

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Arnis Dzalbs

Studiju programmas “Vides inženierija” doktorants

BIORESURSU ILGTSPĒJAS VĒRTĒJUMS. LATVIJAS PIEMĒRI

Promocijas darba kopsavilkums

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

Līdzvadītājs
profesors *Dr. sc. ing.*
FRANCESCO ROMAGNOLI

RTU Izdevniecība
Rīga 2024

Dzalbs, A. Bioresursu ilgtspējas vērtējums. Latvijas piemēri. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga, RTU Izdevniecība, 2024, 39 lpp.

Publicēts saskaņā ar promocijas padomes "RTU P-19" 2024. gada 16. februāra lēmumu, protokols Nr. 189.

PATEICĪBA

Mana visdziļākā atzinība un pateicība manai dārgajai sievai, kura mani pacietīgi atbalstīja un rūpējās par bērniem, kamēr es pavadīju laiku ar studiju biedriem.

Sirsnīgs paldies profesoram Francesco Romagnoli, kurš man atklāja dzīves cikla analīzes burvību un bija pietiekami neatlaidīgs un optimistisks, lai virzītu mani cauri maģistra un doktora līmeņa studijām arī dienās, kad tuneļa galā nebija gaismas!

Paldies arī profesoram Ivaram Veidenbergam par vērtīgajiem ieteikumiem kvalitatīvākam darbam!

Sirsnīgs paldies profesorei Dagnijai Blumbergai un burvīgajiem VASSI kolēģiem, ar kuriem man ir tas gods strādāt kopā pēdējos sešus gadus!

Vāka attēls no *www.shutterstock.com*

<https://doi.org/10.7250/9789934370731>
ISBN 978-9934-37-073-1 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2024. gada 13. jūnijā plkst. 14.30 Rīgas Tehniskās universitātes Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultātē Āzenes ielā 12/1, Rīgā, 116. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Ainis Lagzdīņš,
Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte, Latvija

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

Ph. D. Saulius Vasarevičius,
Viļņas Ģedimīna tehniskā universitāte, Lietuva

APSTIPRINĀJUMS

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

Arnis Dzalbs (paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 18 attēli, četras tabulas, pieci pielikumi, kopā 51 lappuse, neieskaitot pielikumus. Literatūras sarakstā ir 52 nosaukumi.

SATURS

Ievads	5
Promocijas darba aktualitāte.....	6
Promocijas darba mērķis un uzdevumi.....	7
Promocijas darba tēzes	7
Promocijas darba hipotēze.....	8
Zinātniskā novitāte	8
Pētījuma praktiskā nozīme	8
Promocijas darba struktūra.....	9
Aprobācija	10
1. Literatūras apskats	11
2. Metodoloģija.....	14
2.1. Aptauja	15
2.2. Pāra salīdzinājums.....	16
2.3. Eksperiments	16
2.4. Daudzkritēriju lēmumu analīze	17
<i>TOPSIS</i>	18
2.5. Kognitīvās kartēšanas pieeja	19
2.6. Dzīves cikla novērtējums	21
2.7. Dzīves cikla izmaksu analīze	22
3. Rezultāti.....	25
3.1. Loģistika un apstrāde	25
3.2. Atjaunojamie enerģijas avoti.....	27
3.3. Siltumnīcefekta gāzu emisijas.....	29
3.4. Materiāli un pievienotā vērtība	31
3.5. Inovācijas un ieguldījumi	33
Secinājumi	34
Atsauces	35

IEVADS

Nemot vērā pieaugošo globālo pieprasījumu pēc bioresursiem un neatliekamo vajadzību pēc ilgtspējīgas attīstības, bioresursu ilgtspējas novērtējums ir kļuvis par būtisku zinātniskās izpētes jomu. Šis darbs ir veltīts visaptverošam bioresursu ilgtspējas izvērtējumam Latvijā. Darba mērķis ir iedziļināties bioresursu potenciālā kā labākajā alternatīvā un rūpīgi izpētīt to ietekmi uz vidi un ekonomiku Latvijas kontekstā.

Attiecībā uz ilgtspējīgiem bioresursiem, piemēram, tiek analizēta arī smiltsērķšķu plantācija. Šis daudzgadīgais krūms iemieso daudzus bioresursu un ilgtspējas izaicinājumus. Ilgtspējas jēdziens ir daudzdimensionāls un ietver plašu apsvērumu klāstu. Piemēram, smiltsērķšķi ir ne tikai lauksaimnieku ienākumu avots, bet arī ilgtspējīgu un veselīgu bioproduktu avots farmācijā, tādējādi mazinot klimata pārmaiņas un uzlabojot cilvēku labklājību. Kā daļa no aukstās piegādes ķēdes tas prasa ievērojamu enerģijas daudzumu ne tikai augšanas posmā, bet arī transportēšanas un uzglabāšanas laikā, tādējādi radot siltumnīcefekta gāzes.

Tiek analizēts lēmumu pieņemšanas process attiecībā uz to, vai galaprodukts būs ar zemu pievienoto vērtību, vai arī daļa no sarežģītākiem produktiem lauksaimniecībā. Saistībā ar bioresursiem ilgtspēja ietver sarežģītu līdzsvaru starp to atjaunojamību, to piedāvāto oglekļa neitralitāti un ietekmi uz bioloģisko daudzveidību, lēmumu pieņemšanu par ieguldījumiem, kā arī cilvēku labklājību saistībā ar bioresursiem. Pētījuma gaitā tiek izmantotas specifiskas metodoloģijas un rīki, lai analizētu Latvijas bioresursu izmantošanas piemērus.

Šī pētījuma pirmajā daļā galvenā uzmanība pievērsta smiltsērķšķiem, nosakot esošo ietekmi uz bioresursu ilgtspēju, auksto piegādes ķēdi un pārstrādi un to, kādus uzlabojumus varētu veikt, analizējot konkrētu Latvijas gadījuma izpēti par esošajām plantācijām un piegādes ķēdi Cēsu pilsētas tuvumā. Tiek analizēta arī Latvijas uzņēmumu tirgus gatavība atjaunīgo energoresursu tirgum.

Promocijas darba otrajā daļā pētīta bioresursu nākotnes ietekme, proti, smiltsērķšķu plantāciju siltumnīcefekta gāzu emisijas un jauni, ilgtspējīgi nākotnes bioresursi kā alternatīva esošo fosilo produktu aizstāšana.

Visbeidzot, tiek pētīts lēmumu pieņemšanas instruments nākotnes bioresursu tendencēm lauksaimniecībā, lai palīdzētu tiem, kas darbojas politikas veidošanā vai uzņēmējdarbības vidē un meklē ilgtspējīgākus bioproduktus.

Šī pētījuma mērķis ir bruģēt ceļu ilgtspējīgākai nākotnei. Izgaismojot bioresursu ilgtspēju, pētījums cer veicināt pāreju uz atjaunojamiem enerģijas un materiālu avotiem, kas ir svarīgs ilgtspējīgas attīstības pīlārs. Šis pārejas mērķis ir ne tikai apmierināt enerģijas un resursu vajadzības, bet arī saglabāt mūsu planētu un nodrošināt pašreizējo un nākamo paaudžu labklājību.

Promocijas darba aktualitāte

Mūsdienu pasaulē bioresursu ilgtspēju nevar novērtēt par zemu. Ilgtspēja un resursu pieejamība ir kļūst par arvien svarīgāku faktoru politikas veidošanā un investīciju piesaistē. Tas ir saistīts ar vides, ekonomiskajām un sociālajām problēmām, kas ir palielinājušās pasaules iedzīvotāju skaita pieauguma un klimata pārmaiņu dēļ. Valdības visā pasaulē tagad atzīst ilgtspējas nozīmi un īsteno politiku, kas atbalsta ilgtspējīgu ieguldījumu praksi.

Pieaugošais globālais pieprasījums pēc bioresursiem un steidzamā vajadzība pēc ilgtspējīgas attīstības ir izvirzījusi šo jomu zinātniskās pētniecības, uzņēmējdarbības, politikas un ikdienas dzīves priekšplānā. Bioresursi ir viens no pīlāriem daudzos politikas dokumentos, vai tas būtu nacionālais līmenis, piemēram, Latvijas “Nacionālais attīstības plāns 2021–2027”, vai Eiropas līmeņa “Jaunais zaļais kurss” un “Kopējā lauksaimniecības politika”, vai arī starptautiskie Apvienoto Nāciju Organizācijas 17 ilgtspējas mērķi.

Latvijā vien uz nākamajiem pieciem gadiem vairāk nekā deviņi miljardi eiro tiks piešķirti bioresursu izmantošanai, tādējādi veicinot ilgtspēju un ilgtermiņa attīstību. Bioresursus var analizēt, izmantojot neskaitāmus rādītājus un kritērijus. Pētniecības laikā tiek izvēlētas specifiskas bioresursu ilgtspējas dimensijas – loģistika un pārstrāde, siltumnīcefekta gāzu emisijas, atjaunojamā enerģija, materiālu pievienotā vērtība, inovācijas un investīcijas. Šīs dimensijas tiek piemērotas dažādiem bioresursiem, tostarp smiltsērķšķu plantācijai kā galvenajam pētījuma piemēram.

Pētījumu laikā bioražošanas ilgtspēja attiecas uz ideju, ka saimnieciskajai darbībai jānotiek, vienlaikus laika gaitā saglabājot un uzlabojot vides aktīvus. Tas nozīmē, ka ir jāņem vērā ietekme uz dabas resursiem, enerģijas avotu pieejamība, siltumnīcefekta gāzu emisijas, pamatojums jauniem ekonomiskiem ieguldījumiem. Ieguldījumi bioresursos atbalsta atbildīgu zemes izmantošanas praksi, cenšas samazināt negatīvo ietekmi uz vidi un atbalstīt atjaunojamo enerģiju, kā arī ekoloģiski pareizu praksi. Visi šie faktori ir ikdienas temats bioresursu ražošanas līmenī, politikas veidošanas līmenī un investīciju plānošanas līmenī, tādējādi skaidri pierādot promocijas darba tēmas aktualitāti.

Šī promocijas darba secinājumi ir paredzēti, lai veicinātu tādu stratēģiju un politikas izstrādi, kas veicina bioresursu ilgtspējīgu izmantošanu. Sniedzot rūpīgu un objektīvu bioresursu ilgtspējas novērtējumu, šī darba mērķis ir sniegt informāciju lēmumu pieņemšanas procesiem dažādos līmeņos, sākot no saimniecību līmeņa un nodrošinot instrumentus vispārīgākai politikas veidošanai.

