* metodi. Šī atšķirība, iespējams, rodas dažādu kurināmā patēriņa datu dēļ. Kā zināms, dažādiem mērķiem izmantojamiem ķieģeļiem ir dažāds sastāvs un izejmateriālu kvalitāte, masa un izmērs, kā arī citi parametri, līdz ar to

var atšķirties arī to apdedzināšanas ilgums un temperatūra, kā arī kurināmā patēriņš.

Ar *ReCiPe* metodi analizētajā “N” scenārijā, pateicoties dabasgāzes izmantošanai, vislielāko ietekmi uz vidi rada fosilo resursu izsmelšana un klimata pārmaiņas (sk. 6.2.a attēlu), bet, analizējot šo scenāriju ar *EcoIndicator*’99 metodi, redzams, ka vislielākā ietekme ir tieši fosilajiem resursiem (sk. 6.2.b attēlu). Šīs pašas kategorijas, proti, fosilo resursu izsmelšana un klimata pārmaiņas (*ReCiPe* metode), un fosilie resursi un neorganisko vielu radītais respiratorais apdraudējums (*EcoIndicator*’99 metode), lielāko ietekmi uz vidi rada arī “M” scenārijā. Šī ietekme galvenokārt ir saistīta ar fosilo resursu izmantošanu biogāzes ražošanā un attīrīšanā.



6.2. att. Funkcionālās vienības radītā kopējā ietekme uz vidi, vērtējot kurināmā alternatīvas ar (a) *ReCiPe* un (b) *EcoIndicator*’99 metodi. “N” – dabasgāze; “M” – biometāns; “F1” – pirmās paaudzes biodegviela; “F2” – otrās paaudzes biodegviela.

“F1” scenārija rezultāti atšķiras no iepriekšējiem, jo lielākā ietekme uz vidi ir saistīta ar lauksaimniecības zemes izmantošanu un sauszemes ekotoksiskumu (attiecīgi 31 % un 23 % no kopējās ietekmes), vērtējot ar *ReCiPe* metodi (sk. 6.2.a attēlu), vai zemes izmantošanu (67 % no kopējās ietekmes), vērtējot ar *EcoIndicator*’99 metodi (sk. 6.2.b attēlu). Šīs ietekmes kategorijas var saistīt ar pirmās paaudzes biodegvielas ražošanā nepieciešamās augsnes kultivēšanu, sēšanu, nezāļu apkarošanu, mēslošanu, kaitēkļu un patogēnu apkarošanu, ražas novākšanu, kā arī labības kaltēšanu.

“F2” scenārijā, vērtējot ar *ReCiPe* metodi (sk. 6.2.a attēlu), vislielākā ietekme uz vidi vērojama divās kategorijās – fosilo resursu izsmelšanā un lauksaimniecības zemju aizņemšanā (attieciņi 27 % un 25 % no kopējās ietekmes), un līdzīgi “F1” scenārijam arī zemju izmantošanas kategorijā (46 % no kopējās ietekmes), vērtējot ar *EcoIndicator*’99 metodi (sk. 6.2.b attēlu). Ietekme uz vidi šajās kategorijās ir saistāma ar fosilo resursu izmantošanu augu eļļas esterifikācijai par metilesteri un glicerīnu, kā arī ar lauksaimniecības procesiem augu eļļas ražošanā nepieciešamās labības ieguvei.

Grieķu zinātnieki, izmantojot *EcoIndicator*’95 metodi, aprēķināja, ka ietekme uz vidi, ko rada vienas tonnas ķieģeļu saražošana Grieķijā, ir 0,35 Pt, ja kurināšanā tiek izmantots naftas kokss [4]. Lai nodrošinātu rezultātu salīdzināmību, šajā pētījumā tika izmantota arī *EcoIndicator*’95 metode, un iegūtais ietekmes uz vidi rezultāts vienai tonnai ķieģeļu bija 0,15 Pt, ja tiek izmantota dabasgāze vai otrās paaudzes biodegviela, 0,29 Pt, ja tiek izmantots biometāns, un 0,54 Pt, ja tiek izmantota pirmās paaudzes biodegviela.

Secinājumi

Pētījuma rezultāti norāda, ka visvairāk ietekme uz vidi samazinās, ja ķieģeļu ražošanā to apdedzināšanai dabasgāzes vietā tiku izmantots biometāns. Te jāpiemin, ka šī kurināmā alternatīva arī neprasītu veikt apdedzināšanas krāšņu tehniskas izmaiņas. Otra piemērotākā alternatīva, raugoties no vides aizsardzības skatpunkta, ir otrās paaudzes biodegviela. Tomēr tādā gadījumā var būt nepieciešams veikt aprīkojuma tehniskus pielāgojumus. Pirmās paaudzes biodegvielas izmantošana rada vislielāko ietekmi uz vidi, un tās rezultāti ir daudz sliktāki nekā scenārijā, kurā tiek izmantota dabasgāze. Šo lielo ietekmi var skaidrot ar zemju izmantošanu un visām lauksaimniecības darbībām, arī minerālmēsļu lietošanu. Ņemot vērā elektroenerģijas tirgus apstākļus, elektroenerģijas avotu variēšana būtiski nemaina pētījumā aplūkotās elektroenerģijas padeves sistēmas kopējo ietekmi uz vidi: funkcionālās vienības ietekme uz vidi samazinās tikai par 0,6 % (*ReCiPe*) vai par 2,2 % (*EcoIndicator*’99).

Biometānu ražotnēm varētu piegādāt, izmantojot esošo dabasgāzes infrastruktūru. Lai noteiktu piemērotākos risinājumus, ir nepieciešams izpētīt tehniskos, vides aizsardzības un ekonomiskos kritērijus biometāna piegādes sistēmas izveidei, par pamatu ņemot dabasgāzes piegādes infrastruktūru.

Izmantotā literatūra

- [1] EC, 2007. European Commission, Reference Document on Best Available Techniques (BAT) in the Ceramic Manufacturing Industry. 260 p.
- [2] Agrafiotis, C., Tsoutsos, T., 2001. Energy saving technologies in the European ceramic sector: a systematic review. *Applied Thermal Engineering* 21, 1231–1249.
- [3] Kubba, S., 2010. *Green construction project management and cost oversight*, 1st ed. Elsevier Inc. Oxford, UK, 550 p.
- [4] Koroneos, C., Dompros, A., 2007. Environmental assessment of brick production in Greece. *Building and Environment* 42, 2114–2123.
- [5] Abou-Ziyan, H. Z., 2004. Convective heat transfer from different brick arrangements in tunnel kilns. *Applied Thermal Engineering* 24, 171–191.
- [6] Kaya, S., Küçükada, K., Mançuhan, E., 2008. Model-based optimization of heat recovery in the cooling zone of a tunnel kiln. *Applied Thermal Engineering* 28, 633–641.
- [7] Kaya, S., Mançuhan, E., Küçükada, K., 2009. Modelling and optimization of the firing zone of a tunnel kiln to predict the optimal feed locations and mass fluxes of the fuel and secondary air. *Applied Energy* 86, 325–332.
- [8] Cultrone, G., Sebastián, E., Elert, K., de la Torre, M. J., Cazalla, O., Rodriguez-Navarro, C., 2004. Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. *Journal of the European Ceramic Society* 24, 547–564.
- [9] Topçu, İ. B., Işıkdağ, B., 2007. Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite. *Building and Environment* 42, 3540–3546.
- [10] Chemani, B., Chemani, H., 2012. Effect of Adding Sawdust on Mechanical – Physical Properties of Ceramic Bricks to Obtain Lightweight Building Material. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* 11, 2521–2525.
- [11] Chen, Y., Zhang, Y., Chen, T., Zhao, Y., Bao, S., 2011. Preparation of eco-friendly construction bricks from hematite tailings. *Construction and Building Materials* 25, 2107–2111.
- [12] Raut, S. P., Ralegaonkar, R. V., Mandavgane, S. A., 2011. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. *Construction and Building Materials* 25, 4037–4042.
- [13] Cuéllar-Franca, R. M., Azapagic, A., 2012. Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses. *Building and Environment* 54, 86–99.
- [14] Rossi, B., Marique, A. F., Reiter, S., 2012. Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. *Building and Environment* 51, 402–407.
- [15] *SimaPro*, 2013. *SimaPro Database Manual*. Methods library. PRe Consultants. The Netherlands.
- [16] ECORYS, 2011. ECORYS SCS Group, FWC Sector Competitiveness Studies N°B1/ENTR/06/054 – Sustainable Competitiveness of the Construction Sector. Report, Rotterdam, The Netherlands, 286 p.
- [17] Ellersdorfer, M., Weiß, C., 2014. Integration of biogas plants in the building materials industry. *Renewable Energy* 61, 125–131.

- [18] Skele, A., Repele, M., Bazbauers, G., 2011. Characterization of Environmental Impact of Building Materials for the Purpose of Ecodesign. *Scientific Journal of Riga Technical University* 6, 106–111.
- [19] Repele, M., Dudko, M., Rusanova, J., Valters, K., Bazbauers, G., 2013. Environmental aspects of substituting bio-synthetic natural gas for natural gas in the brick industry. *Agronomy Research* 11, 367–372.
- [20] Repele, M., Paturaska, A., Valters, K., Bazbauers, G., 2014. Life cycle assessment of bio-methane supply system based on natural gas infrastructure. *Agronomy Research* 12, 999–1006.
- [21] Nowosielski, R., Spilka, M., Kania, A., 2007. Methodology and tools of eco-design. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 23, 91–94.
- [22] Buyle, M., Braet, J., Audenaert, A., 2013. Life cycle assessment in the construction sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26, 379–388.
- [23] Garaizar, M., Schischke, K., 2009. Update of EcoDesign Tools and Methodologies. Berlin, Germany.
- [24] ISO, 2006. International Standard ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.
- [25] ISO, 2006. International Standard ISO 14044: Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.
- [26] *SimaPro*, 2014. *SimaPro* 8.0.0 (Faculty version). PRé Consultants, The Netherlands.
- [27] Marceau, M. L., Vangeem, M. G., 2002. Life Cycle Assessment of an Insulating Concrete Form House Compared to a Wood Frame House. Portland Cement Association. Skokie, Illinois, USA, 165 p.
- [28] De Schryver, A. M., 2011. Value choices in life cycle impact assessment. Radboud University. Nijmegen, The Netherlands.
- [29] Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A. M., Struijs, J., van Zelm, R., 2009. ReCiPe 2008. Report I: Characterisation. Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment. The Netherlands.
- [30] Goedkoop, M., Spriensma, R., 2001. The eco-indicator99: A damage oriented method for life cycle impact assessment. Amersfoort, The Netherlands.
- [31] Permit, 2012. Permit Nr. JE12IA0004 for the Performance of Polluting Activities Category A (in Latvian). Jelgava, Latvia.
- [32] Plamus, K., Ots, A., Pihu, T., Neshumayev, D., 2011. Firing Estonian Oil Shale in Cfb Boilers – Ash Balance and Behaviour of Carbonate Minerals. *Oil Shale* 28, 58 p.
- [33] Adelt, M., Wolf, D., Vogel, A., 2011. LCA of biomethane. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 5, 646–650.

7. Kāpēc biodīzeļdegviela ir videi draudzīgāka, nekā tradicionālā fosilā dīzeļdegviela: aprites cikla novērtējuma metode

Jeļena Pubule, Francesco Romagnoli, Dagnija Blumberga

Eiropas Savienības Atjaunojamo energoresursu direktīvā (2009/28/EK) iekļautie ilgtspējības kritēriji nosaka, ka biodegvielai salīdzinājumā ar fosilajām degvielām jānodrošina vismaz par 35 % mazākas siltumnīcefekta gāzu emisijas. Eiropas Komisija visām dalībvalstīm ir norādījusi, ka līdz 2010. gadam biodegvielas izmantošanai transportlīdzekļos jāsasniedz 5,75 % no izmantotās degvielas daudzuma. Latvijā šī mērķa sasniegšanai kā viena no piemērotākajām iespējām ir izraudzīts rapša metilesteris (RME).

Pieaugot investīcijām, ir svarīgi novērtēt RME ražošanas radīto ietekmi uz vidi, kā arī noteikt šīs ietekmes galvenos cēloņus.

Tiek lēsts, ka biodegvielas izmantošana transporta nozarē Latvijā vērtējama 0,3 % apmērā (no tiem aptuveni 75 % veido biodīzeļdegviela, bet 25 % – bioetanol). Pēdējo divu gadu laikā biodegvielas ražošana Latvijā ir pieaugusi divas reizes, sasniedzot aptuveni 64 000 tonnas gadā (2009. gada dati).

Šī pētījuma mērķis ir izprast un modelēt Latvijā ražotās rapša biodīzeļdegvielas vides indikatorus. Vispirms tika pētītas energokultūras, lai noteiktu to piemērotību biodīzeļdegvielas ieguvei. Lai izvēlētos atbilstošāko, tika ņemti vērā arī Latvijas klimatiskie apstākļi un izvēlētas kultūras audzēšanas īpatnības. Bet noslēgumā iegūtie rezultāti tika salīdzināti ar fosilās dīzeļdegvielas ietekmes uz vidi rezultātiem.

Sistēmas robežas aptver rapša audzēšanu, eļļas ieguvu un apstrādi, biodīzeļdegvielas ražošanu un izmantošanu. Pētījumā ņemta vērā arī dabasgāzes ražošanas aizstāšanas procesā iegūto blakusproduktu (salmu fermentācija audzēšanas procesā), lopbarības (rapša) vai ķīmikāliju (glicerīna) valorizācija. Aprites cikla novērtējumā ir izmantota *SimaPro 7.1* datubāze un *IMPACT 2002+* novērtējuma (ACN) metode. Par funkcionālo vienību tika izvēlēts pikaps, kas veic 100 km garus pārvadājumus bezceļa apstākļos.

Tendences biodegvielas ražošanā Latvijā

Lai arī atjaunojamās enerģijas jomā Latvija ieņem vienu no vadošajām vietām Eiropas Savienībā (aptuveni trešā daļa visas patērētās enerģijas iegūta no atjaunojamiem resursiem), energoapgādes jomā mēs esam atkarīgi no importētās elektroenerģijas, kura apmierina aptuveni divas trešdaļas kopējā energopatēriņa Latvijā. Ja neskaita kūdras, kas sastopama aptuveni 10 % teritorijas, Latvijā nav pieminēšanas vērtu fosilo energoresursu. Dabasgāze, naftas produkti un ogles pārsvarā tiek ievesti no Krievijas.

Tāpēc Latvijā atjaunojamiem energoresursiem ir liela nozīme. Apmēram 55 % no Latvijas teritorijas sedz meži, padarot biomasu par visvairāk lietoto vietējo resursu siltumenerģijas ražošanā. Jau šobrīd hidroelektrostacijās tiek saražota lielākā daļa vietējās elektroenerģijas, turklāt šo ražotņu potenciāls pagaidām vēl nav izsmelts. Pēdējos gados ir pieaugusi arī vēja elektrostaciju loma un potenciāls, jo īpaši piekrastes teritorijās, kur vējš pūš bieži un ir īpaši attīstīts pārvades tīkls.