Nozares ieinteresētās personas var gūt vērtīgu ieskatu, lai vadītu operatīvos un stratēģiskos lēmumus, ļaujot saskaņot savu praksi ar ilgtspējas principiem. Politikas veidotāji var izmantot iegūtos datus, lai izstrādātu informācijā balstītu un efektīvu politiku, kas veicina bioresursu ilgtspējīgu izmantošanu. Sabiedrības līmenī pētniecība var palīdzēt palielināt informētību un izpratni par bioresursu ilgtspēju, sekmējot informācijā balstītu publisko diskursu un lēmumu pieņemšanu.

Promocijas darba mērķis un uzdevumi

Promocijas darba galvenais mērķis ir novērtēt ilgtspējīgu bioresursu izmantošanas ietekmi uz vidi un ekonomiku. Šis analīzes mērķis ir noskaidrot daudzšķautņaino ietekmi, kas veicina ilgtspējīgas prakses ieviešanu bioresursu nozarē. Precīzi norādot šķēršļus plašai pieņemšanai un identificējot pārmaiņu katalizatorus, šis pētījums cenšas piedāvāt stratēģijas, lai veicinātu ilgtspējīgu bioresursu veicināšanu un integrāciju, tādējādi veicinot videi un ekonomikai dzīvotspējīgākas izvēles.

Uzdevumi

- Noteikt ilgtspējas dimensijas. Lai ieskicētu galvenās ilgtspējas dimensijas, kas attiecas uz šo pētījumu, ietverot vides, ekonomiskos un sociālos aspektus.
- Apkopot datus piemēru izpētes analīzei. Apkopot visaptverošus datus dzīves cikla novērtējumam (*LCA*) un aprites cikla izmaksu analīzei (*LCCA*), koncentrējoties uz smiltsērķšķu plantācijas gadījuma izpēti, lai izprastu ilgtspējības ietekmi visā tās dzīves ciklā.
- Sadarboties ar nozares spēlētājiem. Veikt strukturētas intervijas ar ieinteresētajām personām uzņēmēju aprindās, lai gūtu ieskatu par pašreizējo praksi, problēmām un uztveri attiecībā uz bioresursu ilgtspēju.
- Alternatīvu eksperimentālā analīze. Izstrādāt un veikt eksperimentus, lai novērtētu alternatīvo materiālu dzīvotspēju un ilgtspēju, salīdzinot ar tradicionālajiem materiāliem bioresursu nozarē.
- Literatūras apskats un SEG aprēķinu izmantošana. Veikt rūpīgu literatūras pārskatu par siltumnīcefekta gāzu kalkulatoriem, kas pielāgoti dārzkopības plantācijām. Izmantot šos rīkus lokalizētam scenārijam, lai pārbaudītu to precizitāti un atbilstību.
- Izstrādāt sistēmas dinamikas modeli. Izveidot sistēmas dinamikas modeli bioresursu izvēlei, lai novērtētu to ilgtspēju. Šim modelim būtu jāpalīdz noteikt dzīvotspējīgākos bioresursus, pamatojoties uz iepriekš noteiktiem ilgtspējas kritērijiem.

Veicot šos uzdevumus, promocijas darba mērķis ir sniegt nozīmīgu ieskatu bioresursu ilgtspējīgā apsaimniekošanā, informēt politikus un virzīt nozares praksi uz ilgtspējīgākiem rezultātiem.

Promocijas darba tēzes

Promocijas darbā izvirzītās tēzes skar divus aspektus.

1. Produktu ilgtspējas dimensija ietver dažādus raksturlielumus un parametrus, kuru kopums ieskicē bioresursu izmantošanas ilgtspēju:
 - resursu ieguves procesa un loģistikas parametri, kas balstās smiltsērķšķu audzēšanas pilotprojektā;
 - siltumnīcefekta gāzu emisijas parametrs, kas raksturo bioresursu ietekmi uz klimata pārmaiņām un balstās lauksaimniecībā;
 - bioresursu lietojuma parametrs, lai ražotu produktu ar augstu pievienoto vērtību, kas balstās mežsaimniecības atlikumu izmantošanas piemēros;

- bioresursu izmantošanas līmenis enerģijas ražošanai, balstoties uzņēmēju atvērtībā atjaunojamiem energoresursiem;
 - investīciju un inovāciju nozīmes vērtējums, virzoties uz Eiropas Savienības ilgtspējas mērķiem.
2. Bioresursu izmantošanas ilgtspējas dimensijas iespējams vērtēt, integrējot un kombinējot dažādas analītiskas metodes:
- daudzkritēriju analīzi;
 - aptaujas;
 - eksperimentus;
 - kognitīvās kartēšanas pieeju;
 - dzīves cikla un dzīves cikla izmaksu analīzi.

Promocijas darba hipotēze

Saskaroties ar globālo pieprasījumu pēc bioresursiem, lai sasniegtu ilgtspējīgas attīstības mērķus, šī tēze sniedz daudzpusīgu pieeju bioresursu ilgtspējas novērtēšanai, kas var ievērojami uzlabot to izmantošanu videi nekaitīgā, ekonomiski dzīvotspējīgā un sociāli labvēlīgā veidā. Šis visaptverošais novērtējums ir būtisks, lai apzinātu ilgtspējīgas alternatīvas, kas mazina ietekmi uz vidi un veicina ekonomisko labklājību.

Šīs tēzes pētījuma hipotēze – ilgtspējīgas prakses īstenošana ar uzsvaru uz bioresursu audzēšanu, pārstrādi un izmantošanu, ko ilustrē, cita starpā, smiltsērķšķu plantāciju gadījuma izpēte, var ievērojami samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas, uzlabot resursu efektivitāti un palielināt sociālekonomiskos ieguvumus iesaistītajām kopienām.

Zinātniskā novitāte

- Šī pētījuma zinātniskā inovācija ir tā pielāgotā pieeja konkrētiem un unikāliem modeļiem:
- *LCA/LCCA* modelis neliela mēroga smiltsērķšķu plantācijai Latvijā, ieskaitot izveidi, darbību un loģistiku līdz pat produkta mazumtirdzniecības plauktam;
 - bioresursos balstīta zaļā termiskā iepakojuma tirgus perspektīvas, balstoties Latvijas ieinteresēto pušu intervijā un *MCA* metodē rezultātu kvantificēšanai;
 - kognitīvā kartēšanas pieeja, lai novērtētu bioresursu dzīvotspēju ilgtspējas kritēriju kopumam ieviešanai Latvijā;
 - tirgus briedums investīcijām AER, balstoties AHP un lielo enerģijas patērētāju intervijās Latvijā;
 - saimniecības līmeņa SEG aprēķināšanas rīka parametri dārzkopībā un rezultātu pārbaude vietējā smiltsērķšķu audzēšanas uzņēmumā.

Pētījuma praktiskā nozīme

Pētījuma rezultātā tika izveidoti vairāki modeļi, kuru pamatā ir piemēru izpēte. Šos modeļus var izmantot ieinteresētās personas un politikas veidotāji, lai uzlabotu ilgtspējīgu bioresursu izmantošanu.

- Instrumenta izstrāde, lai izvērtētu nākotnes bioproduktu tirgus un to, kādi kritēriji veido šos tirgus Latvijā.
- Praktisks rīks zaļo risinājumu analīzes veikšanai veido ilgtspējības un iespējamības perspektīvu, balstoties smiltsērķšķu gadījuma izpētē.
- Metodoloģija intervijas rezultātu analīzei, lai noteiktu atjaunojamo energoresursu tirgus briedumu Latvijas gadījuma izpētē.

Tika pētīts arī jauns un unikāls bioresursu materiāls – skaidu plātnes no mežizstrādes atlikumiem.

Promocijas darba struktūra

Bioresursu izmantošanas ilgtspēja ir atkarīga gan no vietēji pieejamiem materiāliem, gan ietekmes uz klimatu, gan no tehnoloģiskā brieduma.

Liela nozīme ir ne tikai katra atsevišķa bioresursa lietojamībai un īpašībām, bet arī prasībai efektīvi izmantot citus resursus – enerģiju, ūdeni, zemi, materiālus.

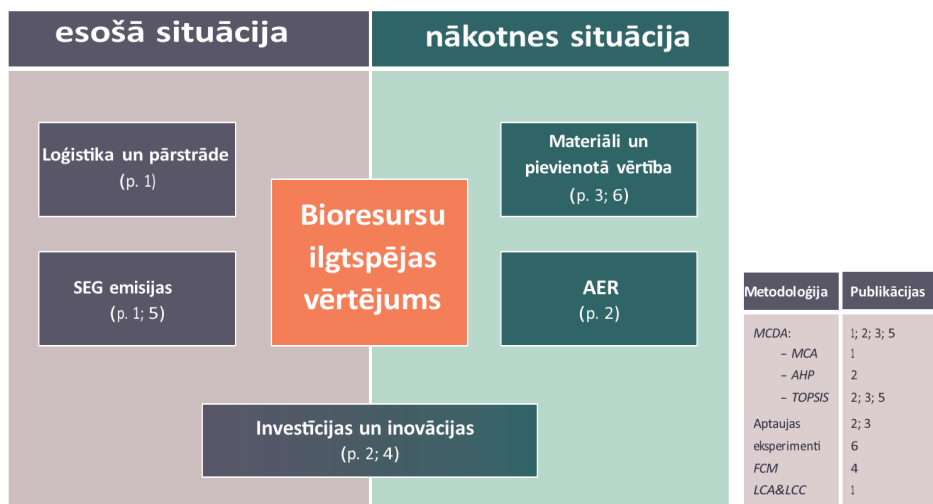
Viens no ilgtspējas pamatelementiem ir ietekme uz klimata pārmaiņām, ko raksturo SEG emisijas visos ražošanas posmos.

Kā kopsavilkums iepriekš minētajam tiek veidots pētniecības ietvars. Ietvara pamatā ir septiņas dimensijas – divas ir fona dimensijas, piecas – pētniecības joma. Ietvars ietver divas fona dimensijas: “esošā situācija” un “nākotnes situācija”. Šīs dimensijas tiek izmantotas uzņēmējdarbības modelēšanas laikā, vispirms aprakstot esošos apstākļus un faktoros, kā arī aprakstot nākotnes tendences vai vēlamos rezultātus kādā brīdī nākotnē.

Laika dimensijās tiek analizētas konkrētas ilgtspējas dimensijas:

- esošās situācijas analīze:
 - o smiltsērķšķu stādījumu un produktu izmantošana esošās uzturēšanas un ekspluatācijas izmaksas, kā arī esošā infrastruktūra un enerģijas patēriņš;
 - o ilgtspējīga lauksaimniecība, lai pārbaudītu SEG emisiju aprēķinus, izmantojot esošos datus un parametrus;
- nākotnes situācijas analīze:
 - o atjaunojamo energoresursu integrēšana bioproduktu pārstrādes rūpniecībā, balstoties uzņēmumu plānos un nākotnes cerībās;
 - o bioresursu nākotnes izvērtējums tādu produktu ražošanā, kam ir augsta pievienotā vērtība produktiem, kādu patlaban vēl nav;
- ieguldījumu un inovācijas nozīme gan pašreizējos, gan nākotnes modeļos. Piemēram, smiltsērķšķu esošā situācija balstās reālos izmērītos datus par tagadni, bet iespējamie uzlabojumi ir investīcijas nākotnē.

Pētījuma shēmas vizualizācija redzama 1. attēlā.



1. att. Pētījuma shēma.

Tiek izvēlēta metodika katrai dimensijai. Promocijas darbā izmantotās metodoloģijas atbilstoši datu pieejamībai un rezultātiem ir aprakstītas piecās dimensijās, kā parādīts iepriekš.

Aprobācija

1. Edgars, K., Tukulis, A., Arnis, D., Blumberga, D. Are Industries Open for Renewable Energy?. *Environmental and Climate Technologies*, 2020, Vol. 24, No. 3, 447.–456. lpp. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837. doi:10.2478/rtuect-2020-0115.
2. Blumberga, D., Balode, L., Bumbiere, K., Dzalbs, A., Indzere, Z., Kalnbaļķīte, A., Priedniece, V., Pubule, J., Vamža, I., Zlaugotne, B., Žihare, L. *Bioresursi ilgtspējīgai attīstībai*. Rīga: RTU Izdevniecība, 2021. 483 lpp. ISBN 978-9934-22-701-1. doi:10.7250/9789934227035.
3. Vamža, I., Valters, K., Dzalbs, A., Kudurs, E., Blumberga, D. Criteria for Choosing Thermal Packaging for Temperature Sensitive Goods Transportation. *Environmental and Climate Technologies*, 2021, Vol. 25, No. 1, 382.–391. lpp. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837. doi:10.2478/rtuect-2021-0028.
4. Bezručko, T., Lauka, D., Laktuka, K., Sniega, L., Vamža, I., Dzalbs, A., Terjaņika, V., Blumberga, D. Bioeconomy towards Green Deal. Case Study of Citric Acid Production through Fuzzy Cognitive Maps. *Environmental and Climate Technologies*, 2022, Vol. 26, No. 1, 684.–696. lpp. e-ISSN 2255-8837. doi:10.2478/rtuect-2022-0052.
5. Dzalbs, A., Bimbere, M., Pubule, J., Blumberga, D. Environmental Impact Decision Support Tools for Horticulture Farming: Evaluation of GHG Calculators. *Agriculture*, 2023, Vol. 13, No. 12, Article number 2213. ISSN 2077-0472. doi:10.3390/agriculture13122213.

6. Krumins, J. A.; Vamza, I.; Dzalbs, A.; Blumberga, D. Particle Boards from Forest Residues and Bio-Based Adhesive. *Buildings* 2024, 14, 462. <https://doi.org/10.3390/buildings14020462>.

Dalība konferencēs – Connect 2023.

1. LITERATŪRAS APSKATS

Ilgtspēja kā atslēgvārds ir minēta vairāk nekā 31 tūkstošos rakstu *SCOPUS* datubāzē tikai 2023. gadā vien. Literatūras apskats ir sakārtots piecās sadaļās atbilstoši pētniecības ietvara dimensijām – loģistika un pārstrāde, siltumnīcefekta gāzu emisijas, atjaunojamā enerģija, materiālu un inovāciju pievienotā vērtība un investīcijas. Šī pieceja palīdz sašaurināt literatūras pētījumu robežas atbilstoši promocijas darba tvērumam.

Lauksaimniecībā aukstajām piegādes ķēdēm ir izšķiroša nozīme, lai nodrošinātu ātrbojīgu lauksaimniecības produktu kvalitāti, drošumu un derīguma termiņa pagarināšanu. Pieaugot bažām par nodrošinātību ar pārtiku, vides ilgtspēju un ekonomisko dzīvotspēju, arvien lielāka uzmanība tiek pievērsta šīs piegādes ķēdes optimizēšanai. Ieguldījumi saldētavās un transporta infrastruktūrā ir atzīti par būtiskiem, lai uzlabotu lauksaimniecības auksto piegādes ķēžu efektivitāti un ilgtspēju [1].

Šo iekārtu modernizācija, izmantojot energoefektīvas tehnoloģijas un atjaunojamās enerģijas avotus, ne tikai samazina ekspluatācijas izmaksas, bet arī mazina ietekmi uz vidi, veicinot vispārējo ilgtspēju [2].

Tehnoloģiskie sasniegumi, piemēram, *IoT* (lietu internets) iespējotas uzraudzības sistēmas, *RFID* izsekošana un prognozējošā analīze ir radījusi revolūciju auksto piegādes ķēžu pārvaldībā [3].

Šīs inovācijas ļauj reāllaikā uzraudzīt temperatūru un mitrumu, tādējādi samazinot pārtikas zudumus un nodrošinot produktu kvalitāti visā piegādes ķēdē. Turklāt procesu optimizācija, integrējot datu analīzi, uzlabo resursu izmantošanu un samazina oglekļa pēdas nospiedumu [4].

Sadarbības partnerības starp ieinteresētajām personām, tostarp lauksaimniekiem, ražotājiem, mazumtirgotājiem un loģistikas pakalpojumu sniedzējiem, ir būtiskas, lai optimizētu aukstās piegādes ķēdes [5].

Apmainoties ar resursiem, informāciju un paraugpraksi, šīs partnerības veicina ilgtspējīgas prakses īstenošanu, piemēram, koordinētus piegādes grafikus un sūtījumu konsolidāciju, tādējādi samazinot emisijas un atkritumus. Valdības politikai un tiesiskajam regulējumam ir izšķiroša nozīme lauksaimniecības auksto piegādes ķēžu ilgtspējas veidošanā. Stimuli ieguldījumiem ilgtspējīgā infrastruktūrā, subsīdijas zaļo tehnoloģiju ieviešanai un stingri kvalitātes standarti veicina videi draudzīgu praksi un nepārtrauktu piegādes ķēdes ilgtspējas rādītāju uzlabošanu. Ieguldījumiem lauksaimniecības aukstajā piegādes ķēdē ir milzīgs potenciāls uzlabot tās ilgtspēju, uzlabojot infrastruktūru, izmantojot tehnoloģiskās inovācijas, veicinot sadarbības partnerības un īstenojot atbalstošus politikas satvarus. Turpmākajiem pētījumiem vajadzētu būt vēršamiem uz to, lai novērtētu šo ieguldījumu efektivitāti ilgtermiņa ilgtspējas mērķu sasniegšanā un risinātu jaunās problēmas dinamiskajā lauksaimniecības vidē.

Lauksaimniecība būtiski rada siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisijas, tāpēc klimata pārmaiņu mazināšanas stratēģijām ir vajadzīgi precīzi mērīšanas instrumenti. Siltumnīcefekta gāzu kalkulatori ir kļuvuši par būtiskiem instrumentiem emisiju novērtēšanai lauksaimniecības sistēmās. Šī literatūras apskata mērķis ir izpētīt SEG kalkulatoru efektivitāti lauksaimniecības kontekstā, izceļot to priekšrocības, problēmas un jomas, kurās nepieciešami uzlabojumi.

Vairākos pētījumos ir pētīta SEG kalkulatoru lietderība dažādās lauksaimniecības vidēs. [6] veikts pētījums ASV olu ražošanā, atklājot SEG emisiju samazināšanos gadu gaitā, uzsverot, cik svarīgi ir ņemt vērā vietējos apstākļus. [7] veikta SEG kalkulatoru salīdzinošā analīze, izceļot emisiju aplēšu atšķirības, kas radušās aprēķinu metožu un ievadparametru atšķirību dēļ. SEG kalkulatoru gadījumu izpēte un veiktspēja uzsver nenoteiktības lomu emisiju aplēsēs un iesaka uzlabot datu vākšanu un modeļu validāciju. Turklāt [8] tika izstrādāti četri alternatīvi zemu oglekļa emisiju scenāriji Nigērijai, nosakot paredzamās SEG emisiju nākotnes tendences valstī.

Siltumnīcefekta gāzu kalkulatori piedāvā vērtīgus rīkus emisiju novērtēšanai lauksaimniecības sistēmās, palīdzot formulēt ilgtspējīgu praksi. Tomēr joprojām pastāv tādas problēmas kā aplēšu mainīgums, nenoteiktība un nepieciešamība pēc lokalizētas kalibrēšanas. Turpmākajos pētījumos galvenā uzmanība būtu jāpievērš metodoloģiju standartizēšanai, modeļu precizitātes un datu vākšanas uzlabošanai, lai nodrošinātu efektīvu SEG novērtēšanu lauksaimniecības kontekstā.

Lauksaimniecības nozare arvien vairāk pievēršas atjaunojamiem energoresursiem, lai mazinātu ietekmi uz vidi, samazinātu darbības izmaksas un uzlabotu ilgtspēju. Šajā literatūras apskatā ir aplūkotas ieguldījumu perspektīvas, kas saistītas ar atjaunojamās enerģijas tehnoloģiju ieviešanu lauksaimniecībā, izskaidrojot galvenos apsvērumus, ieguvumus un problēmas.

Vairākos pētījumos ir pētīta finansiālā ietekme, ko rada pāreja uz atjaunojamiem enerģijas avotiem lauksaimniecībā. [9] veikta izmaksu un ieguvumu analīze par atjaunojamo energoresursu enerģijas ieviešanu saimniecībās, uzsverot ievērojamus ilgtermiņa ietaupījumus, neraugoties uz sākotnējām ieguldījumu izmaksām. Autori uzsvēra, cik svarīgi ir valdības stimuli un finansēšanas iespējas, lai atvieglotu adopciju.

Arī [10] pētīta vēja un enerģijas integrācijas ekonomiskā iespējamība lauksaimniecības siltumnīcās, uzsverot ieņēmumu dažādošanas un riska pārvaldības potenciālu, izmantojot enerģijas ražošanu. Autori definējuši arī problēmas, kas saistītas ar nepastāvību un alternatīviem avotiem nelabvēlīgu klimatisko apstākļu gadījumā.