Aptuveni 70 % no vietējā elektroenerģijas pieprasījuma Latvija var apmierināt ar vietējām elektrostacijām, galvenokārt – koģenerācijas stacijām, vēja ģeneratoriem un hidroelektrostacijām. Pēdējās divas gan ietekmē apstākļi dabā – ūdens un vēja pieejamība. Tāpēc lielu daļu nepieciešamās elektroenerģijas nākas importēt. Liela daļa iepirktās elektroenerģijas iepriekš nāca no Lietuvas kodolelektrostacijas Ignalinā, kura tika slēgta 2009. gadā. Šis fakts vēl vairāk sarežģīja Latvijas situāciju elektroapgādes nozarē, bet tajā pašā laikā arī deva reālu iespēju izmantot valstī pieejamos atjaunojamus energoresursus. Eiropas Parlamenta un Padomes Direktīva 2001/77/EK paredz, ka līdz 2010. gadam 49,3 % no patērētā elektroenerģijas bruto daudzuma ir jāsarāžo, izmantojot atjaunojamus energoresursus. Turklāt Direktīva 2003/30/EK nosaka, ka biodegvielai jāsasniedz 5,75 % no kopējā izmantotās degvielas daudzuma šajā pašā periodā.

Kā noteikts Direktīvā 2009/28/EK par atjaunojamo energoresursu izmantošanas veicināšanu, līdz 2020. gadam ir jānodrošina, ka atjaunojamās enerģijas daļa kopējā enerģijas galapatēriņā ir 40 %, bet atjaunojamās enerģijas izmantošana transporta nozarē sasniedz vismaz 10 %.

Latvija ir apņēmusies līdz 2016. gadam sasniegt biodegvielas mērķi 10 % apmērā un 15 % apmērā – līdz 2020. gadam, nodrošināt, ka 8 % saražotās elektroenerģijas tiek iegūti koģenerācijas stacijās no biomasas, kā arī izpildīt norādīto 49,3 % mērķi 2010. gadam, izmantojot dažādu ražošanas tehnoloģiju piedāvātās iespējas.

Kopumā transporta nozarē tiek izmantoti tikai 0,2 % biodegvielas, lai arī ES direktīvā noteiktā proporcija ir 5,75 % [1].

Aprites cikla definīcija

Biodegvielas ilgtspējība ir plaši apspriests temats, un saistībā ar to tiek pieņemti politiski lēmumi, veiktas investīcijas un ir vērojama zināma ietekme uz vidi un sociālajiem apstākļiem [2], [3].

Lai novērtētu cilvēku darbības ilgtspējību, nepieciešams salīdzināt šīs darbības radīto ietekmi uz vidi un dabīgo jeb vēlamo stāvokli [3]. Biodegvielas ražošanas gadījumā labvēlīgs salīdzinājums atbilst šiem kritērijiem:

- degviela nodrošina vairāk enerģijas, nekā nepieciešams tās saražošanai;
- lai nodrošinātu ieguvumus ilgtermiņā, jānodrošina izejmateriālu pieejamība ilgtermiņā;
- tirgus apgāde, kas ir atkarīga no saistīto darbību ilgtspējības;
- nevēlamo vielu emisijai jābūt mazākai nekā tai, kas rodas, izmantojot fosilos resursus tā paša enerģijas daudzuma ieguvei;
- zemes izmantošana nedrīkst traucēt pārtikas ražošanai vai apdraudēt ekosistēmas līdzsvaru.

Ņemot vērā biodīzeļdegvielas un fosilās dīzeļdegvielas līdzīgās fizikālās īpašības, tās abas var izmantot parastajos dīzeļdzinējos [4]–[6]. Līdz ar to pētījuma ietvaros vispirms ir jānoskaidro, vai, raugoties no vides aizsardzības skatupunkta, biodīzeļdegvielas ražošana ir pielīdzināma fosilās dīzeļdegvielas ražošanai, ņemot vērā visus abu šo produktu aprites cikla posmus.

Ši ACN pētījuma ietvaros ir izpētīti trīs scenāriji biodīzeļdegvielas ražošanai no rapša Latvijā. Pirmā modeļa pamatā ir esošā biodīzeļdegvielas ražošanas sistēma, kas neietver iespēju izvairīties no citu produktu ražošanas pateicoties blakusproduktu un/vai ražošanas atkritumu izmantošanai, otrajā modelī tiek ņemti vērā produkti, kas netiek saražoti (jeb novērstie produkti), bet trešais ir salīdzināms dīzeļdegvielas ražošanas un izmantošanas ACN modelis.

Pētījuma ietvaros tiks noteikti arī iespējamie vides ieguvumi un/vai zaudējumi, kā arī videi piemērotākā biodīzeļdegvielas ražošanas metode Latvijas apstākļos. Pētījumā veikts atbilstoši standarta ISO 14044 prasībām [7].

Mērķis un tvērums, funkcionālā vienība

Biodegvielas ražošana Eiropā ir attīstīta, un līdz ar to arī tās ietekme uz vidi ir pētīta vairākkārt [8]–[12]. Taču šī pētījuma mērķis ir veikt biodīzeļdegvielas ražošanas un izmantošanas pilna aprites cikla novērtējumu, salīdzinot biodīzeļdegvielas uzrādītos rezultātus ar Latvijas apstākļiem atbilstošas fosilās dīzeļdegvielas rezultātiem, jo tas ļautu noteikt, kādu ieguvumu videi sniedz biodīzeļdegvielas izmantošana. Pētījuma ietvaros tiks arī noteikti galvenie ietekmes uz vidi cēloņi un izstrādāti ierosinājumi situācijas uzlabošanai.

Pētījuma ietvaros veiktās analīzes mērķi ir:

- 1) pierādīt, ka biodīzeļdegvielas enerģētiskā bilance ir pozitīva un ka tā ir atjaunojams resurss (saražotās atjaunojamās enerģijas un ražošanā patērētās neatjaunojamās enerģijas proporcijas noteikšana);
- 2) noteikt siltumnīcefekta gāzu emisiju ietaupījumu;
- 3) izmantojot aprites cikla novērtējumu, noteikt no rapša eļļas ražotas biodīzeļdegvielas (BD) sistēmas izmantošanas autotransportā (B100) aprites cikla radīto slodzi uz vidi;
- 4) noteikt sistēmas vājās vietas un izteikt atbilstošas rekomendācijas.

Šajā novērtējumā izvēlēta funkcionālā vienība ir pikaps (*Toyota Hilux*), kas veic 100 km bezceļa apstākļos (ceļš bez seguma). Kaut arī parasti biodegviela tiek izmantota tikai kā piedeva, rezultāti tiks sniegti par automašīnu, kura tiek darbināta tikai ar biodegvielu (B100), jo tās sajaukšana ar fosilo degvielu varētu ietekmēt pētījuma secinājumus un neatbilstu pētījuma mērķim – noteikt, kura biodegviela videi ir visdraudzīgākā. Pētījumā izmantota *IMPACT 2002+* metode [13].

Pētītās vidusposma vides ietekmes kategorijas ir: nekancerogēnā ietekme, respiratorā ietekme, sauszemes ekotoksicitāte, zemes izmantošana, globālā sasilšana un patērētā neatjaunojamā enerģija.

Aprites cikla uzskaitē un sistēmas robežas

Rapša audzēšanas un biodīzeļdegvielas ražošanas datu pamatā ir starptautiskie noteikumi un Latvijā pieejamā informācija (sk. 7.1. un 7.2. tabulu). Cita veida dati ir iegūti datubāzē *GEMIS* [15] un *Ecoinvent 2.1* datubāzē, kas ir iekļauta datorprogramā *SimaPro 7.2* [14].

7.1. tabula

Modeļa ieejas un izejas dati

Ieejas un izejas dati	Audzēšana	Rapša eļļas ražošana	Biodegvielas ražošana	Avots
Zeme, ha	-0,97			[16]
Sēklas, kg	-3,39			[16]
N mēslojums, kg	-49,44			[16]
P mēslojums, kg	-12,80			[16]
K mēslojums, kg	-60,35			[16]
S mēslojums, kg	-84,34			[16]
Pesticīdi, kg	-1,95			[16]
Lapas, kg	-7,46			[16]
Salmi, t	5,82			[17]
Rapša sēklas, t	3,10	-3,10		[16]
Rapša rauši, t		2,01		[18]
H ₃ PO ₄ (deg.), t		0,00		[18]
NaOH (deg.), t		-0,02		[18]
Citronskābe (atsveķošanas posms), t		-0,0003		[18]
Rapša eļļa, t		1,05	-1,05	[18]
Metanols, t			-0,11	[18]
KOH (transesterifikācijas posms), t			-0,01	[18]
H ₂ SO ₄ (transesterifikācijas posms), t			-0,01	[18]
NaOH, t			-0,02	[18]
H ₃ PO ₄ (rafinēšanas posms), t			-0,0011	[18]
Glicerīns, t			0,11	[18]
Biodīzeļdegviela (RME), t			1,00	

7.2. tabula

Nepieciešamais enerģijas un neatjaunojamās degvielas daudzums

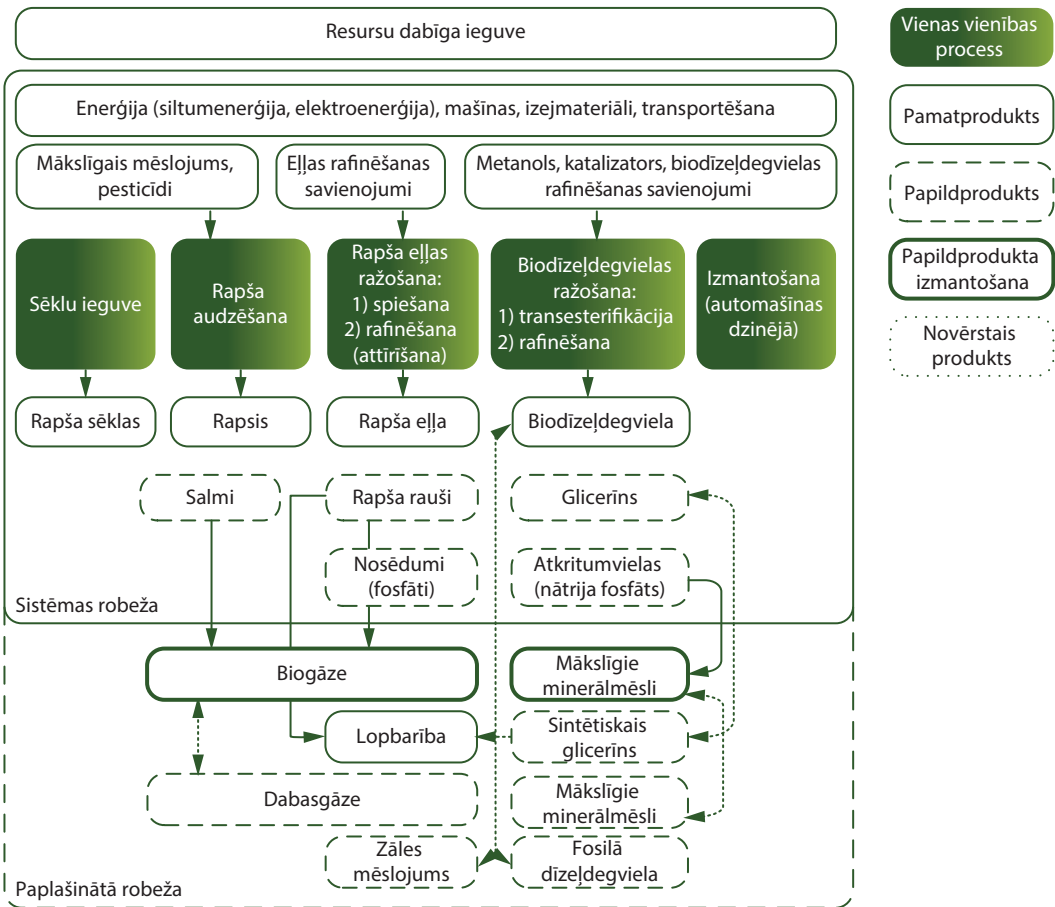
Enerģijas vai neatjaunojamās degvielas veids	Audzēšana	Rapša eļļas ražošana	Biodegvielas ražošana	Avots
Elektroenerģija, kWh/t _{biodīzeļdegviela}			203,35*	[18]
Siltumenerģija, MJ/t _{biodīzeļdegviela}			2737*	[18]
Dīzeļdegviela, t/t _{biodīzeļdegviela}			0,07*	[18], [19]
Mašīnas, traktors/ha	0,0009			[19]
Katlumājas efektivitāte, 15 MW katlumāja		90 %	90 %	[20]–[22]
Biodīzeļdegviela (RME), t			1,00	

Lai noteiktu iespējamus paņēmienus potenciālās negatīvās ietekmes uz vidi samazināšanai, tika izvērtēti vairāki scenāriji. Simulācijas vienkāršošanas nolūkos katra energokultūra tika aplūkota no četriem aspektiem:

- 1) augsnes sagatavošana un audzēšana (tostarp sēklaudzētava);
- 2) rapša eļļas ražošana (tostarp rafinēšana);
- 3) biodīzeļdegvielas ražošana (tostarp rafinēšana);
- 4) galapatēriņš (sk. 7.1. attēlu).

7.1. att. ACN modelis un robežas: shēma *SimaPro* datorprogramā. Shēmā atspoguļotas paplašinātās robežas un galvenie ieejas un izejas dati par izejmateriāliem/produktu, kā arī produktiem, no kuru ražošanas iespējams izvairīties.

Kā redzams modeli, tika pieņemts, ka salmi tiek izmantoti biogāzes ražošanai, rapša rauši – lopbarībai, bet atkritumprodukti (piemēram, nātrija fosfāti) – kā mēslojums. Jānorāda, ka modelis ietver arī blakusprodukta – glicerīna – rašanos, un atkritumvielu un blakusproduktu izmantošanai ir izšķiroša nozīme visa procesa vides indikatoru uzlabošanā, jo to izmantošana aizstāj citu produktu (dabasgāzes, zāles mēslojuma, fosilā glicerīna) ražošanu.



Sēklu ražošana (jeb sēklaudzētava) ir nepieciešama rapša kultūras turpināšanai, un tas ir pirmais aplūkotais aspekts. Modelī izmantotie dati ir tieši izgūti no *Ecoinvent 2.1* datubāzes.

Pirmais solis biodegvielas ražošanā ir rapša audzēšana. Tajā ir ņemta vērā arī mākslīgā mēslojuma (N, P, K, S) un pesticīdu ražošana, emisijas augsnē/ūdenī/zemē, mašīnu patērētie resursi un radītās emisijas (mēslošanas, aršanas, sēšanas, ražas novākšanas, transportēšanas vajadzībām), kā arī blakusproduktu (piemēram, rapša salmu) valorizācija, mēslojuma aizvietošana (arī N, P, K) un biogāzes ražošana.