Turklāt [11] tika pētīta bioenerģijas ražošanas investīciju pievilcība lauksaimniecībā, ņemot vērā tādus faktorus kā izejvielu pieejamība, tehnoloģiju gatavība un tirgus pieprasījums. Pētījumā uzsvērts, cik svarīgi veiksmīgai īstenošanai ir visaptveroši priekšizpētes pasākumi un riska pārvaldības stratēģijas. Turklāt [12] analizēja biogāzes ražošanas no lauksaimniecības atkritumiem finansiālo dzīvotspēju, uzsverot valdības politikas un oglekļa tirgu lomu investīciju stimulēšanā. Autori uzsvēra ieņēmumu radīšanas, atkritumu apsaimniekošanas un vides ieguvumu potenciālu. Biometanizācijas un pirolīzes tehnoloģijas var būt ekonomiski un ekoloģiski konkurētspējīgas attiecībā uz dabasgāzi, vēl jo vairāk – ir jāizgatavo modernāki *ACN* modeļi.

Atjaunojamās enerģijas ieviešana lauksaimniecībā sniedz pārliecinošas ieguldījumu iespējas, piedāvājot ilgtermiņa izmaksu ietaupījumus, ieņēmumu dažādošanu un vides ilgtspēju. Tomēr tādas problēmas kā sākotnējās izmaksas, tehnoloģiju integrācija un politikas atbalsts joprojām ir būtiski šķēršļi. Turpmākajiem pētījumiem vajadzētu būt vēršamiem uz novatorisku finansēšanas mehānismu izstrādi, tehnoloģiju efektivitātes un politikas satvaru uzlabošanu, lai paātrinātu pāreju uz atjaunojamo enerģiju lauksaimniecībā.

Pēdējos gados pieaug interese par bioresursu materiālu izmantošanu lauksaimniecībā, lai uzlabotu produktivitāti, ilgtspēju un ekonomisko dzīvotspēju. Literatūras apskata mērķis ir izpētīt bioresursu materiālu pievienoto vērtību lauksaimniecības praksē, izceļot to daudzveidīgo lietojumu, ieguvumus un sekas.

Daudzos pētījumos ir pētīts bioresursu materiālu potenciāls pievienot vērtību lauksaimniecības sistēmām. [13] tika pētīta bioogļu izmantošana, kas ir ar oglekli bagāts materiāls, kas iegūts no biomasas, augsnes iestrādāšanai. Pētījums parādīja bioogļu spēju uzlabot augsnes auglību, ūdens aizturi un kultūraugu produktivitāti, tādējādi veicinot lauksaimniecības ilgtspēju.

Arī [14] pētīta lauksaimniecības atlieku, piemēram, kultūraugu atlieku un kūtsmēsli, izmantošana biogāzes ražošanā. Pētījumā analizētas divējādas priekšrocības, ko sniedz bioenerģijas ražošana un atkritumu apsaimniekošana, uzsverot atjaunojamo energoresursu enerģijas integrācijas potenciālu lauksaimniecības darbībās. [15] pētīta lauksaimniecības blakusproduktu, piemēram, kultūraugu atlieku un agrorūpniecības atkritumu, izmantošana biobāzētu materiālu ražošanā. Pētījums parādīja biobāzētu materiālu potenciālu dažādiem lietojumiem, tostarp biodegvielu, fermentu, vitamīnu, antioksidantu, dzīvnieku barības un antibiotiku ražošanai, tādējādi veicinot aprites ekonomikas principus lauksaimniecībā. [16] pētīta no mikrobu inokulantiem iegūtu bioloģisko mēslošanas līdzekļu izmantošana lauksaimniecības praksē. Pētījumā analizēta bioloģisko mēslošanas līdzekļu spēja uzlabot barības vielu uzņemšanu, augsnes veselību un kultūraugu ražu, piedāvājot ilgtspējīgu alternatīvu ķīmiskajiem mēslošanas līdzekļiem.

Bioresursu materiāli sniedz ievērojamu pievienoto vērtību lauksaimniecībai, uzlabojot augsnes auglību, veicinot atkritumu apsaimniekošanu un atjaunojamās enerģijas ražošanu un sekmējot bioproduktu izstrādi. Tomēr joprojām pastāv tādas problēmas kā mērogojamība, tehnoloģiju ieviešana un iekļūšana tirgū. Turpmākajos pētījumos galvenā uzmanība būtu jāpievērš bioresursu izmantošanas ceļu optimizēšanai, tehnoloģiju efektivitātes uzlabošanai un ieinteresēto personu iesaistes veicināšanai, lai pilnībā realizētu bioresursu materiālu potenciālu lauksaimniecībā.

Lai sasniegtu ilgtspējīgu lauksaimniecību, ir vajadzīgi stratēģiski lēmumu pieņemšanas procesi, lai inovācijas un ieguldījumus virzītu uz videi draudzīgu, ekonomiski dzīvotspējīgu un sociāli taisnīgu praksi. Šis literatūras apskats iekļaujas sarežģītajā lēmumu pieņemšanas sistēmu ainavā, ko izmanto ilgtspējīgas lauksaimniecības kontekstā, pētot galvenos faktorus, problēmas un jaunās tendences.

Vairākos pētījumos aplūkoti lēmumu pieņemšanas procesi, kas saistīti ar inovācijām un ieguldījumiem ilgtspējīgā lauksaimniecībā. [17] uzsvērts, cik svarīga ir līdzdalības pieeja, kas iesaista ieinteresētās personas dažādos līmeņos, lai nodrošinātu ilgtspējīgas lauksaimniecības

prakses atbilstību un pieņemšanu. Pētījumā uzsvērta lauksaimnieku zināšanu, vietējā konteksta un sociālekonomisko faktoru nozīme lēmumu pieņemšanas procesu veidošanā.

Savukārt [18] uzsvērta, ka ir vajadzīgi holistiski novērtējumi, kuros ņemtas vērā vairākas ilgtspējas dimensijas, tostarp vides, ekonomiskie un sociālie aspekti. Autori iestājās par integrētām lēmumu pieņemšanas sistēmām, kurās prioritāte tiek piešķirta sinerģijai un kompromisiem starp dažādiem ilgtspējas mērķiem. [19] pētīta tehnoloģiju ieviešanas un inovācijas nozīme ilgtspējas pārkārtošanās veicināšanā lauksaimniecībā. Pētījumā uzsvērta riska pārvaldības stratēģiju, informācijas izplatīšanas un stimulēšanas mehānismu nozīme, lai veicinātu ilgtspējīgu tehnoloģiju ieviešanu. Politikas veidotājiem un ieinteresētajām personām par prioritāti ir jānosaka progresīvu tehnoloģiju ieviešana, lai veicinātu ilgtspējīgu lauksaimniecību, stiprinātu noturību un mazinātu siltumnīcefekta gāzu emisiju negatīvo ietekmi.

Savukārt [20] pētīta ilgtspējīgas lauksaimniecības lēmumu pieņemšanas ekonomika, uzsverot, cik sarežģīti ir līdzsvarot vides pārvaldību ar ekonomisko rentabilitāti. Matemātiskos modeļos balstītas lēmumu pieņemšanas integrēšana pašreizējā zemes izmantošanas plānošanā un lēmumu pieņemšanā par lauksaimniecību ievērojami uzlabos lauksaimnieciskās ražošanas efektivitāti un palīdzēs sasniegt mērķi palielināt rentabilitāti, saskaroties ar klimata pārmaiņām.

Lēmumu pieņemšanai par inovācijām un ieguldījumiem ilgtspējīgā lauksaimniecībā ir vajadzīga daudzpusēja pieeja, kas ietver ieinteresēto personu iesaistīšanos, holistiskus novērtējumus, tehnoloģiju pieņemšanu un ekonomiskos apsvērumus. Turpmākajiem pētījumiem vajadzētu būt vērīgiem uz lēmumu pieņemšanas atbalsta instrumentu izstrādi, ieinteresēto personu sadarbības veicināšanu un politikas satvaru uzlabošanu, lai paātrinātu pāreju uz ilgtspējīgām lauksaimniecības sistēmām.

Ilgspējīgi ieguldījumi ir svarīgi ne tikai videi, bet arī sociālekonomiskajai attīstībai. Ieguldījumi ilgtspējīgos projektos var radīt darbvietas, uzlabot iztikas līdzekļus un samazināt nabadzības līmeni. Ieguldot zaļajās tehnoloģijās, uzņēmumiem samazinās arī ražošanas izmaksas, vienlaikus samazinot savu vides pēdas nospiedumu [21]. Tas laika gaitā var izraisīt lielāku ekonomikas izaugsmi, kā arī uzlabot vietējo kopienu veselību un labklājību [22].

2. METODOLOĢIJA

Pareiza metodoloģija promocijas darbā ir būtiska, jo tā sniedz skaidru un detalizētu plānu par to, kā pētījums tika veikts, uzlabojot pētījuma atkārtojamību. Tas ļauj validēt rezultātus, jo citi var izmantot tās pašas procedūras, lai nonāktu pie līdzīgiem secinājumiem. Labi definēta metodoloģija palielina arī pētījuma ticamību, parādot, ka secinājumu pamatā nav spekulācijas, bet gan sistemātiska un stingra pētniecība. Visbeidzot, tas veicina pētniecības procesa pārredzamību, ļaujot recenzentiem un lasītājiem saprast un novērtēt pētījuma izstrādes un izpildes pamatotību.

2.1. Aptauja

3. publikācijā aprakstīta veiktā aptauja, lai noteiktu, kuri AER (atjaunojamie energoresursi) ir dzīvotspējīgākie, savstarpēji salīdzinot, un noteiktu AER ar vislielāko potenciālu Latvijas uzņēmumu vidū. Apsekojuma mērķgrupa ir apstrādes rūpniecības uzņēmumi. Aptauja tika sagatavota, izmantojot tiešsaistes programmatūru “Typeform”, un izsūtīta 2000 ražošanas uzņēmumiem, kas gadā patērē 500 MWh vai vairāk elektroenerģijas. Aptaujātie uzņēmumi pārstāv dažādas nozares.

Aptaujas galvenie jautājumi

1. Vai jūsu uzņēmumā tiek izmantotas atjaunojamās enerģijas tehnoloģijas?
2. Norādiet, kuri AER tiek izmantoti.
3. Kas ierobežo AER izmantošanu?
4. Kas veicinātu AER izmantošanu?
5. Kurām trim AER tehnoloģijām varētu būt vislielākais potenciāls jūsu uzņēmumā?
6. Kāds ir aptuvenais jūsu uzņēmuma mēneša elektroenerģijas patēriņš?
7. Vai enerģijas patēriņš ir viena no trim galvenajām izmaksu pozīcijām jūsu uzņēmumā?
8. Vai jūs interesē šīs aptaujas rezultāti un vairāk informācijas par AER tehnoloģijām?

Apkopojot 5. jautājuma rezultātus, lai ņemtu vērā, vai tehnoloģija ir norādīta kā pirmā, otrā vai trešā prioritāte, ir izvēlēti koeficienti, kas reizināti ar to respondentu skaitu, kuri ir norādījuši konkrēto AER tehnoloģiju attiecīgajā prioritātes līmenī. Pirmās prioritātes koeficients ir 3, otrās prioritātes – 2, trešās prioritātes – 1. Katras AER tehnoloģijas sastopamība aprēķināta, izmantojot 2.1. formulu.

$$R_{RES} = \frac{p_1 \cdot 3 + p_2 \cdot 2 + p_3 \cdot 1}{\sum_{n=1}^n p_1 \cdot 3 + p_2 \cdot 2 + p_3 \cdot 1} \cdot 100, \quad (2.1)$$

kur R_{RES} – specifiskas AER tehnoloģijas sastopamība respondentu vidū, %;

p_1, p_2, p_3 – respondentu skaits, kuri AER tehnoloģiju norādījuši attiecīgi kā pirmo prioritāti (p_1), otro prioritāti (p_2) un trešo prioritāti (p_3);

n – kopējo aplūkoto AER tehnoloģiju skaits.

Lai noteiktu optimālu termisko iepakojumu, tika izmantota vēl viena aptauja. Sākotnējie termiskā iepakojuma salīdzināšanas kritēriji tika noteikti atklātās intervijās ar farmācijas, smalko ķīmisko vielu un loģistikas jomā strādājošo uzņēmumu pārstāvjiem. Ļaujot pārstāvjiem atbildēt uz atklātajiem jautājumiem, piemēram, “Kā tiek izvēlēts termoiekājums?”, tika noskaidroti kritēriji un to rādītāji. Daudzos gadījumos kļuva skaidrs, ka rūpniecība katram kritērijam netiek izmantoti skaitliski rādītāji. Analizētajās ražojuma datu lapās bija informācija, kas balstīta veikspējā, piemēram, stundas, kas pavadītas temperatūrā zem +8 °C [23], [24], [25].

Tādi rādītāji kā siltumvadītspēja un blīvums tika atrasti zinātniskajā literatūrā par atbilstošiem materiāliem [26], [27], [28].

2.2. Pāra salīdzinājums

Pēc aptaujas 12 kritērijiem tika veikta savstarpēja (pāru) salīdzināšana. Cilvēkiem ir gandrīz neiespējami vienlaikus ievērot 12 kritēriju savstarpējās attiecības, tāpēc izvēlēta pāru analīzes metode. Izmantojot šo pieeju, ekspertiem tika lūgts salīdzināt tikai divus kritērijus vienlaikus, katrs eksperts kopā veica 66 salīdzinājumus. Salīdzinājums tika veikts mutiski, kā to ieteica Saaty *et al.* 2010 [29].

Tālākā pētījuma gaitā tika noteikts, vai viens kritērijs ir tikpat svarīgs kā otrs, mazāk svarīgs vai svarīgāks. Pēc verbālās salīdzināšanas katram salīdzinātajam pārim tika piešķirtas skaitliskās vērtības, izmantojot skalu no 1 līdz 9. Izvēlētajā skalā 9 apzīmēja ļoti lielu svarīgumu, 6 – spēcīgu līdz ļoti spēcīgu nozīmi, 3 – vidēju svarīgumu un 1 – vienādu svarīgumu [30].

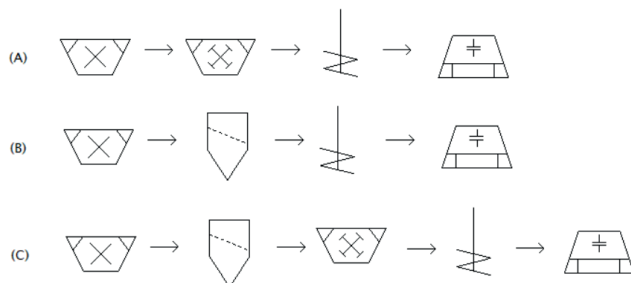
Kopumā tika izplatītas 10 anketas starp identificētajiem farmācijas un smalkās ķīmijas rūpniecības uzņēmumiem Latvijā, tostarp tādiem lieliem uzņēmumiem kā “Grindex” un “Olainfarm”. Tika sagaidīts, ka uzrunātos uzņēmumus spēcīgi ietekmēja globālā pandēmija, jo tikai pieci atbildēja un trīs atbilda jautājumu būtībai, jo uzņēmumi paši pieņēma lēmumus par temperatūras jutīgu produktu loģistiku, savukārt divi uzņēmumi šo pakalpojumu izmantoja ārpuspakalpojumā, tādēļ nebija piemēroti vairāku kritēriju analīzei un kritēriju salīdzināšanai. Izvēlētie uzņēmumi anketu uzticēja loģistikas komandas ekspertiem uzņēmumā.

Matemātiski visi izvēlētie kritēriji tiek attēloti matricā un, tos atrisinot, var atrast eigenvērtību. Šīs vērtības, sauktas arī par eigenvektoriem, atspoguļo katra kritērija nozīmi – augstāka vērtība nozīmē lielāku nozīmi gala lēmumā. Indikatīvās eigenvērtības tika aprēķinātas programmā *Microsoft Excel* [31] un izmantotas turpmākai analīzei. Tika izmantots konsistences sliekšnis 0,2, kā tas tika darīts iepriekš [32], kad tika aptaujātas vairākas ieinteresētās personas.

2.3. Eksperiments

Kā aprakstīts 6. publikācijā, lai izveidotu jaunu biomateriālu, tika veikts eksperiments, lai izgatavotu biobāzētu skaidu plātņi. Biomasu veidoja mežizstrādes atlikumi, kas galvenokārt iegūti no *Picea abies* un *Pinus sylvestris*, tostarp mazi zari un skujuas. Svarīgi atzīmēt, ka šķeldas sastāvs atšķirās atkarībā no tādiem faktoriem kā konkrētā atrašanās vieta, vides apstākļi šķeldošanas procesā un koksnes biomasas relatīvās proporcijas.

Pēc tam, kad mikroshēmas tika sasmalcinātas pēc pasūtījuma izgatavotajā horizontālās ass šķeldotājā, tās tika ievietotas “*Vibrotehnik PM-120*” laboratorijas izmēra āmuru dzirnavās ar integrētu metāla ekrānu. Sasmalcināto daļiņu sijāšana tika veikta, izmantojot *Retsch AS-400* sieta kratītāju un metāla sietus ar dažādiem acu atvēršanas izmēriem.



2.1. att. Darba plūsma daļiņu atdalīšanai.

Darba plūsma daļiņu atdalīšanai:

A) horizontālas divasu dzirnavas, kam seko āmuru dzirnavas, daļiņu sajaukšana ar saistvielu un presēšana;

B) horizontālas divasu dzirnavas, kam seko siets daļiņu atdalīšanai, sajaukšanai un presēšanai;

C) horizontālas divasu dzirnavas, kam seko siets daļiņu atdalīšanai, daļiņu > 1 mm frēzēšana ar āmuru dzirnavām, sajaukšana un presēšana.

Atdalīšanas pieeja ļāva novērtēt mizas un citu smalku daļiņu ietekmi uz plāksnes izturību. Lai noteiktu smalko mežizstrādes atlikumu daļiņu ietekmi uz plāksnes mehāniskajām īpašībām, tika izmantotas daļiņu frakcijas < 2,8 mm, 2,8–8 mm un 8,0–10,0 mm.

Katrs plāksnes sastāva un parametru komplekts tika atkārtots vismaz divas reizes un iegūtās plāksnes tika zāģētas trīs vienādās daļās *MoR* testēšanai un blīvuma aprēķiniem, kā rezultātā tika iegūti vismaz seši atkārtējumi.

2.4. Daudzkritēriju lēmumu analīze

Daudzkritēriju lēmumu analīze (*MCD*A) ietver šādus soļus: mērķa definēšana; alternatīvu definēšana; kritēriju izvēle; kritēriju svara noteikšana; alternatīvu novērtēšana. Ir vairākas *MCD*A variācijas.

Analītiskajā hierarhijas procesā (*AHP*) alternatīvai novērtēšanai tiek izmantoti četri galvenie kritēriji: tehniskie kritēriji; ekonomiskie kritēriji; vides kritēriji; sociālie kritēriji – tie ir kritēriji, kas raksturo lēmumu, kura pamatā ir ilgtspējīgas attīstības principi.

Pirmais solis kritēriju svaru aprēķināšanai ir pāra salīdzinājums. Deviņu veselu skaitļu vērtību skalu sākotnēji ierosināja *Saaty* [33].

Katrs kritērijs tiek salīdzināts ar visiem pārējiem kritērijiem, kas veido salīdzināšanas matricu. Lai noteiktu kritēriju rindas, nākamais solis ir eigenvektora problēmas risināšana. Nākamais solis ir katras matricas rindas eigenvektoru aprēķināšana – vērtības katrā rindā tiek summētas un dalītas ar kritēriju skaitu. Eigenvektori dod kritēriju rangū (svaru) [35].

TOPSIS

TOPSIS metodoloģija ir noderīga, jo tai nepieciešami tikai daži rādītāji, vienlaikus sniedzot salīdzināmus datus, lai izdarītu secinājumus. Ir tikai viens parametrs, kas ir subjektīvs – katra kritērija relatīvais svars.

TOPSIS metodoloģijas pamatpieņēmums ir šāds: vispiemērotākais risinājums ir tāds, kuram ir īsākais attālums līdz vēlamajam rezultātam un tālāka distance no rezultāta, no kura jāizvairās.

TOPSIS metodoloģija balstās piecos aprēķinu posmos. Pirmais posms ir datu kopas vākšana par katru scenāriju. Otrajā posmā tiek veikta rādītāju normalizācija. Nākamajā solī tiek svērtas normalizētās vērtības un aprēķināts to tuvums vēlamajiem un novēršamajiem rezultātiem. Pēdējais solis ir aprēķināt tuvumu pēc šo attālumu attiecības [36].