Nākamais solis ir izejvielu pārvēršana biodegvielā. Pēc rapša kaltēšanas tiek iegūta rapša eļļa, un tas ir divpakāpju process – vispirms eļļa tiek ekstrahēta mehāniski, bet pēc tam iegūta, izmantojot organisku šķīdinātāju. Rezultātā rodas divi produkti: eļļa un rapša rauši, kuri satur daudz proteīna un kurus ir vienkārši izmantot lopbarības ražošanā. Ekstrahēta eļļa tiek rafinēta, un pēc tam tai tiek pievienots fosilais metanols, reakcijā ar to rodas rapša metilesteris un glicerīns, kas tiek attīrīts un izmantots ķīmiskajā rūpniecībā.

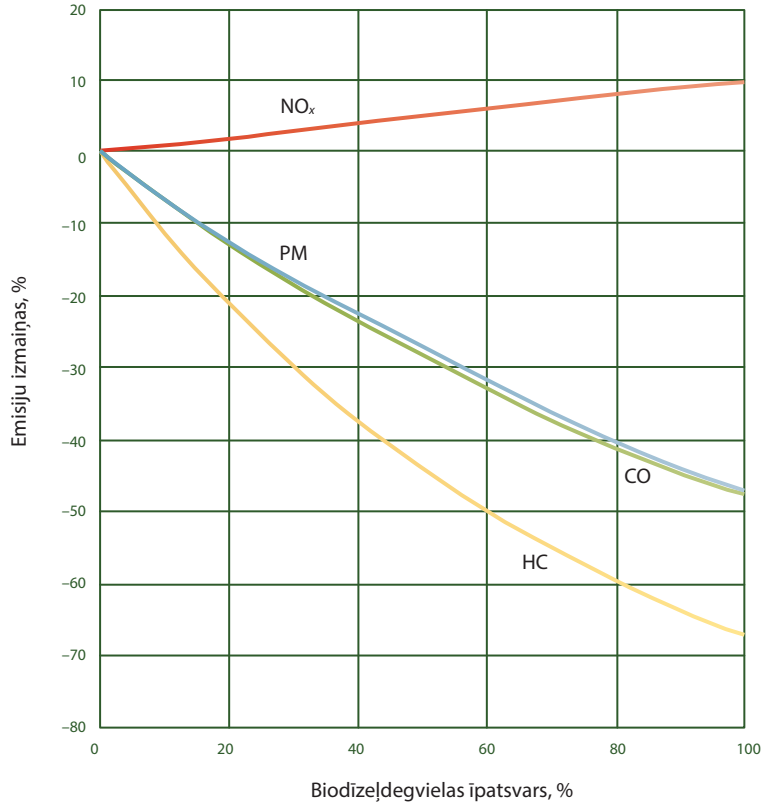
Šajā pētījumā izmantotie dati par transportlīdzekļu izplūdes emisijām un degvielas patēriņu ir aprēķināti, pamatojoties uz transportlīdzekļiem, kas darbojas ar fosilo degvielu. Biodegvielas zemākais sadegšanas siltums un patēriņš (kg/km) atšķiras no atbilstošās fosilās degvielas rādītājiem. Pētījumā izmantoti šādi patēriņa dati: 16,5 kg/km automašīnai, kas darbojas ar biodīzeļdegvielu, un 18,0 kg/km automašīnai, kas darbojas tikai ar dīzeļdegvielu.

Tā kā biodegvielai sadegot emitētās oglekli saturošās vielas (CO₂ un CO) pieder pie oglekļa dabīgā aprites cikla, šīs emisijas neveicina globālo sasilšanu un līdz ar to nav ņemtas vērā šajā modelī. Biodīzeļdegvielas izmantošana veicina slāpekļa oksīdu emisijas, bet samazina cieta daļiņu (PM) un ogļūdeņraža emisijas [23].

Šajā pētījumā izmantoti šādi bezceļu pikapa [24] dīzeļdzinēja rādītāji:

- 1) NO_x = 0,312 g/km – par 10 % vairāk nekā dīzeļdzinējam;
- 2) PM = 0,039 g/km – par 45 % mazāk nekā dīzeļdzinējam.

Aprites cikla uzskaitē veikta, izmantojot *SimaPro 7.2* datubāzi. Enerģijas un masas bilances aprēķinos ņemti vērā arī blakusprodukti – ir aprēķināti to nodrošinātie ekoloģiskie ieguvumi jeb iespēja izvairīties no citu produktu ražošanas, piemēram lopbarības vai ķīmikāliju ražošanas. Tā kā attiecībā uz dažiem blakusproduktiem dati nebija pieejami, to vietā tika izmantota *SimaPro* datubāzē pieejamā informācija par līdzīgiem produktiem un aprēķini tika veikti uz līdzību un pieņēmumu pamata.



7.2. att. Procentuālās izmaiņas biodīzeļdegvielas dzinēja emisijām salīdzinājumā ar fosilās dīzeļdegvielas emisijām [23].

Tika pieņemts, ka glicerīns, kas rodas ražošanas procesa beigās, aizvieto epihlorohidrīna hidrolizē ražoto ķīmisko glicerīnu (dati no *Ecoinvent 2.1* datubāzes).

Sistēmas robeža ietver biodīzeļdegvielas ražošanu (rapša audzēšanu un apstrādāšanu biodegvielas vajadzībām, fosilo resursu ieguvu un rafinēšanu), kā arī degvielas izmantošanu un vairāku blakusproduktu valorizāciju. Pētījuma 7.1., 7.2. un 7.3. tabulā atspoguļoti aprites cikla uzskaites dati.

Modelī ir pieņemts, ka rūpnīca nespēj saražot biodīzeļdegvielai nepieciešamo daudzumu rapša eļļas, tāpēc 2/3 no ražošanā izmantotās rapša eļļas tiek importētas.

Oglekli saturošo vielu emisijas biodīzeļdegvielas sistēmā nav iekļautas, jo ir pieņemts, ka tas ir oglekļa neitrāls aprites cikls. Sistēma paredz divu ar fosilo dīzeļdegvielu darbināmu katlumāju izmantošanu siltumenerģijas ražošanai (ar kopējo jaudu 15 MW). Dati par emisijām, kas rodas ar fosilo dīzeļdegvielu darbināmajā katlumājā, ir ņemti no *Ecoinvent 2.1* datubāzes. Visā ražošanas procesā saražotās siltumenerģijas kopējais daudzums bija līdzvērtīgs 2737 MJ uz tonnu biodīzeļdegvielas.

Svarīgākie modeļi iekļautie pieņēmumi:

- 1) biodīzeļdegvielas rūpnīcas tehniskās ekspluatācijas laiks ir 25 gadi;
- 2) salmi tiek izmantoti biogāzes ražošanai;
- 3) tiek izmantota ES pieejamā elektroenerģija (EU25);
- 4) pieņēmumi par transportēšanas attālumiem balstās uz 7.3. tabulā norādīto informāciju.

7.3. tabula

Pieņēmumi par transportēšanas attālumiem

Izejmateriāls	Darbība	No kurienes	Attālums, km	Transportlīdzekļa veids
Sēklas	Audzēšana	Lielbritānija (50 %)	1270	40 t kravas automašīna
		Francija (50 %)	1750	
Mēslojums	Audzēšana	Vācija	1400	40 t kravas automašīna
Pesticīdi	Audzēšana	Vācija	1400	40 t kravas automašīna
Mašīnas	Audzēšana	Zviedrija	400	Vidēja izmēra kravas automašīna, 89 000 t
Rapsis	Rapša eļļas ražošana	Latvija (35 %)	150	40 t kravas automašīna
		Lietuva (35 %)	300	
		Baltkrievija (15 %)	600	
		Kazahstāna (15 %)	1000	
Eļļas maisījums	Biodīzeļdegvielas ražošana	Krievija (60 %)	500	40 t kravas automašīna
		Baltkrievija (40 %)	600	
Metanols	Biodīzeļdegvielas ražošana	Krievija	500	40 t kravas automašīna

Lai aprēķinātu no salmiem saražotās biogāzes daudzumu, izmantota šāda proporcija: $0,38 \text{ m}^3 \text{ biogāzes} = 1 \text{ kg salmu}$ [25].

Kopējais mākslīgo minerālmēsļu daudzums, no kura ražošanas izdevies izvairīties: $1 \text{ kg nosēdumu} = 0,15 \text{ kg mākslīgo minerālmēsļu (N, K, P)}$ [24].

Relatīvais daudzums dabasgāzes, no kura ieguves izdevies izvairīties, aprēķināts, ņemot vērā biogāzes un dabasgāzes zemāko sadegšanas siltuma (Q_z^d) vērtību proporciju:

- 1) zemākais sadegšanas siltums biogāzei $Q_z^d = 23,3 \text{ MJ/m}^3$ [15],
- 2) zemākais sadegšanas siltums dabasgāzei $Q_z^d = 35,1 \text{ MJ/m}^3$ [15].

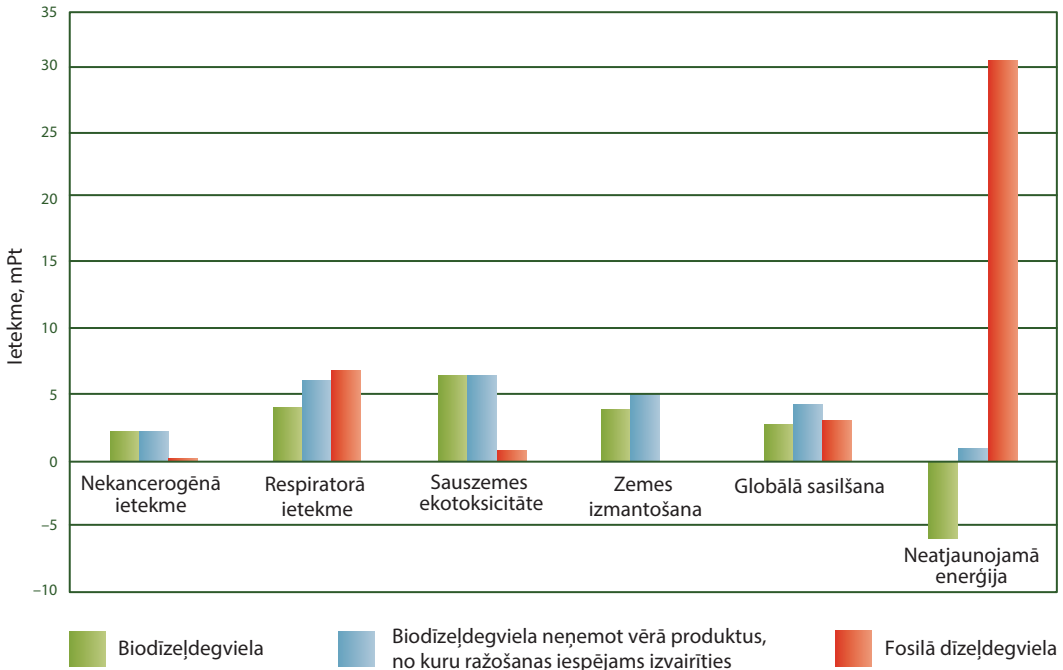
Iegūtais rezultāts liecina, ka kopējais dabasgāzes daudzums, no kura ieguves izdevies izvairīties, ir 1514 m^3 .

Aprite cikla novērtējuma rezultāti

Aprite cikla ietekmes uz vidi novērtējums tika veikts, izmantojot IMPACT 2002+ metodi [13], kura ietilpst *SimaPro* datorprogrammā.

Tika analizētas sešas viduspunkta kategorijas un četras beigu punkta kategorijas. Apraksts un rezultāti izteikti mPt, un viens punkts apzīmē ietekmi uz vienu cilvēku gada laikā dalītu ar 1000. Modelī biodīzeļdegvielas rezultāti skar biodīzeļdegvielas ražošanas un lietošanas posmus. Bet pēc tam tika veikts salīdzinājums ar fosilās dīzeļdegvielas ACN rezultātiem.

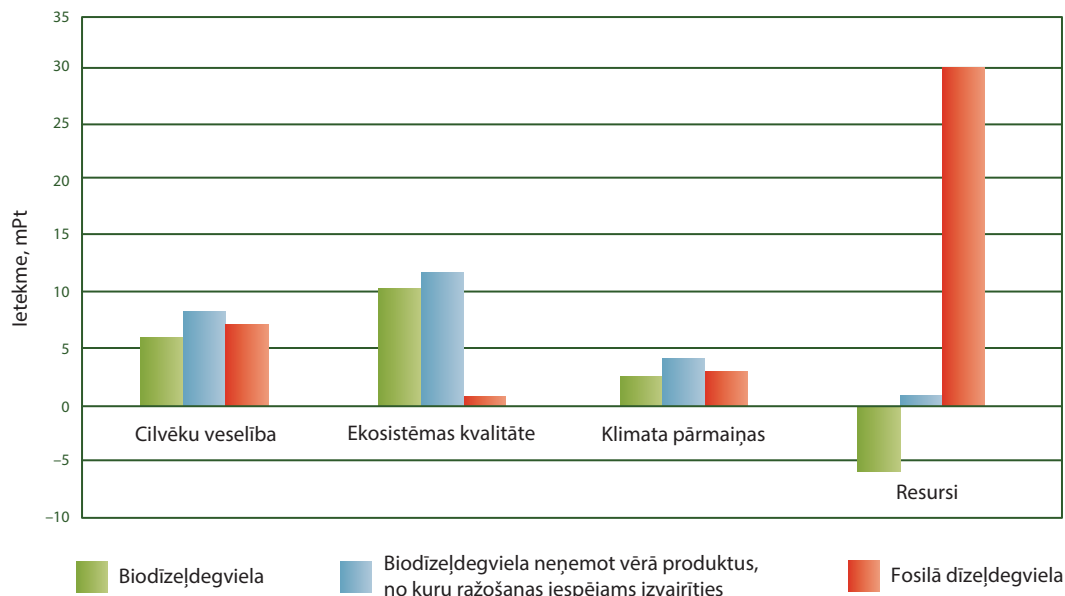
7.3. attēlā ilustrētas galvenās ietekmes kategorijas, kas rada vislielāko slodzi uz vidi. Biodīzeļdegvielas ACN modelī ņemti vērā arī produkti, no kuru ražošanas izdevies izvairīties. Negatīva vērtība norāda vides ieguvumus.



7.3. att. Viduspunkta ietekmes kategoriju rezultāti, mPt uz funkcionālo vienību.

Biodīzeļdegvielas ACN uzrāda lielāku ietekmi attiecībā uz zemes izmantošanas un ekotoksicitātes kategoriju, ko var skaidrot ar mākslīgo minerālmēslu, pesticīdu un lauksaimniecībā izmantojamās zemes lietošanu. Raugoties uz globālās sasilšanas ietekmes kategoriju, redzams, ka iespēja izvairīties no kāda produkta ražošanas būtiski ietekmē CO₂ ekvivalenta vispārējo samazinājumu biodīzeļdegvielas ražošanas nozarē. Pētījuma modelī šī vērtība samazinās pat par 15 %.

7.4. attēlā attēlotie rezultāti ir līdzīgi, bet tie atspoguļo beigu punkta ietekmes kategoriju vērtības, proti, cilvēku veselība, ekosistēmas kvalitāte, klimata pārmaiņas un resursu izmantošana.