Soļu matemātiskais apraksts sniegts turpmāk. Pirmajā darbībā tiek apkopoti dati no n alternatīvas a ar izvēlēto m kritērijiem es lēmumu matricā X , kur $i = 1, \dots, m$ un $a = 1, \dots, n$. Dati tiek normalizēti, lai dažādas izmantotās vienības būtu salīdzināmas. Izplatīšanas normalizācijā, kas izmantota promocijas darbā, tiek izmantota 2.2. formula [36].

$$r_{ia} = \frac{x_{ia}}{\sqrt{\sum_{a=1}^n x_{ia}^2}} \text{ priekš } a = 1, \dots, n \text{ un } i = 1, \dots, m \quad (2.2)$$

Otrajā posmā tiek ņemts vērā katra kritērija svars, izmantojot 2.3. formulu.

$$V_{ai} = w_i \cdot r_{ai} \quad (2.3)$$

Nākamajā solī, lai salīdzinātu katru darbību ar ideālu (zenītu) un antiideālu (vai zemāku vai negatīvu ideālu) virtuālo darbību, tiks izmantoti iepriekšējā soļa rezultāti. Lai veiktu salīdzināšanu, zenīta un zemākā varianta opcijām tiek izmantota 2.4. un 2.5. formula (Ishizaka, 2013).

$$A^+ = (v_1^+, \dots, v_m^+) \quad (2.4)$$

$$A^- = (v_1^-, \dots, v_m^-) \quad (2.5)$$

No rezultātiem v_i^+ ir $\max_a(v_{ai})$, ja kritērijs i ir maksimizējams, un v_i^- ir $\min_a(v_{ai})$, ja kritērijs i ir jāsamazina līdz minimumam.

Aprēķinu veicējam ir jānosaka, kuri ir ar pozitīvu vērtību un kuri – ar negatīvu vērtību.

Ceturtajā solī tiek aprēķināts attālums līdz vēlamajam rezultātam, izmantojot 2.6. formulu.

$$d_a^+ = \sqrt{\sum_i (v_i^* - v_{ai})^2}, a = 1, \dots, m \quad (2.6)$$

Visbeidzot, izmantojot 2.7. formulu, tiek aprēķināts relatīvā tuvuma koeficients.

$$C_a = \frac{d_a^-}{d_a^+ + d_a^-} \quad (2.7)$$

Iegūtie rezultāti parāda vēlamāko scenāriju ar skaitliski vēlamu sarakstu.

TOPSIS analīze ir izmantota 2. publikācijā dažādu enerģijas ražošanas tehnoloģiju novērtēšanai [37].

TOPSIS analīzes mērķis 2. publikācijā ir salīdzināt AER tehnoloģijas, lai atrastu tehnoloģiju, kas vislabāk darbojas noteikto kritēriju ziņā. Novērtēšanai tika izvēlētas sešas alternatīvas: biomasas tehnoloģijas; saules fotoelementu paneli; saules siltumenerģijas tehnoloģijas; tehnoloģijas, kurās kā enerģijas avots tiek izmantota atjaunojamā atkritumu daļa, vēja tehnoloģijas un ģeotermālās tehnoloģijas.

Tehnoloģijas tika novērtētas, pamatojoties uz četriem kritērijiem – tehnisko, ekonomisko, sociālo un vides. Tehniskais aspekts ietver tehnoloģiskās attīstības līmeni, kas pazīstams arī kā tehnoloģiju briedums, kas raksturo, cik progresīva ir tehnoloģija, t. i., vai ir potenciāls efektivitātes pieaugumam vai arī teorētiskais maksimālais tehnoloģiskās produktivitātes līmenis jau ir sasniegts [38].

Tehniskais aspekts ietver arī inovāciju iespējamību, procesu efektivitāti un enerģijas kvalitāti, kas bieži tiek izteikta kā uzticamība, kas raksturo tehnoloģijas spēju strādāt nepārtraukti un neatkarīgi – bez neparedzētiem bojājumiem, pārtraukumiem un papildu uzraudzības. Uzticamība ir viens no visbiežāk izmantotajiem kritērijiem daudzkritēriju analīzē, un tas vienmēr ir bijis aktuāls jautājums enerģētikas nozarē [39].

Pirmais solis, izmantojot *TOPSIS* metodi, ir lēmumu matricas normalizācija, kam seko normalizētas lēmumu matricas aprēķināšana un labākā un sliktākā risinājuma noteikšana. Labākais risinājums atbilst teorētiskajam variantam par katra kritērija vēlamāko līmeni, savukārt sliktākais risinājums atbilst teorētiskajam variantam par katra kritērija vismazāk vēlamāko līmeni [40].

Pēc tam tiek aprēķināts katras alternatīvas attālums no labākā un sliktākā risinājuma, lai iegūtu tuvuma koeficientu, ko izmanto alternatīvu ranžēšanai.

2.5. Kognitīvās kartēšanas pieeja

Sistēmas dinamika ir datorizēta pieeja, lai izprastu sarežģītu sistēmu, piemēram, pilsētu, klimata un ekosistēmu, darbību un uzvedību politikas analīzei un attīstībai, ko sākotnēji izstrādāja *Jay W. Forester*. Sistēmas dinamika ir saistīta ar to, kā lietas mainās laika gaitā [41].

Kvalitatīvo sistēmu analīze jeb kvalitatīvā modelēšana arvien vairāk tiek izmantota, lai analizētu komplekso sistēmu dinamiku. *Kosko* [42] ieviesa kognitīvās kartēšanas pieeju (*FCM*) kā instrumentu dinamiskai kvalitatīvai sistēmas uzvedības uztverei un izskaidrošanai. *FCM* arvien vairāk tiek izmantota, lai modelētu un analizētu kvalitatīvo sistēmu uzvedību. Pēdējo 30 gadu laikā *FCM* pieeja ir kļuvusi arvien populārāka dizaina vienkāršības un zemo skaitļošanas prasību dēļ.

Kopumā tiek uzskatīts, ka *FCM* ir vairākas priekšrocības, salīdzinot ar tradicionālajām kvantitatīvās modelēšanas pieejām. *FCM* priekšrocības ietver, piemēram, spēju modelēt datus ierobežotā vidē, izmantojot dabisko valodu, paužot zināšanas, uztveri, pieredzi vai uzskatus, kā tos formulējis eksperts vai ieinteresētā persona, ko parasti raksturo neskaidra informācija.

FCM ietver jēdzienus (lingvistiskos terminus), ko izsaka mezgli. Virzītas bultiņas ar svariem izskaidro attiecības starp jēdzieniem. Šie svāri apraksta cēloņsakarības stiprumu ar $\{-1,0\}$ un $\{0,1\}$, kas attiecīgi apzīmē cēloņsakarības samazināšanos un palielināšanos. Konceptijas un to savstarpīgumu attēlo mezgli un virzītas bultiņas ar to svāriem izskaidro konkrētas sistēmas izkārtojumu. Tas ir attēlots matricā, kas ļauj veikt standarta algebriskas darbības, lai atrastu attiecības starp mezgliem. *Kosko* ieviestie *FCM* tiek simulēti, izmantojot matemātisku formulu, kas izteikta ar 2.8. vienādojumu.

$$C_j(t + 1) = f\left(\sum_{i \neq j}^n w_{ij} \cdot C_i(t)\right), \quad (2.8)$$

kur n – jēdzienu skaits; $C_j(t + 1)$ – jēdziena vērtība nākamajā iterācijā; $C_i(t)$ – jēdziena vērtība iterācijas laikā t ; w_{ij} – cēloņa un seku savstarpējības virsotne. Tad tas tiek kartēts uz iepriekš noteiktu vidi diskursā, izmantojot transformācijas funkcijas. Pēc tam diskursā tas tiek kartēts uz iepriekš noteiktu vidi, izmantojot transformācijas funkcijas, visizplatītākie ir sigmoidālās un hiperboliskās transformācijas funkcijas FCM sasniegumi saistībā ar modelēšanu un simulāciju.

Ideālā gadījumā, modelējot sarežģītu kvalitatīvu SD, tai vajadzētu būt FCM un jāspēj uztvert un modelēt cēloņsakarību dinamiku, kā uzskata eksperti.

Pētījumā tika izmantota FCM modelēšanas metode, lai salīdzinātu dažādas ražošanas procesu metodes un saprastu, kuras no tām vislabāk atbilst ilgtspējas kritērijiem, un lai noteiktu iespējamās šķēršļus ticamu un objektīvu rezultātu iegūšanai, izmantojot FCM metodi, un noteiktu, vai šāda veida integrētās analīzes izmantošana ir piemērota, lai salīdzinātu dažādas ražošanas procesa alternatīvas, kas tika aplūkotas pētījumā. FCM modelēšanai ir nepieciešams secīgs darbību kopums, kas nodrošinās, ka pētniecības mērķis tiek sasniegts pārredzamā un saprotamā veidā, lai analizētu 16 ražošanas procesus.

Lai salīdzinātu visus aprakstītos ražošanas procesus, ir jānosaka svarīgākie kritēriji. Vērtējot prioritāros kritērijus, tika izvēlēti šādi:

- 1) vides aspekti;
- 2) tehnoloģiskie aspekti;
- 3) ekonomiskie aspekti;
- 4) sociālie aspekti.



2.2. att. Vērtēšanas kritēriju aspekti.

Ņemot vērā informācijas pieejamības ierobežojumus, modelēšanai izvēlēti ilgtspējas un lietderības rādītāji no bioekonomikas viedokļa.

Visi izvēlētie kritēriji un apakškritēriji ir kvalitatīvi, tāpēc tiem jāpiešķir skaitliskas vērtības, pamatojoties uz pētījumā veikto ražošanas procesu analīzi.

Katrs apakškritērijs tiks novērtēts ar vērtību no -1 līdz 1 , kur spēcīgākā saikne tiks apzīmēta ar 1 , un tas apzīmēs labāko, spēcīgāko iespējamo saikni no bioekonomikas un lietderības viedokļa. Apakškritērijā iegūtā reitinga saite ir salīdzināma ar augstāko īstenošanas efektivitāti.

Savukārt zemākais vērtējums –1 norāda vājāko posmu vai izriet no bioekonomikas un lietderības viedokļa.

2.6. Dzīves cikla novērtējums

Pētījuma laikā tika analizēti faktiskie reālās dzīves piemēri un modeļi, izmantojot dzīves cikla novērtēšanas (*LCA*) metodoloģiju, tostarp sistēmu pamata metriku, un rezultātu apvienošanas iespējas.

Lai pierādītu hipotēzi un noteiktu galvenos principus, tiks izmantota dzīves cikla novērtēšanas (*LCA*) pieeja. Metodoloģijas pamati meklējami pagājušā gadsimta 80. gados. Šīs metodikas vispārējie principi un struktūra tika noteikta *ISO 14040* standartā 1997. gadā. Tomēr pastāv arī citas *ACN* prakses, piemēram, *CML*, *EDIP97* un *ILCD* Eiropas Savienības (ES) Komisijas vadlīnijas.

ACN satvaram ir četras atšķirīgas daļas: mērķa un darbības jomas definēšana; inventarizācijas analīze; ietekmes novērtējums; datu interpretācija.

Pētījums tiek veikts, nosakot un definējot procesa plūsmu noteiktajās sistēmas robežās, izstrādājot datu vākšanas metodiku, apkopojot attiecīgos datus un ziņojot par pētījuma rezultātiem. Aprites cikla inventarizācija ir šīs fāzes rezultāts.

2.3. tabula

Funkcionālās vienības kultivēšanas inventarizācija

Materiāli un darbība	Vienība	Daudzums	Dīzeldegviela, kg	Ūdens, kWh	Kopējais daudz. 31. gadā	uz 1000 kg saldētu ogu
Lauka sagatavošana – 0 gads						
Zemes izmantošana	m ²	10000			10000,00	3377,24
Aršana	kopa	1	24,9		24,90	8,41
Diskošana	kopa	1	6,225		6,23	2,10
Ecēšana	kopa	1	7,055		7,06	2,38
Zaļmēslojuma sēšana	kopa	1	6,64		6,64	2,242
Zaļmēslojuma iestrāde	kopa	1	7,055		7,06	2,383
Lauku izveide – no pirmā līdz trešajam gadam						
NPK 15:8:15	kopa	1	70			
N			10,5		31,50	10,638
P			5,6		16,80	5,674
K			10,5		31,50	10,638
Mēslojums – amonija nitrāts	kopa	1	20		60,00	20,263
Apūdeņošanas enerģija	kopa	5		1,5	22,50	7,599
Apūdeņošanas ūdens	kopa	5		6250	93750,00	31661,60
Rindstarpu plaušana	kopa	2	6,225		37,35	12,61
Ģeotekstils	m ²	2500			2500,00	844,309
Apūdeņošanas sistēma (caurules, PVC, d16)	m	2500			2500,00	844,309
Uzturēšana – no ceturtā līdz 30. gadam						
NPK 8:11:23	kopa	1	250			

	N		20	540,00	182,371
	P		27,5	742,50	250,760
	K		57,5	1552,50	524,316
	amonija nitrāts	kopa	1	20	540,00
	Rindstarpu pļaušana	kopa	2	6,225	336,15
	Apūdeņošanas enerģija	kopa	5	1,5	202,50
	Apūdeņošanas ūdens	kopa	5	6250	843750,00
	Ražas novākšana – no ceturtā līdz 30. gadam				
	Traktors	kopa	1	12,45	336,15
					3,66

Ietekmes novērtējumā tiek novērtēta produktu sistēmas ietekme uz vidi, izmantojot vides zinātnes modeļus. *LCA* izmantošana ir būtiska, lai novērtētu vispārējo ietekmi, izvairoties no vides ietekmju pārnese, un energoefektivitātes pasākumu ietekmi visā aukstajā piegādes ķēdē.

LCA modeļa ģenerēšanai un ietekmes novērtējuma aprēķinu veikšanai tika izmantota *Pré Consultants* un *EcoInvent v.3.5 LCA* programmatūra *SimaPro 9.0*. *SimaPro* ir pasaulē vadošā *LCA* programmatūras pakotne ar 30 gadu pieredzi un vēsturi. To galvenokārt izmanto rūpniecība, kā arī akadēmiskajā vidē vairāk nekā 80 valstīs.

2.7. Dzīves cikla izmaksu analīze

Aprites cikla izmaksu analīzes (*LCCA*) koncepcija tiek plaši izmantota, lai analizētu un novērtētu dažādas projektu alternatīvas. *LCC* galvenais uzdevums ir noskaidrot projekta rentabilitāti tā darbības laikā, sākot ar projekta aktīvu ieguvu un beidzot ar to utilizāciju. *LCC* tiek izmantots kā instruments, lai atbalstītu lēmumu pieņemšanas procesu. Dzīves cikla izmaksu pieeja radās 1965. gadā ASV, kad ASV Loģistikas vadības institūts izmantoja dzīves cikla izmaksu nosaukumu, cenšoties panākt zemākas izmaksas militārajā loģistikā kopējās ekonomiskās stagnācijas laikā [43].

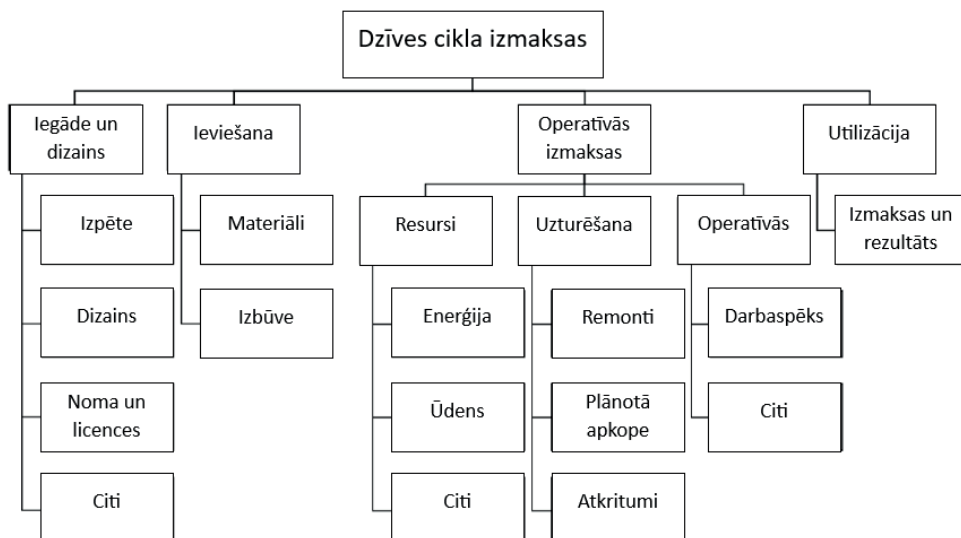
Mūsdienās literatūrā un publikācijās par *LCC* ir daudz šīs pieejas lietošanas piemēru dažādos investīciju aspektos, sākot ar būvniecības projektiem un beidzot ar investīciju analīzi vides aktivitātēs [44].

Turklāt *LCC* tiek akceptēts arī Eiropas Savienības (ES) likumdošanā, piemēram, publiskajos iepirkumos saskaņā ar ES tiesībām. Direktīva 2014/24/ES veicina aprites cikla izmaksu pieejas izmantošanu publiskajā iepirkumā, lai noteiktu saimnieciski visizdevīgāko piedāvājumu nolūkā atbalstīt ilgtspējīgu izaugsmi. Aprites cikla izmaksu analīzes pieeja tiek plaši izmantota daudzu priekšrocību dēļ, vienlaikus ietverot dažus trūkumus vai ierobežojumus.

LCC ir balstīta tikai izmaksu efektivitātes pieejā un datos, tāpēc tai ir nepieciešama detalizēta pētāmā projekta kopējo izmaksu un ieguvumu aplēse vai inventarizācija. Jebkuram projektam ir mainīgas izmaksu pozīcijas. Kopumā jebkuram projektam ir četras dzīves cikla fāzes (2.3. att.).

Saskaņā ar teoriju pirmais ir attīstības posms, kas ietver visas izmaksas, kas saistītas ar pētniecību, plānošanu, īpašuma iegūšanu un dizainu. Otrais ir būvniecības posms, kas ietver

visas izmaksas, kas saistītas ar objektu izveidi. Nākamais ir darbības posms, kurā jānosaka ekspluatācijas, apkopes un remonta izmaksas.



2.3. att. Projekta kopējā dzīves cikla izmaksu struktūra [45].

Pēdējais posms ietver visas izmaksas, kas saistītas ar projekta uzturēšanas izmaksām, kas var būt pozitīvas vai negatīvas vērtības. *LCC* inventarizācija jāveic par investīciju izmaksām, gan sākotnējām, gan kapitāla nomaņas, ekspluatācijas, uzturēšanas un remonta izmaksām, kā arī atlikušajām izmaksām.

LCC pamatlīkums ir neto pašreizējā vērtība (NPV). NPV metode ir kopējo ienākumu pašreizējā vērtība, ko projekts rada tā paredzamajā dzīves ciklā. Būtībā tas ir visu projekta ienākumu un izdevumu pašreizējās vērtības salīdzinājums.

NPV metode ir balstīta naudas plūsmas diskontēšanā. Diskonta likme ir “procentu likme, kas atspoguļo ieguldītāja naudas vērtību laikā (vai alternatīvās izmaksas), ko izmanto diskonta formulā vai diskonta faktoru atlasē,” [46].

NPV aprēķinā katrs naudas plūsmas elements tiek diskontēts, pamatojoties uz kapitāla izmaksām konkrētajā projektā. Diskontētās naudas plūsmas elementi tiek apkopoti tā, lai tos varētu aprēķināt, un veiksmīgam projektam NPV ir jābūt lielākam par nulli. Pēc tam NPV tiek salīdzināts ar alternatīvu projektu.

Diskonta likme tiek izmantota 2.9. formulā, lai izteiktu diskonta koeficientu, kas savukārt tiek izmantots kā diskontēšanas reizinātājs.

$$DF = \frac{1}{(1+r)^n}, \quad (2.9)$$

kur *DF* – diskonta koeficients; *r* – diskonta likme; *n* – turpmāko gadu skaits.

Diskonta koeficients ir multiplikatīva vērtība, ko izmanto, lai pārvērstu naudas plūsmu (ienākošā plūsma mīnus izejošā naudas plūsma) salīdzināmās vērtībās izvēlētajā laika brīdī [46].