Rezultāti apliecina, to, kas iezīmējās jau viduspunkta kategoriju analizē:

- 1) klimata pārmaiņu un cilvēku veselības ietekmes kategorijas būtiski skar atkritumu un blakusproduktu izmantošana, jo tā palīdz samazināt biodīzeļdegvielas ražošanas slodzi uz vidi vairāk, nekā paredzēts fosilās dīzeļdegvielas ACN modelī;
- 2) salīdzinājumā ar biodīzeļdegvielas ražošanu fosilās dīzeļdegvielas ieguve ekosistēmas kvalitāti praktiski neietekmē, tas skaidrojams ar faktu, ka fosilās dīzeļdegvielas ieguvē nav nepieciešams izmantot mākslīgos minerālmēslus, pesticīdus un lauksaimniecībā izmantojamo zemi.

7.4. attēlā skaidri redzams, ka kopējā ietekme uz vidi ir mazāka, kas skaidrojama ar biodīzeļdegvielas izmantošanu. Modelī neiekļaujot atkritumu vai blakusproduktu izmantošanu, samazinājums ir aptuveni 38 %, bet iekļaujot produktus, no kuru ražošanas iespējams izvairīties, un ar tiem saistītos ieguvumus, kopējais samazinājums sasniedz 67 %.

Salīdzinošās analīzes mērķiem būtu jāveic ne tikai ACN, bet arī jānosaka enerģijas bilance. 7.4. tabulā parādīta indikatora *Ei* vērtība.

Par salīdzinošās analīzes pamatindikatoru ir izvēlēta proporcija starp degvielas ražošanā izmantoto kopējo enerģiju (attiecībā uz neatjaunojamiem resursiem) un biodīzeļdegvielas enerģiju (attiecībā uz sadegšanas siltumu).

7.4. att. Beigu punkta ietekmes kategoriju rezultāti, mPt uz funkcionālo vienību.

Šis process ļaus novērtēt atjaunojamo energoresursu izmantošanas procesu teorētiski stiprās puses un attīstības līmeni. Zemāks rādītājs norāda uz procesu, kurā atjaunojamo resursu īpašībām ir lielāka nozīme.

7.4. tabula

Enerģijas patēriņa indikators ($Ei = MJ_{iejoš.}/MJ_{izej.}$; $MJ_{iejoš.}$ – modelī patērētie neatjaunojamie resursi; $MJ_{izej.}$ – biodīzeļdegvielas enerģētiskā vērtība (īpatnējais sadegšanas siltums – 37,7 MJ/kg))

ACN	Ei
Biodīzeļdegviela	-0,18
Biodīzeļdegviela (bez sadalījuma)	0,14
Citi resursi	$-1,34 < Ei < 0,64$

Pētījuma rezultāti atbilst zinātniskajā literatūrā pieejamajai informācijai.

Secinājumi

Iegūtie rezultāti liek secināt, ka ir iespējams uzlabot analizētā Latvijas biodīzeļdegvielas ražošanas modeļa vides snieguma un ilgtspējas efektivitāti:

- 1) biodīzeļdegviela ir atjaunojamās enerģijas resurss, spriežot pēc enerģijas indikatora Ei (tā vērtība ir zemāka nekā 1);
- 2) ir pierādīts, ka biodīzeļdegvielas izmantošana transporta nozarē palīdz samazināt neatjaunojamās enerģijas patēriņu;
- 3) biodīzeļdegvielas ietekme uz vidi ir par aptuveni 38 % mazāka nekā fosilās dīzeļdegvielas ietekme uz vidi; ņemot vērā iespēju izvairīties no konkrētu produktu ražošanas, ietekme sarūk pat par 67 %;
- 4) attiecībā uz klimata pārmaiņu un cilvēku veselības ietekmes kategorijām atkritumu un blakusproduktu izmantošanai ir ārkārtīgi liela nozīme, lai nodrošinātu, ka biodīzeļdegvielas radītā slodze uz vidi ir mazāka, nekā paredzēts fosilās dīzeļdegvielas ACN modelī;
- 5) salīdzinājumā ar biodīzeļdegvielas modeļiem fosilās dīzeļdegvielas ietekme uz ekosistēmas kvalitāti ir ļoti niecīga, tas saistāms ar iespēju izvairīties no mākslīgā mēslojuma un pesticīdu izmantošanas un no to ietekmes uz lauksaimniecībā izmantojamo zemi;

- 6) globālās sasilšanas ietekmes kategorija liecina, cik liela loma ir iespējai izvairīties no konkrētu produktu ražošanas un kā tā ietekmē CO₂ ekvivalenta samazināšanos biodīzeļdegvielas ražošanas procesā; pētījuma modeli šis samazinājums sasniedz aptuveni 15 %.

Izmantotā literatūra

- [1] Halleux, H., Lassaux, S., Renzoni, R., Germain, A., 2008. Comparative Life Cycle Assessment of Two Biofuels. Ethanol from Sugar Beet and Rapeseed Methyl Ester. *International Journal of Life Cycle Assessment* 13, 184–190.
- [2] Perlack, R. D., Wright, L. L., Turhollow, A. F., Graham, R. L., 2005. Biomass as feedstock for a bioenergy and bioproducts industry: the technical feasibility of a billion-ton annual supply. Oak Ridge National Laboratory. Tennessee, USA, 78 p.
- [3] Doornbosch, R., Steenblik, R., 2007. Biofuels: Is the cure worse than the disease? Roundtable on Sustainable Development. OECD. Paris, France.
- [4] Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R. A., et al., 2008. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. *Science* 5867, 1238–1240.
- [5] Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC. *Official Journal of the European Union* L 140, 16–62.
- [6] Al-Riffai, P., Dimaranan, B. V., Debuquet, D. L., 2010. Global Trade and Environmental Impact Study of the EU Biofuels Mandate. Report, International Food Policy Institute. EU, 125 p.
- [7] Passos, M., 2004. Avaliação da sustentabilidade aplicada ao biodiesel. Master Thesis, Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, Brazil, 125 p.
- [8] Almeida, J. T. G. D., 2009. Generic life cycle assessment of the Jatropha biodiesel system. Master Thesis, New University of Lisboa. Lisboa, Portugal, 75 p.
- [9] Ponton, J., 2009. Biofuels: Thermodynamic sense and nonsense. *Journal of Cleaner Production* 17, 896–899.
- [10] Gulbis, V., 2008. Iekšdedzes motoru biodegvielas. Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Jelgava, Latvija, 322 lpp.
- [11] Naik, S. N., Goud Vaibhav, V., Rout Prasant, K., Dalai Ajay, K., 2010. Production of first and second generation biofuels: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 578–597.
- [12] International Standard ISO 14044: Environmental management – life cycle assessment – principles and framework, requires and guidelines.
- [13] Lussis, B., 2005. Impacts environnementaux des biocarburants. Institut pour un développement durable. Ottignies, Belgium, 33 p.
- [14] Ecobilan, 2002. Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants en France. Ademe, Direm, France.
- [15] De Ruyck, J., Lavric, D., Bram, S., Novak, A., Jossart, J. M., Remacle, M. S., Palmers, G., Dooms, G., Hamelinck, C., Liquid biofuels in Belgium in a global bio-energy context. VUB, UCL, 3E, Scientific Support Plan for a Sustainable Development Policy.

- [16] IEER, 2004. Institute for Energy and Environmental Research, CO₂ mitigation through biofuels in the transport sector. Report, Heidelberg, Germany, 66 p.
- [17] Jolliet, O., et. al., 2003. IMPACT 2002+: A New Life Cycle Assessment Methodology. *International Journal of Life Cycle Assessment* 8, 324–330.
- [18] *SimaPro*, 2011. About *SimaPro* software. PRe Consultants. The Netherlands. Available at: <<http://www.pre.nl/content/simapro-lca-software>>
- [19] Service, 2011. About services. Öko-Institut e.V., Germany. Available at: <<http://www.oeko.de/service/gemis/en/>>
- [20] EPA, 2002. Environmental Protection Agency, A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust emissions. USA, 126 p.
- [21] Dati no SIA Sabiedrība Mārupe, 2008.
- [22] Janulis, P., 2004. Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle. *Renewable Energy* 29, 861–871.
- [23] Dati no SIA Bioventa, 2008.
- [24] *Ecoinvent 2.1* database from *Simapro 7.2*.
- [25] Blumberga, D., 1996. Energoefektivitāte, 1. izdevums. Pētergailis. Rīga, Latvija, 320 lpp.
- [26] Blumberga, D., 2008. Siltuma sūkņi. Vides inženierzinātņu bibliotēka. Rīga, Latvija, 139 lpp.
- [27] Blumberga, D., Veidenbergs, I., 2008. Kļiedētas enerģosistēmas. Mazas koģenerācijas stacijas. Vides inženierzinātņu bibliotēka. Rīga, Latvija, 206 lpp.
- [28] Dati no Renewable Energies, Biogas opportunities in Latvia. Pieejams: <<http://www.big-east.eu/latvia/latvia.html>>

8. Sākotnējais aprites cikla dinamisks analīzes modelis CO₂ saspišanas, transportēšanas un iesūkņēšanas etapiem oglekļa dioksīda uztveršanas un uzglabāšanas saimniecībā

Jūlija Gušča, Dagnija Blumberga

Enerģētikas sektors ir viens no galvenajiem veicinātājiem siltumnīcefekta gāzu (SEG) koncentrācijas pieaugumā, kas attiecīgi izraisa globālo sasilšanu. Tāpēc oglekļa dioksīda (CO₂) uztveršanas un uzglabāšanas tehnoloģiju ieviešana enerģijas ražošanas sektorā ir izaicinājums ierobežot CO₂ koncentrācijas pieaugumu atmosfērā.

Oglekļa dioksīda uztveršana un uzglabāšana ir energointensīvs process, kam ir nepieciešama gan papildus enerģijas patēriņš, gan infrastruktūra. Aprites cikla novērtējums (ACN) ir objektīvs instruments, lai novērtētu produkta vai procesa ietekmi uz vidi visa produkta/procesa aprites cikla laikā. Ietekme uz vidi tiek noteikta, kvantitatīvi novērtējot apmaiņas plūsmas starp produkta (procesu) sistēmu un apkārtējo vidi [1]. CO₂ uztveršanai un uzglabāšanai ir nepieciešama enerģija, lai nodrošinātu oglekļa dioksīda uztveršanas iekārtu, kompresoru, sūkņu u. c. darbību, kas nodrošina drošu CO₂ uztveršanu ģeoloģiskās uzglabāšanas vietā. Līdz ar to, CO₂ emisijas rodas gan enerģijas pārveidošanas procesā, gan arī emitētas atmosfērā CO₂ uztveršanas, transportēšanas un iesūkņēšanas procesu laikā, kā arī CO₂ noplūžu situācijās (avārijas gadījumi cauruļvados vai CO₂ noglabāšanas vietās).

Lai arī pastāv trūkumi oglekļa dioksīda uztveršanā un uzglabāšanā lielā enerģijas patēriņa dēļ, tomēr tā ir daudzsolīga metode, lai novērstu lielu CO₂ apjomu nonākšanu atmosfērā. Eiropas Savienības politika norāda, ka oglekļa dioksīda uztveršanas un uzglabāšanas tehnoloģija enerģijas ražošanas sektorā tiek uzskatīts par labu instrumentu, lai aizstātu pašreizējās zemas efektivitātes energotehnoloģijas pret augstas efektivitātes tehnoloģijām. ACN modelēšana ļauj izprast potenciālos ieguvumus un draudus no modernākām energotehnoloģijām.

Metodoloģija

ACN metodoloģija tika izvēlēta, lai novērtētu CO₂ saspišanas, transportēšanas un noglabāšanas ietekmi uz vidi un noteiktu

ietekmējošās vides kategorijas. Ietekmes uz vidi kategoriju novērtēšanas metodoloģija ir balstīta uz šādiem apsvērumiem:

- aprites cikla analīze ļauj detalizēti novērtēt ietekmi uz vidi gan no primārajām, gan sekundārajām plūsmām visā sistēmas aprites cikla posmā.
- enerģijas ražošana ir saistīta ar neregulāru, laikā mainīgu jaudu un tādējādi arī mainīgu enerģijas ražošanas efektivitāti.

Dinamiskā aprites cikla analīze ļauj vērtēt sistēmas mainīgos darbības apstākļos (piemēram, pīķu stundās un pie mainīgiem CO₂ iesūknēšanas apjomiem).

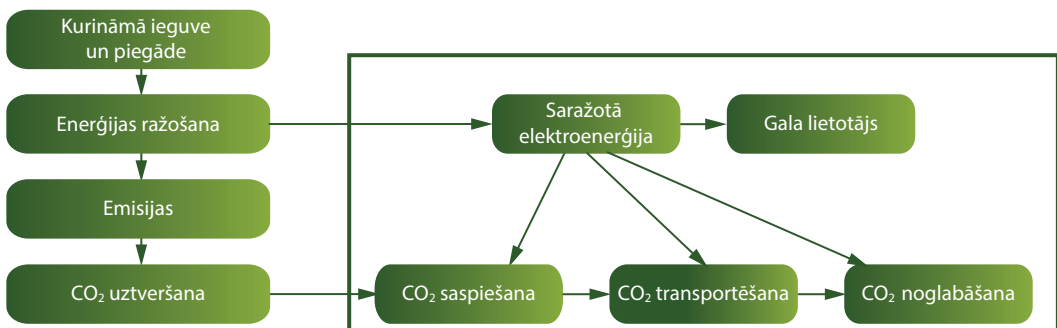
Ietekmes uz vidi definēšana, izmantojot aprites cikla analīzes pieeju, ļauj izvērtēt dažādus alternatīvus scenārijus no vides aizsardzības viedokļa. Aprites cikla analīzes un izmaksu analīzes rezultātu apkopošana sniedz plašāku informāciju par preventīvajām un korektīvajām darbībām ietekmes uz vidi samazināšanā. Pētījumā enerģijas cenu dinamika ir apvienota ar ietekmes uz vidi kategorijām (klimata pārmaiņas, jēlmateriāli, paskābināšanās/eitrofikācija, kancerogēnas vielas, zemes izmantošana, radiācija, ekotoksicitāte u. c.). ACN tiek veikta atbilstoši standartam ISO 14040 [1], kas apraksta aprites cikla analīzes principus un noteikumus. Modelēšana tiek veikta aprites cikla analīzes modelēšanas programmā *SimaPro*.

Aprites cikla uzskaite

Sistēmas definēšana

Pētījums ir balstīts uz ietekmes uz vidi novērtēšanu CO₂ saspišanas, transportēšanas un uzglabāšanas procesos. Visas pārējās oglekļa dioksīda uztveršanas un uzglabāšanas stadijas ir izslēgtas no sistēmas robežām. Vienkāršota analizētā modeļa shēma ir parādīta 8.1. attēlā.

8.1. att. Sistēmas robežas un analizētā modeļa pamatplūsmas.



Funkcionālā vienība

Galvenais energosistēmas mērķis ir nodrošināt enerģiju gala lietotājam. Vides ierobežojumi ietekmes uz vidi samazināšanai, ko izstrādājuši politikas veidotāji (piemēram, CO₂ koncentrācijas ierobežošana atmosfērā), kā arī oglekļa dioksīda uztveršanas un uzglabāšanas ieviešana rada darbības ierobežojumus enerģijas ražotājiem. Ievērojot standarta prasības [1], pētījuma ietvaros ir definēta funkcionālā vienība – 1 kWh enerģijas, kas parāda, kāda veida faktori un cik lielas ietekmes rodas, sašķidrīnot, transportējot un iesūkņējot CO₂ emisiju daudzumu, kas rodas uz vienu saražoto enerģijas vienību (1 kWh).

Elektrostacijas raksturojums

Pētījuma ietvaros tiek izmantoti šādi pieņēmumi sistēmas raksturojumam.

- Izmantota dabasgāzes turbīnas kombinētā cikla tehnoloģija ar CO₂ atdalīšanu pēc sadedzināšanas (*MEA* sorbents) un spēkstacijas nominālā jauda ir 400 MW_e. Elektrostacijas tehniskās ekspluatācijas laiks ir 20 gadi.
- Elektrostacijas nominālā efektivitāte, ieskaitot arī CO₂ uztveršanas moduli, ir 43 %.
- Izmantotās CO₂ uztveršanas tehnoloģijas (*MEA* sorbents) efektivitāte ir 94 %. Saspiešanas un iesūkņēšanas iekārtu darbināšanas slodze ir 70 %. Energoefektivitātes samazinājums pēc 20 gadiem ir 4 %.
- Gadā radītais CO₂ emisiju daudzums ir 1,1 miljons tonnas.

Oglekļa dioksīda uztveršana ir visenergointensīvākais process visā oglekļa dioksīda uztveršanas un uzglabāšanas procesā [2]–[4]. Enerģijas ražošanas (elektrostacijas būvniecība un ekspluatācija) un CO₂ uztveršanas procesi (iekļaujot šķīdinātāju reģenerāciju, sūkņu darbību u. c.) nav iekļauti sistēmas robežās šajā pētījumā. Izņemot gadījumu, kad saražotā elektroenerģija tiek izmantota CO₂ saspiešanas transportēšanas un iesūkņēšanas procesos. Aprites cikla uzskaites posmā izmantotie dati ir iegūti no esošām ACN datubāzēm (*Ecoinvent*, *ETH-ESU*, *IDEMAT*), tehniskajiem ziņojumiem vai zinātniskās literatūras avotiem [2]–[7].

Transportēšanas fāzes raksturojums

Sauszemes cauruļvadu transports tika izvēlēts kā optimāls veids, lai transportētu oglekļa dioksīdu no CO₂ rašanās avota (dabasgāzes turbīnas kombinētā cikla spēkstacija ar CO₂ atdalīšanu pēc sadedzināšanas) līdz uzglabāšanas vietai (sālsūdens nesējslānis). Tiek pieņemts, ka CO₂ tiek transportēts superkritiskā stāvoklī. Tādējādi

pēc CO₂ uztveršanas fāzes, CO₂ tiek saspiests līdz superkritiskam stāvoklim. CO₂ saspišanas tehniskie parametri tiek ņemti vērā no *McCullum* [8] un *Koorneef* [6] pētījumiem. Pētījumā tiek izvērtēti divi CO₂ transportēšanas attālumi – 100 km un 400 km. Transportēšanas attāluma izvēle ir balstīta, pirmkārt, uz nepieciešamību pēc atkārtotas CO₂ saspišanas kompresoru stacijās transportēšanas laikā. Pētījumā ir pieņemts, ka attālums starp stacijām, kur tiek veikta atkārtota CO₂ saspišana, ir 160 km (ietekmes uz vidi novērtējums šajās stacijās ir integrēts transportēšanas fāzē un atsevišķi nav izskatīts). Otrkārt, piemērotas CO₂ uzglabāšanas vietas Latvijā atrodas tās rietumu daļā, tādējādi transportēšanas attālums no centrālās un austrumu daļas ir robežās no 200 km līdz 400 km. Pētījumā ir pieņemts, ka divfāzu CO₂ plūsma ir novērsta. Dati par enerģijas patēriņu, izmantotās zemes platību CO₂ transportēšanas infrastruktūras nodrošināšanai, kā arī nepieciešamie materiāli cauruļvadu izgatavošanai un darbības nodrošināšanai ir ņemti no tehniskā ziņojuma par ģeoloģisko oglekļa piesaisti Iliinoisas baseinā [9] un *McCoy* pētījumā [7]. Oglekļa dioksīda transportēšanas parametri (temperatūra, spiediens, blīvums) ir definēti superkritiskā stāvokļa robežās. Tādu parametru kā ātrums, diametrs, raupjums u. c. aprēķins ir veikts iteratīvi un pielāgots superkritiskajam stāvoklim. Dati par materiāliem un iekārtām, kas ir izmantotas CO₂ transportēšanas cauruļvadu izveidē, ir balstīti uz tehniskajiem ziņojumiem un zinātnisko literatūru [6]–[10]. Datu nenoteiktības līmenis CO₂ transportēšanas fāzē ir robežās no vidēja līdz zēmam.

CO₂ uzglabāšanas vietas raksturojums

Tiek pieņemts, ka CO₂ tiek iesūkņēts sālsūdens nesējslānī – Latvijā atrodas aptuveni 10 sālsūdens nesējslāņi [11]. CO₂ uzglabāšanas vietas izveide iekļauj aku urbšanu, izbūvi, CO₂ iesūkņēšanu un sistēmas darbības monitoringu. Aku cementēšana un sistēmas darbības monitoringa netiek uztverts kā energointensīvs process, tādējādi tikai aku urbšana un CO₂ iesūkņēšana ir ietverta sistēmas robežās. Nepieciešamā zemes platība CO₂ iesūkņēšanai un CO₂ uzglabāšanas vietas izveidei ir ņemta vērā no tehniskā ziņojuma par oglekļa dioksīda uztveršanas un transportēšanas risinājumiem Iliinoisas baseinā [9], kā arī *Widholz* [10] un *J. P. Meyer* [12] pētījumiem. Dati par sālsūdens nesējslāņa ģeoloģiskajiem parametriem ir ņemti no (1) ģeoloģiskās izpētes, kas veikta Latvijā laikā no 1960.–1989. gadam; (2) modelēšanas dati [13] vai (3) aprēķinātie un pieņemtie dati. Tādējādi datu nenoteiktība par CO₂ uzglabāšanas vietu ir robežās no augstas līdz vidējai. Nepieciešamais enerģijas

daudzums CO₂ iesūknēšanai ir aprēķināts šādam uzglabāšanas dziļumam – 1000 metri. Šāds dziļums ir raksturīgs Latvijas sālsūdens nesējslāņiem. Ņemot vērā oglekļa dioksīda masas caurplūdi, tika pieņemts, ka tiek izmantota viena iesūknēšanas aka, lai CO₂ iesūknētu geoloģiskajā rezervuārā.

Analizējamie scenāriji

Pētījumā vides faktoru vērtējums ir veikts četriem alternatīviem gadījumiem:

- *A alternatīva* – jaunajā gāzes turbīnu kombinētā cikla elektrostacijā ($\eta_e = 43\%$) radīto un uztverto CO₂ emisiju transportēšana pa cauruļvadu 100 km attālumā;
- *B alternatīva* – jaunajā gāzes turbīnu kombinētā cikla elektrostacijā ($\eta_e = 43\%$) radīto un uztverto CO₂ emisiju transportēšana pa cauruļvadu 400 km attālumā;
- *C alternatīva* – esošajā gāzes turbīnu kombinētā cikla elektrostacijā integrēts CO₂ uztveršanas bloks (kopējais $\eta_e = 39\%$). Uztvertās emisijas transportē 100 km attālumā.
- *D alternatīva* – esošajā gāzes turbīnu kombinētā cikla elektrostacijā integrēts CO₂ uztveršanas bloks (kopējais $\eta_e = 39\%$). Uztvertās emisijas transportē 400 km attālumā.

Pētāmās sistēmas ietvaros ir pieņemts, ka CO₂ saspišanas posms ir integrēts transportēšanas posmā, un tas netiek atsevišķi apskatīts.

Ietekmes uz vidi izmaksu analīze

Ietekmes uz vidi izmaksu analīzes mērķis ir novērtēt oglekļa uztveršanas un uzglabāšanas sistēmas kopējās izmaksas, kā arī parādīt izmaksu sadalījumu starp ietekmes kategorijām. Oglekļa dioksīda uztveršanas un uzglabāšanas izmaksu analīze iekļauj šādas izmaksu komponentes: kapitālieguldījumi, ekspluatācijas izmaksas (iekļaujot CO₂ uztveršanas un uzglabāšanas sistēmas izveidi). Izmaksas ir aprēķinātas visiem CO₂ uztveršanas un uzglabāšanas posmiem – CO₂ uztveršana, saspišana, transportēšana, iesūknēšana un uzglabāšana. Šāda pieeja ļauj noteikt, kādu ekonomisko efektu uz vidi rada katrs posms.

CO₂ uztveršanas, saspišanas un iesūknēšanas izmaksas

CO₂ uztveršanas izmaksas sastāda 70 % no kopējām izmaksām [8]. Šīs izmaksas iekļauj gan CO₂ uztveršanas sistēmas izveidi, gan ekspluatācijas izmaksas (iekļaujot izmaksas par papildus kurināmā patēriņu, lai kompensētu to enerģijas patēriņu, kas ir nepieciešams CO₂ uztveršanai). CO₂ uztveršanas izmaksas ir aprēķinātas atbilstoši [2], [7], [14]. Papildus komponente, kas bieži tiek iekļauta

CO₂ uztveršanas fāzē, ir CO₂ saspiešana pirms transportēšanas. Saspiešana tiek veikta divu iemeslu dēļ, pirmkārt, lai mainītu CO₂ agregātstāvokli no gāzveida uz šķidro un, otrkārt, lai nodrošinātu tehnoloģiski un ekonomiski optimālus CO₂ caurplūdes apstākļus transportēšanai cauruļvados. Sākotnēji gāzveida CO₂ ar kompresora palīdzību tiek saspīests līdz kritiskajam stāvoklim (7,38 MPa), bet pēc tam jau šķidrā fāzē ar sūkņa palīdzību CO₂ tiek saspīests līdz transportēšanai piemērotam spiedienam. Kopējās kapitālizmaksas CO₂ saspiešanas fāzē tiek aprēķinātas kā saspiešanas un sūkņēšanas iekārtu kapitālizmaksu summa. Saspiešanas un sūkņēšanas iekārtu ekspluatācijas izmaksas tiek aprēķinātas, izmantojot ekspluatācijas un uzturēšanas izmaksu faktoru.

Transportēšanas izmaksu aprēķināšana

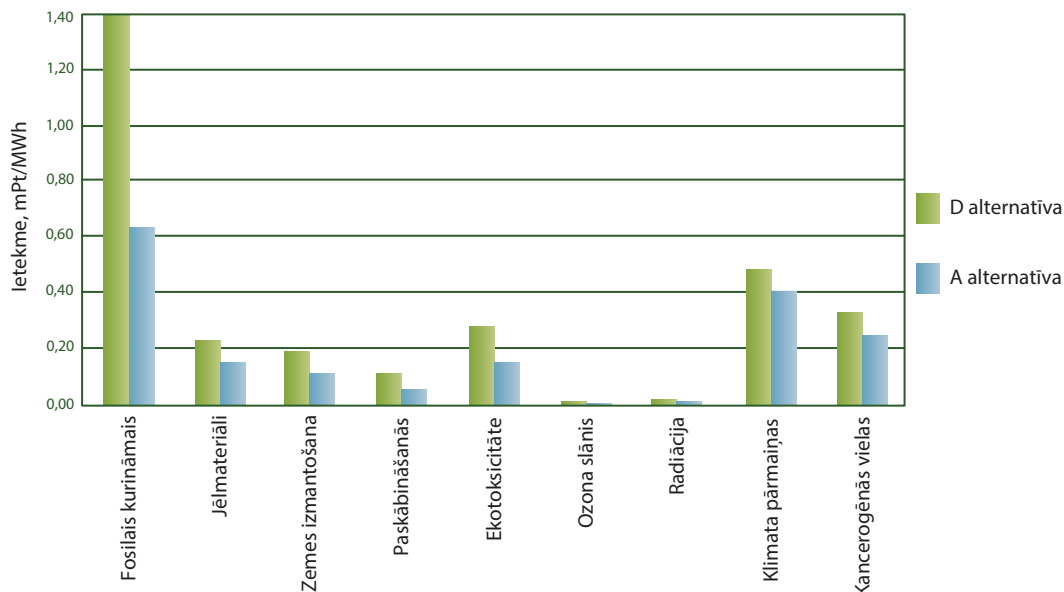
Saspīestais CO₂ tiek transportēts pa cauruļvadu uz CO₂ uzglabāšanas vietu. Kā tika minēts iepriekš, attālums starp saspiešanas iekārtu un CO₂ uzglabāšanas vietu ir 100 km un 400 km. CO₂ transportēšana pa cauruļvadiem ir labi izpētīta, jo tā ir līdzīga naftas produktu un dabasgāzes transportēšanai cauruļvados. Tādējādi ir pieejami arī dažādi izmaksu modeļi, lai aprēķinātu CO₂ transportēšanas izmaksas pa cauruļvadiem [7], [8], [15], [16]. Pētījumā CO₂ transportēšanas izmaksu aprēķina metodoloģija ir balstīta uz *McCollum, Ogden, MIT, Ecofys*, IEA GHG 2005/3 atskaites un *Cobb-Douglas* modeļus [10]–[12]. Vairāku metodoloģiju apvienošana nodrošina, ka izmaksu aprēķinos tiek detalizēti ņemta vērā gan dažāda cauruļvadu struktūra, gan cauruļvadu izvietojuma parametri.

CO₂ iesūkņēšanas un uzglabāšanas izmaksu aprēķins

CO₂ iesūkņēšanas un uzglabāšanas modeļa aprēķins ir balstīts uz diviem jau esošiem modeļiem [7], [8], kas iekļauj gan CO₂ iesūkņēšanas un uzglabāšanas vietas izmaksas, gan ekspluatācijas izmaksas.

Rezultāti un diskusija

Aprites cikla analīze ļauj novērtēt CO₂ saspiešanas, transportēšanas un iesūkņēšanas procesu ietekmi uz vidi. 8.2. attēls parāda rezultātus diviem scenārijiem: 1) CO₂ transportēšana 100 km attālumā bez atkārtotas CO₂ saspiešanas; 2) CO₂ transportēšana 400 km attālumā ar atkārtotu CO₂ saspiešanu. Dinamiskā analīze tiek veikta, ņemot vērā elektrostacijas darbības mūžu, pirmajā gadījumā tiek analizēta pilnībā jauna elektrostacija ar CO₂ uztveršanu un uzglabāšanu, otrajā gadījumā tiek analizēta 20 gadus veca elektrostacija.



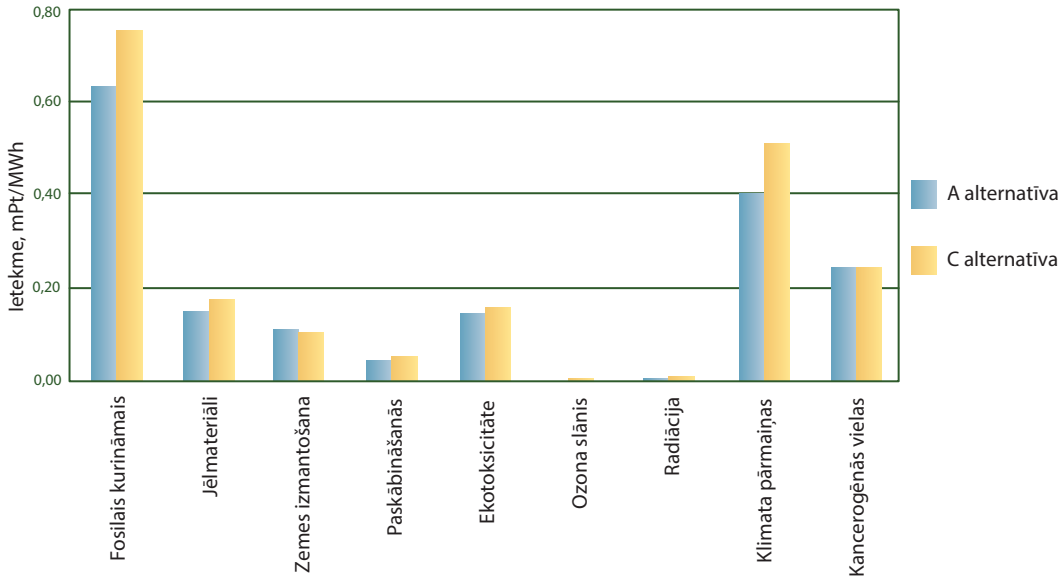
Transportēšanas attāluma palielināšanās, palielina arī negatīvo ietekmi uz vidi visos CO₂ saspišanas un uzglabāšanas posmos (saspišana, transportēšana, iesūkņēšana). Dažām ietekmes kategorijām (fosilais kurināmais, ekotoksikoloģija un zemes izmantošana) pieauguma līmenis ir ļoti augsts un to galvenokārt izraisa papildus cauruļvadu izveide, atkārtotas saspišanas stacijas izveide starp CO₂ uztveršanas un uzglabāšanas stacijām. Elektrostacijas vecums ietekmē ietekmes uz vidi kategorijas (sk. 8.3. attēlu). Elektrostacijas energoefektivitāte 20 gadu laikā ir samazinājusies par 4 % un tādējādi ietekmes uz fosilo kurināmo (dabasgāze) un klimata pārmaiņām palielinās attiecīgi par 18 % un 21 %.

8.2. att. Ietekmes uz vidi kategoriju salīdzinājums diviem transportēšanas attālumiem

8.1. tabula

Ietekmes kategoriju izmaksu analīzes rezultāti

Ietekmes kategorija	A scenārijs	B scenārijs	C scenārijs	D scenārijs
	Izmaksu indikators, EUR/(ietekmes punkts)			
Fosilais kurināmais	1,6	3,5	6,5	13,6
Jēlmateriāli	0,4	0,6	1,5	3,0
Zemes izmantošana	0,3	0,4	0,9	1,5
Paskābināšanās	0,1	0,3	0,5	0,9
Ekotoksicitāte	0,4	0,7	1,4	2,5
Ozona slānis	0,0	0,0	0,0	0,1
Radiācija	0,0	0,0	0,1	0,1
Klimata pārmaiņas	1,0	1,2	4,4	5,3
Kancerogēnās vielas	0,6	0,8	2,1	3,1



8.3. att. Spēkstacijas tehniskā vecuma ietekme uz vidi (CO₂ transportēšana bez atkārtotas saspišanas).

Jebkura ietekmes kategorija var tikt aprakstīta ekonomiski. Ietekmes kategorija tiek izteikta šādā mērvienībā: milipunkts uz 1 MWh gala lietotājam piegādātās enerģijas. Gala enerģijas lietotājs maksā gan par enerģijas ražošanu, gan pārvadi. Tādējādi attiecība starp elektroenerģijas cenu un ietekmes uz vidi rādītāju (milipunkts) parāda, kādas ir izmaksas, lai ierobežotu ietekmi uz vidi, ko izraisa CO₂ saspišana, transportēšana un iesūkņēšana. Izmaksu analīzes rezultātu kopsavilkums ir attēlots 8.1. tabulā.

Izmaksu analīzes rezultāti parāda, ka elektrostacijas energoefektivitātes samazinājums ietekmē vides un ekonomiskos rādītājus, kas saistīti ar CO₂ saspišanu, transportēšanu un iesūkņēšanu. Klimata pārmaiņu ierobežošanas izmaksā robežās no 1 EUR/(ietekmes punkts) līdz 5 EUR/(ietekmes punkts). Elektrostacijas vecums un transportēšanas attālums tikai nedaudz ietekmē zemes izmantošanas izmaksas. Tas varētu būt saistīts ar to, ka CO₂ transportēšanas cauruļvadi neaizņem lielu zemes platību. Paskābināšanās un eutrofikācijas procesi ir lielākoties saistīti ar kurināmā izmantošanas palielināšanu elektrostacijas energoefektivitātes samazināšanās dēļ. Tomēr šīs izmaksas varētu samazināt, ja CO₂ uztveršanas tehnoloģija tiktu iekļauta ACN modeļa sistēmas robežās. Turpmākajiem pētījumiem vajadzētu būt saistītiem ar jaunu mainīgo definēšanu (cauruļvadu veids, iesūkņēšanas aku daudzums, uzglabāšanas dziļums u. c.), kā arī sistēmas robežu paplašināšanu.

Izmantotā literatūra

- [1] ISO, 2006. International Standard ISO 14040: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.
- [2] Metz, B., Davidson, O., de Coninck, H., Loos, M., Meyer, L., et. al., 2005. Carbon Dioxide Capture and Storage, IPCC. Cambridge University Press. Cambridge, UK, 431 p.
- [3] Pehnt, M., Henkel, J., 2009. Life cycle assessment of carbon dioxide capture and storage from lignite power plants. International Journal of Greenhouse Gas Control 3, 49–66.
- [4] Singh, B., Stromman, A. H., Hertwich E., 2010. Life cycle assessment of natural gas combined cycle power plant with post combustion carbon capture, transport and storage. International Journal of Greenhouse Gas Control 5, 457–466.
- [5] Bauer, C., 2008. Life Cycle Assessment of fossil and Biomass Power Generation Chains. Paul Scherrer Institut. Villigen, Switzerland, 73 p.
- [6] Koorneef, J., Keulen, V., Faaij, A., Turkenburg, W., 2008. Life cycle assessment of a pulverized coal power plant with post-combustion capture, transport and storage of CO₂. International Journal of Greenhouse Gas Control 4, 448–467.
- [7] McCoy, S. T., 2009. The Economics of CO₂ Transport by Pipeline and Storage in Saline Aquifers and Oil Reservoirs. PhD Thesis, Carnegie Mellon University. Pittsburgh, PA, USA, 267 p.
- [8] McCollum, D. L., Ogden, J. M., 2006. Techno-Economic Models for Carbon Dioxide Compression, Transport, and Storage & Correlations for Estimating Carbon Dioxide Density and Viscosity. University of California. Davis, CA, USA, 87 p.
- [9] Chen, S. G., Lu, Y., Rostam-Abadi, M., Nyman, D. J., 2004. Carbon Dioxide Capture and Transportation options in the Illinois Basin. Report, Illinois State Geological Survey. Illinois, USA, 221 p.
- [10] Wildbolz, C., 2007. Life cycle assessment of selected technologies for CO₂ transport and sequestration. Diploma Thesis, MSOS, ETH. Zurich, Switzerland, 89 p.
- [11] Gusca, J., Blumberga, D., Valtere, S., Basko, A., 2006. Geological mineralization of carbon dioxide (CO₂) for CO₂ storage in Latvia. Scientific Proceedings of Riga Technical University 17, 265–272.
- [12] Meyer, J. P., Summary of Carbon Dioxide Enhanced Oil Recovery (CO₂ EOR) Injection Well Technology. Report, Contek Solutions. Texas, USA, 63 p.
- [13] EUGC, 2009. Eu GeoCapacity, Assessing European Capacity for Geological Storage of Carbon Dioxide. WP2 Report. 170 p.
- [14] Tzimas, E., 2009. The Cost of Carbon Capture and Storage. Demonstration Projects in Europe. Report, European Communities. The Netherlands, 44 p.
- [15] Essandoh-Yeddu, J., Gülen, G., 2009. Economic modeling of carbon dioxide integrated pipeline network for enhanced oil recovery and geologic sequestration in the Texas Gulf Coast region. The University of Texas at Austin. Austin, USA.
- [16] Newcomer, A., Apt, J., 2008. Implications of generator siting for CO₂ pipeline infrastructure. Carnegie Mellon Electricity Industry Center. Pittsburgh, PA, USA.

9. Koksnes šķeldas izmantošanas aprites cikla analīzes salīdzinošais novērtējums pirolīzes un kombinētas siltuma un elektroenerģijas ražošanas kontekstā Latvijā

Krista Kļaviņa, Francesco Romagnoli, Dagnija Blumberga

Pateicoties ilgtspējīgas attīstības rezolūcijai [1], kur pasaules sabiedrība atturas no fosilā kurināmā atkarības un tiecas uz ekonomiku, kas izmanto vietējos un videi draudzīgākus materiālus, raugoties no bioekonomikas perspektīvas, produktu ar augstu pievienoto vērtību skaits ievērojami pieaug [2]. Šobrīd aktuāls kļūst jautājums par aprites cikla ietekmes izvērtēšanu par labu bioekonomikas vērtību ķēdei [3]. Latvijā apmēram 24 % no kopējā enerģijas patēriņa veido koksnes kurināmā resursi, kuru apjomam ir tendence palielināties, lai sasniegtu Eiropas Savienības noteiktos 2020. gada mērķus [4]. Kombinētās siltuma un elektroenerģijas ražošanas (koģenerācijas staciju) kontekstā koksnes šķeldai tiek pievērsta arvien lielāka uzmanība, jo koksnes izejvielām ir relatīvi zemas izmaksas un ir siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanas potenciāls, kā arī ir pieejams papildu finansējums bioresursu tehnoloģiju ieviešanai. Tā kā šī ir augoša nozare, raugoties no bioekonomikas skatupunkta, saistībā ar produkta (koksnes šķeldas) pievienoto vērtību ir labvēlīgi palielināt produktu vērtību ķēdi, tādēļ bioogļu ražošana ar pirolīzes palīdzību tiek uzskatīta par vienu no koksnes šķeldas potenciālajiem lietojumiem.

Latvijā ir veikti pētījumi par koksnes koģenerācijas staciju darbību [5], ilgtspējīgu attīstību [6]. Ir veikta arī enerģijas analīze [7] un ekserģijas analīze [8], bet īpaši nav pievērsta uzmanība aprites cikla novērtējumam (ACN). ACN tiek uzskatīts par labu instrumentu saistībā ar visaptverošo pieeju, ko novērtē vairāki autori. *Boschero* un citu autoru pētījumos ACN tiek veikta enerģijas ražošanai koģenerācijas stacijā, aplūkojot augļu koku koksnes atlikumus kā blakusproduktus [9], un gazifikācijas-koģenerācijas stacijā [10] Itālijā. *Guest* un citi autori ir veikuši ACN, lai noteiktu koģenerācijas stacijas lieluma ietekmi uz vidi, norādot, ka Norvēģijā optimāla varētu būt neliela (1 MW_e) koģenerācijas sistēma [11]. Ķīnā ACN ir izmantota lignīta pirolīzes procesa novērtēšanai [12], taču Latvijā nav veikta pirolīzes ACN izpēte. Beloborodko un citi autori ir

veikuši Latvijas atkritumu apsaimniekošanas sektora SVID analīzi, iekļaujot pirolīzi kā vienu no atkritumu pārveidošanas tehnoloģijām [13]. *Fernandez-Lopez* un citu autoru pētījumā ACN izmanto, lai salīdzinātu divus dažādus biomasas transformācijas procesus – pirolīzi un degšanu. Pētījumā ACN izmanto, lai salīdzinātu koksnes šķeldas izmantošanas ietekmi uz vidi koģenerācijas stacijā un pirolīzes procesā [14].

Materiāli un metodes

Mērķa un darbības jomas definīcija

Šajā pētījumā ACN tiek veikts, lai novērtētu divu šķeldas lietojuma scenāriju ietekmi uz vidi: siltuma un elektroenerģijas ražošanu no koksnes šķeldas koģenerācijas stacijās un koksnes šķeldas pirolīzi, kur ražotās bioogles tiek granulētas. ACN tiek veikts saskaņā ar ISO 14044: 2006 standarta metodi, izmantojot *SimaPro 8.1.0.60* programmatūru. Tā kā tiek veikta salīdzinošā analīze, koksnes šķeldas ražošana netiek aplūkota, jo tā ir ietverta abos scenārijos, kā arī tiek izmantota “no vērtiem uz vērtiem” pieeja.

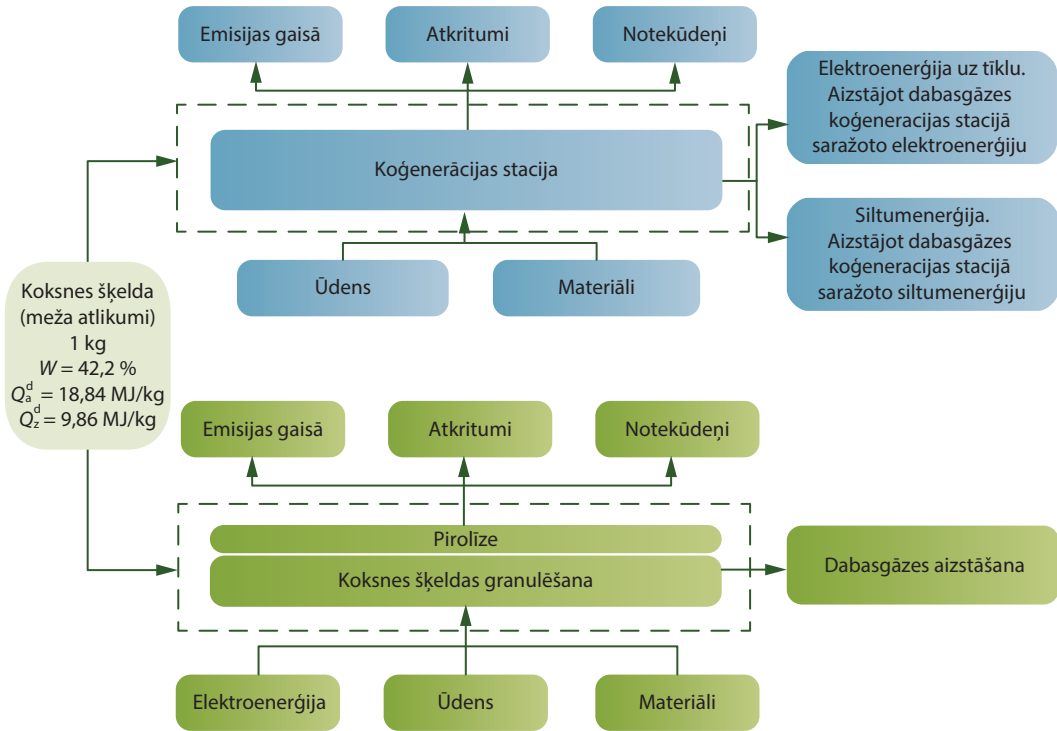
Funkcionālā vienība

Salīdzināmo procesu rezultāti ir atšķirīgi, tāpēc tiek izvēlēta izejmateriāla funkcionālā vienība – viens kg neapstrādātas meža atlikumu šķeldas (mitruma saturs 42,2 %, pelnu saturs 5 %, augstākais sadegšanas siltums 18,84 MJ/kg, zemākais sadegšanas siltums 9,86 MJ/kg).

Sistēmas robežu apraksts

Apskatītie koksnes šķeldas bioogļu un enerģijas ražošanas scenāriji (sk. 9.1. attēlu) ir hipotētiski un izstrādāti, balstoties uz diviem gadījumu pētījumiem Latvijā.

Pirmajā scenārijā ir plānota verdošā slāņa koksnes šķeldas koģenerācijas stacija. Esošās vidēja izmēra iekārtas ir samazinātas, lai tās atbilstu pirolīzes iekārtas lielumam (maza apjoma, 1 MW_e, 2,3 MW_{th}). “No vērtiem līdz vērtiem” analīzē tiek pieņemts, ka mērogošana ietekmē tikai iekārtas efektivitāti ($\eta_{el.} = 0,30$, $\eta_{th.} = 0,56$) [11]. Apskatītajā scenārijā koksnes šķeldas izejvielas nonāk pārveidošanas procesā bez iepriekšējas žāvēšanas. Iegūtais produkts tiek izteikts kā enerģētiskā vērtība – elektroenerģijā un siltumā MJ. Paredzams, ka produkts aizstās elektroenerģiju un siltumu, kas ražots dabasgāzes koģenerācijas stacijā. Šajā pētījumā gala produkcijas izplatīšana un izmantošana nav iekļauta, bet, lai ACN rezultāti būtu derīgi, ir jānodrošina pilnīga gala produkcijas izmantošana.



9.1. att. Modelejamās sistēmas shēma. Izstrādāto scenāriju priekšplāna sistēmu robežas ir apzīmētas ar pārtrauktu līniju.

Otrajā scenārijā koksnes šķeldas pirrolīze tiek veikta *Lambiotte* nepārtrauktas darbības mufelkrāsnī, kas gadā var saražot 2000 t bioogļu. Ražotnes pārveides efektivitāte attiecībā uz izejvielas masu ir 41 %. Lai analizētu labas prakses scenāriju, esošo iekārtu papildina ar izejmateriālu žāvētāju, kas darbojas ar pirrolīzes gāzi, kura rodas no pārveidošanas procesa. Pirrolīzes gāzes pārpalikums tiek sadedzināts rezerves nodalījumā. Izgatavotās koksnes šķeldas bioogles tiek granulētas un iepakotas uz vietas. Produkta iznākumu izsaka enerģijas apjomā, un, lai salīdzinātu rezultātus, to pārvērš par aizstātās dabaszgāzes daudzumu. Produkta lietošanas fāze nav iekļauta analizē.

Aprite cikla datu uzskaites analizē

Izejmateriālu koksnes šķeldas parametri tika iegūti, veicot kvalitatīvu koksnes analīzi, kas pārbaudīta Rīgas Tehniskās universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta Cieto biokurināmo kvalitātes testēšanas laboratorijā laikā no 2013. gada līdz 2016. gadam.

Koģenerācijas stacijas scenārijā galvenais datu avots ir detalizēta piesārņojošo darbību atļauja [15], kas ir izveidota, pamatojoties uz

vairākiem uzņēmumu apmeklējumiem. Iegūto enerģijas daudzumu aprēķina, izmantojot neapstrādātas koksnes šķeldas sadegšanas siltumu 9,86 MJ/kg. Iekārtu efektivitāte (iekļaujot izejvielu patēriņu un iegūto enerģijas apjomu) tiek izvēlēta atbilstoši [11], bet infrastruktūras ietekme ir iegūta no *Ecoinvent 3.1.* datu bāzes, pieņemot 40 gadu aprites ciklu ar 2824 h gadā. Rezultāti liecina, ka infrastruktūras ietekme uz koģenerācijas staciju ir 1,7 %. Tādējādi tiek pieņemts, ka infrastruktūras ietekme ir niecīga un tiek izslēgta no galarezultātiem. Pirolīzes infrastruktūra ir daudz vienkāršāka nekā koģenerācijas stacijai, tāpēc tiek uzskatīts, ka kopējā pirolīzes infrastruktūras ietekme ir vēl mazāka, un to arī izslēdz no analīzes.

Pirolīzes rūpnīcas resursu patēriņš un pārveides efektivitāte ir iegūta no apmeklētajiem uzņēmumiem, atlasot paraugus 2015. gada sākumā. Bioogļu augstākais sadegšanas siltums ir 33,35 MJ/kg, bet zemākais sadegšanas siltums (pieņemot, ka mitruma saturs ir līdzsvarā un tas ir 2,7 %) ir 32,28 MJ/kg. Papildu datus par materiāla patēriņu iegūst no atļaujas par piesārņojošām darbībām [16]. Emisijas gaisā aprēķina, pamatojoties uz emisijas avotu (pirolīzes gāzes sadedzināšana, propāna/butāna sadedzināšana) saskaņā ar ASV Vides aizsardzības aģentūras un Latvijas Republikas 2004. gada 14. decembra Ministru kabineta noteikumiem Nr. 1015 [17], [18]. Enerģijas patēriņš bioogļu granulēšanai bioogļu un 10 % lignīta piedevu gadījumā tiek pieņemts saskaņā ar ķīniešu zinātnieku pētījumu datiem [19]. Aizstātās dabasgāzes sadegšanas siltums – 34,23 MJ/kg – tiek iegūts no dabasgāzes piegādātāja sniegtās informācijas [20].

ACN modeli parametri tiek iegūti, izmantojot *Ecoinvent 3.1.* datu bāzi. Uzskaites dati katram etapam ir atrodamī A1. un A2. pielikumos.

letekmes novērtējums

Šajā pētījumā *IMPACT 2002+* ietekmes novērtēšanas metodi izmanto, lai raksturotu scenārija ietekmi [21]. Viduspunkta ietekmes kategorijā ir iekļauta minerālu ieguve, neatjaunojamā enerģija, globālā sasilšana, ūdens eitrofikācija, zemes izmantošana, zemes paskābināšanās, sauszemes ekotoksiskums, ūdens ekotoksiskums, ietekme uz elpošanas sistēmu (ko izraisa organiskās vielas), ozona slāņa noārdīšanās, jonizējošais starojums, ietekme uz elpošanas sistēmu (ko izraisa neorganiskās vielas) un cilvēka toksicitāte (ne kancerogēnas un kancerogēnas iedarbības). Izvēlētās kaitējumu kategorijas (beigu punkts) ir šādas: cilvēku veselība, ekosistēmu kvalitāte, klimata pārmaiņas un resursi.

Rezultāti un diskusijas

Scenāriju salīdzinājums

Abu scenāriju kopējā ietekme uz vidi liecina par negatīvu beigu ietekmi, ņemot vērā vienības mērvienību mPt (t. i., pozitīva ietekme uz vidi). Abos scenārijos negatīvā neto ietekme tiek gūta par fosilo resursu neizmantošanu. Galvenais kopējo rezultātu pārskats ir apkopots 9.1. tabulā.

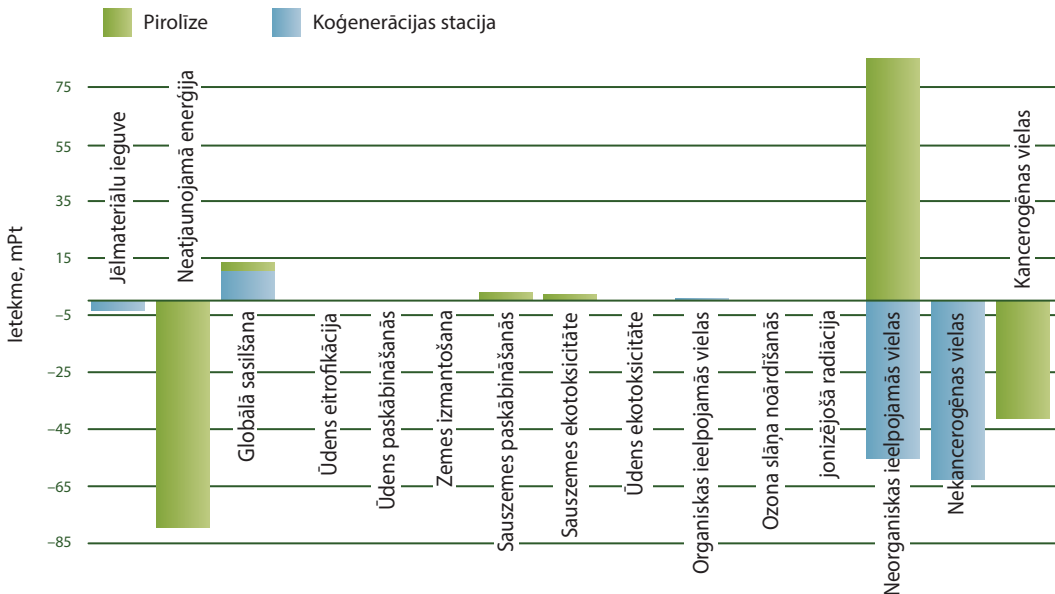
9.1. tabula

Pirolīzes un koģenerācijas staciju scenāriju ietekmes novērtējuma rezultātu salīdzinājums. Ietekme (milipunktos), ko attiecina uz 1 kg neapstrādātas šķeldas

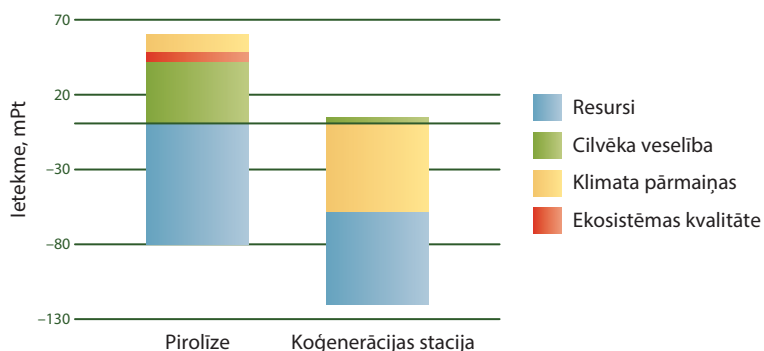
Scenārijs	Kopējā ietekme	Produkcijas ietekme	Novērstā ietekme	Vienības
Pirolīze	-18	165	-183	mPt
Koģenerācijas stacija	-112	41	-154	mPt

9.2. att. Viduspunkta kategorijas ietekmes salīdzinājums attiecībā uz pirolīzes un koģenerācijas staciju koksnes šķeldas lietošanas scenāriju ietvarā.

Kopējā novērstā ietekme ir lielāka pirolīzes scenārijā (-183 mPt), bet koģenerācijas stacijas scenārijā ir 154 mPt. Tomēr pirolīzes scenārijā kopējā radītā ietekme ir 165 mPt, kamēr koģenerācijas stacijas scenārijā - 41 mPt. Tas norāda, ka, uzlabojot pirolīzes vides rādītājus, pirolīzes scenārijs varētu kļūt pievilcīgāks par koģenerācijas stacijas scenāriju. Sīkāk aplūkojot ietekmes kategorijas, 9.2. attēls ilustrē viduspunkta kategoriju ietekmes salīdzinājumu diviem koksnes šķeldas izmantošanas scenārijiem.



Pirolīzes scenārijā vislielāko jeb visnegatīvāko ietekmi uz vidi viduspunkta kategorijā rada neorganiskās ielpojāmās vielas, kas ir saistāmas ar koģenerācijas stacijas scenārijā kurināmā sadedzināšanas rezultātā gaisā emitētajām cietām daļiņām (PM₁₀, PM_{2.5}). Visietekmējāmākās kategorijas pirolīzes scenārijā ir neatjaunojamās enerģijas izmantošanas samazinājums, kancerogēno emisiju samazināšanās, kamēr koģenerācijas stacijas scenārijā galvenās negatīvās kategorijas ir neorganisko ielpojamo vielu samazināšana, nekancerogēno emisiju samazinājums. Kā minēts iepriekš, galvenie ieguvumi vides jomā ir no novērstās ietekmes. Tādējādi galvenās atšķirības ietekmes samazināšanas kategorijās ir saistītas ar atšķirīgo produkciju no salīdzinātajiem procesiem. Lai gan abas produkcijas attiecināmas uz dabasgāzi, pirolīzes scenārijā novērstā ietekme tiek vērsta uz dabasgāzes kā resursu izmantošanas samazināšanu, bet koģenerācijas scenārijā tā tiek izvēlēta kā no dabasgāzes ražotā enerģija. Tas arī izskaidro ietekmi uz resursu un klimata pārmaiņu kaitējumu kategorijām, kas ir arī redzams 9.3. attēlā.



9.3. att. Analizētās koksnes šķeldas izmantošanas scenāriju ietekmju kategoriju rezultāti.

Lai gan varētu diskutēt par to, kura no novēršanas ietekmēm labāk atspoguļo faktisko situāciju, kopējā ietekmes bilancē tas nerada ievērojamas atšķirības. Nosacījums, kas īpaši izceļas šā pētījuma rezultātos, ir būtiskā ietekme uz cilvēka veselības kaitējumu kategoriju (saskaņā ar augsto neorganisko ielpojamo vielu ietekmi), kas ir pirolīzes scenārijā. Šis aspekts norāda uz būtisku vajadzību uzlabot pirolīzes emisiju samazināšanu. Tas ietver emisiju samazinājumu no pirolīzes gāzes sadedzināšanas, kā arī no koksnes šķeldas bioogļu apstrādes. Tam varētu būt pozitīva ietekme uz cilvēka veselību, kā arī uz klimata pārmaiņu kaitējumu kategoriju.

Koģenerācijas stacijas scenārijā ražošanas mazā ietekme uz vidi atspoguļo tehnoloģiju briedumu, augsto procesa efektivitāti un dūmgāzu attīrīšanas sistēmu, kas atrodas koģenerācijas stacijā, ko izmanto par pamatu teorētiskas sistēmas attīstībai, salīdzinot ar pirolīzes tehnoloģiju.

Potenciālais modeļa uzlabojums

Aplūkojot scenārija ietekmes avotus, izņemot emisijas, kas rodas pirolīzes procesā, ievērojama ietekme ir saistīta ar elektroenerģijas patēriņu. Kamēr koģenerācijas stacija pati sevi nodrošina ar elektroenerģiju, pirolīzes rūpnīca saņem elektroenerģiju no tīkla. ACN modelī pirolīzes rūpnīcai ir izvēlēts elektroenerģijas kombinācija. Latvijas gadījumā elektroenerģijas kombinācija pārsvarā sastāv no atjaunojamajiem enerģijas avotiem, tādējādi dodot potenciāli labākus vides rezultātus nekā patiesie rezultāti. Tomēr pirolīzes ietekmi uz vidi var mainīt elektroenerģijas patēriņa samazinājums, kā arī 100 % atjaunojamās elektroenerģijas izvēle. Turpmākajos pētījumos varētu apsvērt daļu no pirolīzes produkcijas izmantot elektroenerģijas ražošanai.

ACN salīdzinājums raksturo ietekmi uz izejvielu koksnes šķeldas, un turpmākus pētījumus varētu veikt, ja ietekmi attiecinātu uz vienu un to pašu produkciju.

Šis modelis tiek izmantots koksnes šķeldas izejvielai, kuras mitruma saturs ir 42,2 %. Modelim varētu veikt jutīguma analīzi attiecībā uz koksnes sākotnējā mitruma satura izmaiņām. Koģenerācijas stacijā varētu ieviest žāvēšanu, lai palielinātu koksnes šķeldas plūsmas zemāko sadegšanas siltumu.

Secinājumi

ACN rezultāti liecina, ka šobrīd vides ietekmes aspektā koksnes šķeldas izmantošanai biooglēm nav priekšrocību, salīdzinot ar to izmantošanu koģenerācijas stacijā. Rezultāti izceļ vājās vietas pirolīzes procesā, ietverot kaitīgo ietekmi uz cilvēku veselības kaitējuma kategoriju. Šī ietekme galvenokārt ir sekas no procesā radītajām emisijām. Turklāt šis pētījums nav veikts, lai izdarītu plašākus secinājumus.

A pielikums

A.1. Koksnes šķeldas bioogļu granulas (13,28 MJ)

	Atsauce	Izvēlētais process	Daudzums	Vienība
<i>Emisijas gaisā</i>				
	<i>Ecoinvent 3.1</i>	Oglekļa monoksīds, biogēns	0,0114	kg
	<i>Ecoinvent 3.1</i>	Slāpekļa oksīdi	0,0072	kg
	<i>Ecoinvent 3.1</i>	Daļiņas, nenoteiktas	0,0489	kg
	<i>Ecoinvent 3.1</i>	GOS, gaistoši organiskie savienojumi	0,01	kg
<i>Novērstā ietekme no koksnes šķeldas bioogļēm</i>				
	<i>Ecoinvent 3.1</i>	Dabasgāze, augsts spiediens	0,3879	m ³
<i>Atkritumu plūsmas</i>				
	<i>Ecoinvent 3.1</i>	Notekūdeņi	0,001	L
	<i>Ecoinvent 3.1</i>	Nenoteikti atkritumi, noglabāšana	0,0034	kg
	<i>Ecoinvent 3.1</i>	Spuldžu atkritumi, dzīvsudraba saturošs	0,01	kg
<i>Izejvielas no tehnosfēras</i>				
	<i>Ecoinvent 3.1</i>	Smēreļļa	0,1025	g
	<i>Ecoinvent 3.1</i>	Lignīts	0,046	kg
	<i>Ecoinvent 3.1</i>	Kraftpapīrs, nebalināts	0,0062	kg
	<i>Ecoinvent 3.1</i>	Krāna ūdens (Eiropa, izņemot Šveici; krāna ūdens ražošana, pazemes ūdens bez attīrīšanas)	0,001	kg

A.2. Koģenerācijas stacija (5,52 MJ_{el}; 2,96 MJ_{th})

	Atsauce	Izvēlētais process	Daudzums	Vienības
<i>Emisijas gaisā</i>				
	Ecoinvent 3.1	Oglekļa monoksīds, biogēns	1,06	g
	Ecoinvent 3.1	Slāpekļa oksīdi	1,27	g
	Ecoinvent 3.1	Daļiņas, nenoteiktas	0,041	g
	Ecoinvent 3.1	Sēra dioksīds	0,83	g
<i>Ūdens plūsma</i>				
	Ecoinvent 3.1	Notekūdeņi	0,231	L
	Ecoinvent 3.1	Koksnes pelni	0,041	kg
	Ecoinvent 3.1	Atkritumi, industriāli	0,02	kg
	Ecoinvent 3.1	Iepakojumu atkritumi, papīrs, kartons	0,003	kg
	Ecoinvent 3.1	Koksnes atkritumi	4,005	g
	Ecoinvent 3.1	Nenoteikti atkritumi, noglabāšana	0,024	kg
	Ecoinvent 3.1	Spuldžu atkritumu, dzīvsudraba saturošs	0,001	g
	Ecoinvent 3.1	Bīstamie atkritumi, neprecizēta apstrāde	0,0323	g
<i>Novērstā ietekme koģenerācijas stacijā</i>				
	Ecoinvent 3.1	Elektroenerģija, augsts spriegums (Eiropa, izņemot Šveici; kopēja siltumenerģijas un elektroenerģijas ražošana, dabasgāze, 1 MW elektroenerģijas, siltumenerģijas)	2,96	MJ
	Ecoinvent 3.1		5,52	MJ
<i>Izejvielas no tehnosfēras</i>				
	Ecoinvent 3.1	Krāna ūdens (Eiropa, izņemot Šveici; krāna ūdens ražošana, pazemes ūdeņi bez attīrīšanas)	0,233	kg
	Ecoinvent 3.1	Amonjaks, šķidrums	0,0086	kg
	Ecoinvent 3.1	Siltumenerģijas un elektroenerģijas kombinētā ražošana, 6400 kW siltumenerģijas un elektroenerģijas komponentes	0,000000011	p
	Ecoinvent 3.1	Siltumenerģijas un elektroenerģijas kombinētā ražošana, 6400 kW siltumenerģijas, tikai elektroenerģijas komponentes	0,000000006	p
	Ecoinvent 3.1	Siltumenerģijas un elektroenerģijas kombinētā ražošana, 6400 kW siltumenerģijas, ēka	0,000000017	p
	Ecoinvent 3.1	Sērs (Eiropa, izņemot Šveici; naftas pārstrādes rūpnīcas darbība)	1,5	g
	Ecoinvent 3.1	Kaļķakmens	5,4	g
	Ecoinvent 3.1	Nātrijs hlorīds, pulveris	0,481	g
	Ecoinvent 3.1	Sālsskābe bez ūdens, 30 % šķīdība	0,216	mg
	Ecoinvent 3.1	Sērskābe	0,216	mg
	Ecoinvent 3.1	Nātrijs hidroksīds, bez ūdens, 50 % šķīdība	0,324	mg
	Ecoinvent 3.1	Nātrijs fosfāts	0,076	g
	Ecoinvent 3.1	Smiltis	0,016	kg
	Ecoinvent 3.1	Smēreļļa	0,0108	g

Izmantotā literatūra

- [1] Chen, H. G., Percival Zhang, Y. H., 2015. New biorefineries and sustainable agriculture: Increased food, biofuels, and ecosystem security. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 47, 117–132.
- [2] Scarlat, N., Dallemand, J. F., Monforti-Ferrario, F., Nita, V., 2015. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environmental Development* 15, 3–34.
- [3] Cristobal, J., Matos, C. T., Aurambout, J. P., Manfredi, S., 2016. Environmental sustainability assessment of bioeconomy value chains. *Biomass and Bioenergy* 89, 159–171.
- [4] Blumberga, D., Cimdirina, G., Timma, L., Blumberga, A., Rosa, M., 2014. Green Energy Strategy 2050 for Latvia: A Pathway towards a Low Carbon Society. *Chemical Engineering Transactions* 39, 163–168.
- [5] Cimdirina, G., Blumberga, D., Veidenbergs, I., 2015. Analysis of wood fuel CHP operational experience. *Energy Procedia* 72, 263–269.
- [6] Cimdirina, G., Prodanuks, T., Veidenbergs, I., Blumberga, D., 2016. Sustainable Development of Biomass CHP in Latvia. *Energy Procedia* 95, 372–376.
- [7] Prodanuks, T., Cimdirina, G., Veidenbergs, I., Blumberga, D., Karklina, K., Baranenko, D., 2016. Energy Analysis of Biomass CHP. Case Study. *Energy Procedia* 95, 366–371.
- [8] Karklina, K., Cimdirina, G., Veidenbergs, I., Blumberga, D., 2016. Energy and exergy analysis of wood-based CHP. Case study. *Energy Procedia* 95, 507–511.
- [9] Boschiero, M., Kelderer, M., Schmitt, A. O., Andreotti, C., Zerbe, S., 2015. Influence of agricultural residues interpretation and allocation procedures on the environmental performance of bioelectricity production – A case study on woodchips from apple orchards. *Applied Energy* 147, 235–245.
- [10] Boschiero, M., Cherubini, F., Nati, C., Zerbe, S., 2016. Life cycle assessment of bioenergy production from orchards woody residues in Northern Italy. *Journal of Cleaner Production* 112, 2569–2580.
- [11] Guest, G., Bright, R. M., Cherubini, F., Michelsen, O., Stromman, A. H., 2011. Life Cycle Assessment of Biomass-based Combined Heat and Power Plants. Centralized Versus Decentralized Deployment Strategies. *Journal of Industrial Ecology* 15, 908–921.
- [12] Zhao, J., Hong, J., Chen, W., Song, Z., Wang, Q., Ma, C., 2016. Life cycle assessment of lignite pyrolysis: a case study in China. *Journal of Cleaner Production* 113, 548–556.
- [13] Boloborodko, A., Romagnoli, F., Rosa, M., Disanto, C., Salimbeni, R., Karlsen, N. E., Reime, M., Schwab, T., Mortensen, J., Ibarra, M., Blumberga, D., 2015. SWOT analysis approach for advancement of waste-to-energy cluster in Latvia. *Energy Procedia* 72, 163–169.
- [14] Fernandez-Lopez, M., Puig-Gamero, M., Lopez-Gonzalez, D., Avalos-Ramirez, A., Valverde, J., Sanchez-Silva, L., 2015. Life cycle assessment of swine and dairy manure: Pyrolysis and combustion processes. *Bioresource Technology* 182, 184–192.
- [15] Valsts vides dienests, 2012. SIA Fortum Jelgava A kategorijas atļauja Nr. JE12IA0005, Jelgava, Latvija.
- [16] Valsts vides dienests, 2014. SIA Livanu karbons B kategorijas atļauja Nr. DA14IB0049, Daugavpils, Latvija.

- [17] EPA, 1995. Environmental Protection Agency, Emission Factor Documentation for AP-42 Section 10.7 Charcoal. Report, Midwest Research Institute. USA.
- [18] Cabinet Regulation No. 1015 Environmental requirements for the management of small boiler houses. Latvijas Vēstnesis 2004.
- [19] Hu, Q., Shao, J., Yang, H., Yao, D., Wang, X., Chen, H., 2015. Effects of binders on the properties of bio-char pellets. *Applied Energy* 157, 508–516.
- [20] LG, 2016. JSC Latvijas gaze, Natural gas average calorific value supplied to the customers. Available at: <www.lg.lv/?id=242&lang=lat>.
- [21] Humbert, S., De Schryver, A., Bengoa, X., Margini, M., Jolliet, O., 2012. *Impact 2002+*: User Guide. Quantis. Lausanne, Switzerland.

Kopsavilkums

Zinātniskā monogrāfija “Klimata tehnoloģiju ekodizaina risinājumi” veltīta klimata tehnoloģiju (siltumnīcefekta gāzu samazināšanas atmosfērā saistīto procesu un produktu) ietekmes uz vidi mazināšanas pasākumu izpētei, izmantojot ekodizaina metodi. Monogrāfijā aprakstītajos pētījumos ir izmantoti tādi ekodizaina instrumenti kā aprites cikla analīze, aprites cikla izmaksu analīze, daudzkritēriju analīze, inovatīvu problēmu risināšanas algoritms *TRIZ*. Šo metožu lietojums ļauj novērtēt inovatīvo produktu un procesu ietekmes uz vidi no “šūpuļa līdz kapam” (t.i. no izejvielu ieguves līdz produkta utilizācijai), veikt izstrādāto risinājumu savstarpējo salīdzināšanu un noteicošo parametru definēšanu, tehnoloģiju konkurētspējas tirgū noteikšanu.

Tematiski monogrāfijā ir apskatītas bioūdeņraža ražošanas no organiskiem atkritumiem ražošanas un izmantošanas tehnoloģijas, biogāzes ražošana no Latvijā pieejamām aļģēm, biodīzeļa ražošana no rapša un tā izmantošana transporta nozarē, koksnes resursu izmantošanas iespējas sadedzināšanas iekārtās, gazifikācijas procesos un augstas pievienotās vērtības produktu ražošanā, oglekļa dioksīda uztveršanas un uzglabāšanas ģeoloģiskajos rezervuāros tehnoloģijas, biogāzes izmantošanas būvniecības produktu ražošanas uzņēmumos analīze.

Monogrāfijā ietvertās zinātniskās izpētes metodes un iegūtie rezultāti būs noderīgi zinātniekiem, politikas veidotājiem un lēmuma pieņēmējiem, produktu kvalitāti uzraugošo iestāžu speciālistiem, kā arī uzņēmējiem, lai noteiktu piemērotākos risinājumus produktu un pakalpojumu ietekmes uz vidi mazināšanai un resursu efektīvai izmantošanai.

Summary

The scientific monograph “Ecodesign solutions for climate technologies” is devoted to researching measures for reducing the environmental impact of climate technologies (processes and products eliminating greenhouse gas emissions in the atmosphere) using the ecodesign method. Life cycle assessment, life cycle cost assessment, multi-criteria analysis, theory of innovative problem solution *TRIZ* are the ecodesign research methods applied in the scientific research papers of the monograph. Application of these methods allows us to evaluate the environmental impacts of innovative products and processes from “cradle-to-grave” (i.e from extraction of raw materials to final utilisation of end of life product), to perform a comparative assessment of the solutions proposed and to define the determining parameters in order to determine the potential market competitiveness of the technologies.

At the thematic level the monograph pertains to research on production and use of biohydrogen from organic waste, biogas production from algae available in Latvia, biodiesel production from canola and its use in the transport sector, use of wood resources in combustion and gasification processes as well as production of high-added value products, carbon capture and geological storage technologies, analysis of integration of biogas in construction products industries.

The scientific algorithms and the results obtained which are summarised in the monograph are beneficial for scientists, policy makers and decision makers, specialists of market surveillance institutions, industry experts, as well as industry specialists and entrepreneurs for choosing the proper solutions for limiting environmental impacts and maximizing the effective use of resources for products and services.

Izdevējs
RTU Izdevniecība
Kaļķu iela 1, Rīga, LV-1658
E-pasts: izdevnieciba@rtu.lv

ISBN 978-9934-22-104-0



9 789934 221040