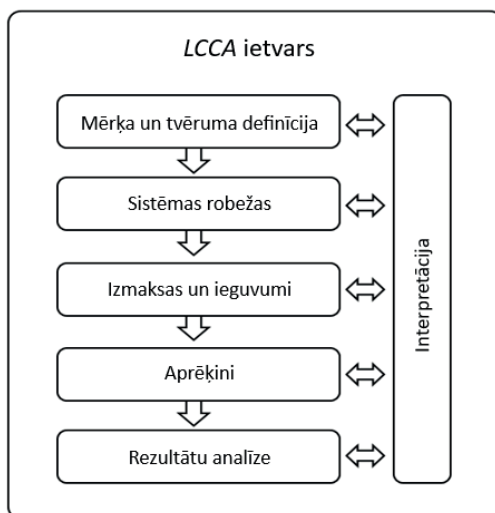
Praksē parasti tiek pieņemts, ka diskonta likme laika gaitā ir nemainīga ($r_1 = r_2 = r_n$). Ar laika invariantu diskonta likmi NPV vērtību naudas plūsmām (ieskaitot sākotnējos ieguldījumus) var iegūt, izmantojot vispārējo 2.10. formulu.

$$NPV = -K + \frac{CF_1}{(1+r)} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \frac{CF_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n}, \quad (2.10)$$

kur NPV – neto pašreizējā vērtība; K – sākotnējais ieguldījums bāzes gadā; r – diskonta likme; CF – naudas plūsma; n – turpmāko gadu skaits.

Naudas plūsmas diskontēšanu parasti veic “nemainīgu dolāru” vai nemainīgas naudas vērtības izteiksmē [46].

Aprites cikla izmaksu noteikšana (LCC) ir ekonomiskā analīze, un tā tiek uzskatīta par $LCCA$ pamatelementu. [43] definē aprites cikla izmaksu pieeju kā “ekonomiskās analīzes procesu, lai novērtētu produkta, pakalpojuma vai sistēmas aprites cikla izmaksas tā piedāvātajā kalpošanas laikā vai tā daļā”, vienlaikus ņemot vērā dažādas alternatīvas un naudas vērtību laikā, lai izvēlētos visrentablāko projekta risinājumu (2.4. att.).



2.4. att. $LCCA$ ietvars [46].

Lai varētu apvienot gan LCA , gan LCC , jāņem vērā daži būtiski aspekti. Vissarežģītākais ir noteikt sistēmas robežas, lai abas sistēmas varētu savstarpēji salīdzināt. Tas ir saistīts ar to, ka LCA savās izmaksās neņem vērā, piemēram, darbaspēka intensitāti un aktivitātes, tomēr tas ir svarīgi kopējā projekta izmaksu pusē, un to analizē LCC . Darbaspēka izmaksu izmaiņas skaidrojamas ar to, ka LCC ietekmē tādas vērtības kā peļņa, radītā darba izmaksas u. c., kas neietekmē LCA modeli. Kombinējot LCA un LCC , ieteicams izmantot vienu un to pašu funkcionālo vienību, kā arī vienas un tās pašas sistēmas robežas.

Aprite cikla izmaksu inventarizācija

Iegādes			
Aizaugusi zeme	20000	pirkuma cena 2000 EUR/ha	
Būve			
Stādi	12500	1250 EUR/ha, divus gadus veci, četras šķirnes, iegūts no spraudņiem	
Darba alga	2000	algas strādniekiem, kuri stāda stādus	
Ģeotekstils	8000	800 EUR/ha, 110 g/m ² , 105 cm platums, ruļļos	
Apūdeņošanas sistēma	15000	1500 EUR/ha, piegāde un montāža iekļauta	
Zemes uzlabošana	1500	Pakalpojumi zemes uzlabošanai	
Ekspluatācija un apkope			
Darba alga	5000	sezonas strādniekiem, kuri novāc ogas	
Ilgadējais parāda maksājums	1536	fiksētas kopējās izmaksas par bankas aizdevumu	
Izejvielu transportēšana	500	sezonas kopā desmit dienu īrei, 50 EUR/diennaktī	
Apstrādes	2000	kopā saldēšanai, tīrīšanai un iepakojšanai	
Aukstā uzglabāšana	816	12 EUR/t mēnesī	
Aukstā loģistika	1300	sezonas kopā par divdesmit dienu īri, 65 EUR/diennaktī	
Degviela	500	degviela traktoriem un īrētiem transportlīdzekļiem	
Mēslošanas līdzekļi	2430	mēslošanas līdzekļi augiem saskaņā ar grafiku	
Darbības izmaksas	1000	dažādas izmaksas, tostarp grāmatvedība, banku nodevas, elektrība u. c.	

Savukārt katra atsevišķa modeļa sistēmas robežas var radīt dažas atšķirības, attiecīgi veicot analīzi [47].

Saskaņā ar [47], tiek ierosināts definēt izslēgšanas pieņēmumus abām sistēmām, lai tos pareizi risinātu, vienlaikus definējot mērķus un darbības jomu.

Piemērojot *LCA* un *LCC* metodoloģiju, tika iegūti dažādi rādītāji. Lai tos pareizi novērtētu, ir jāizmanto daudzkritēriju analīze. Pētniecības nolūkos tika izmantota *TOPSIS* metodoloģija.

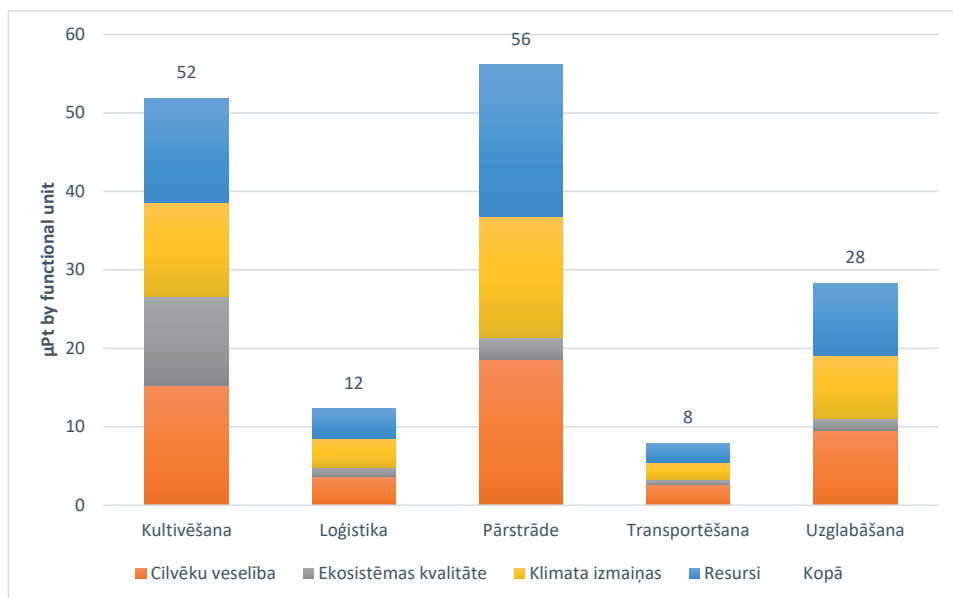
3. REZULTĀTI

Pētījuma priekšmetam ir daudz līmeņu, kas atšķiras pēc darbības jomas un pieejas. Pētījuma laikā analīzei tika izvēlētas vairākas specifiskas produktu ilgspējas dimensijas.

3.1. Loģistika un apstrāde

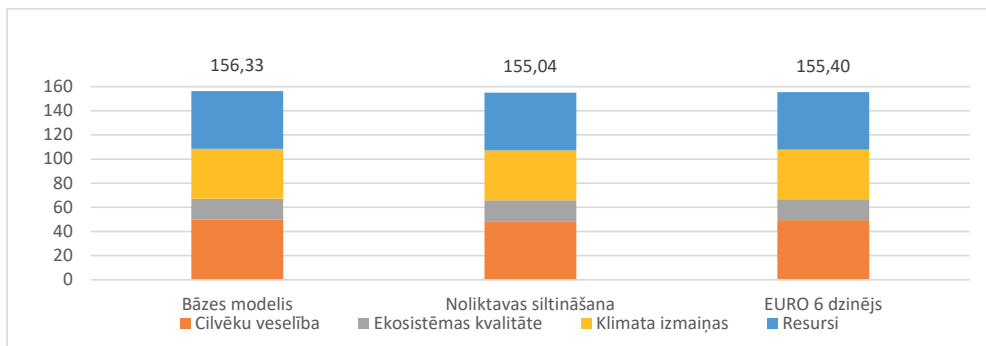
Mūsdienu ekonomiku nevar iedomāties bez loģistikas, un tā ietekmē visus uzņēmējdarbības līmeņus. Pētījuma laikā aukstās piegādes ķēdes loģistika tika analizēta no loģistikas ietekmes viedokļa uz visu ķēdi, izmantojot *LCA* (1. publikācija).

1. publikācijā, lai veiktu loģistikas analīzi gadījuma izpētē – smiltsērķšķu piegādes ķēdē, tika savākti visi attiecīgie dati un izveidots ACN modelis. Galvenie bāzes scenārija vides ietekmju veidojošie faktori redzami 3.1. attēlā.



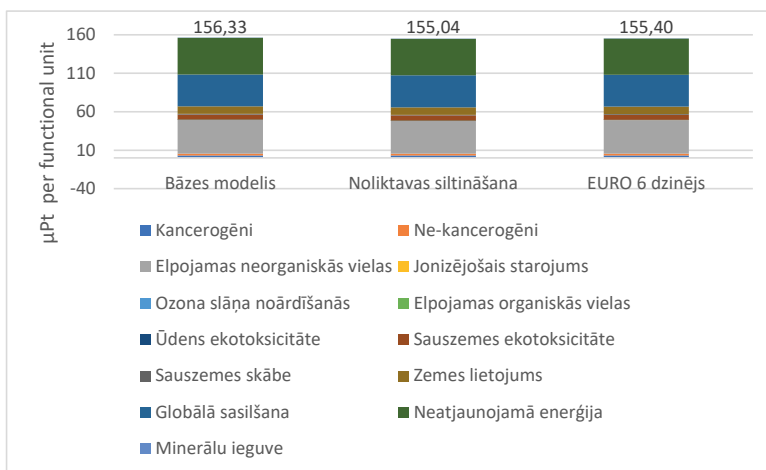
3.1. att. Bāzes scenārija ietekmes apkopojums, kas veikts ar *SimaPro*.

Galvenā ietekme, kā redzams, ir apstrādei. Loģistika un transports rada mazāku ietekmi nekā audzēšana un uzglabāšana, pateicoties diezgan īsajam piegādes attālumam un energoietilpīgai pārstrādei. Pētījuma laikā tika salīdzinātas bāzes modeļa energoefektivitātes paaugstināšanas iespējas – noliktavas izolācija un transportlīdzekļa dzinēja maiņa no 4 EUR uz 6 EUR standartu bez citām izmaiņām inventārā. Simulāciju rezultāti liecina, ka kopējā ietekme uz vidi uz vienu funkcionālo vienību ir mazāk nekā 1 %.



3.2. att. Scenāriju salīdzinājums, kopējie mērķa kritēriji.

Attiecīgi viduspunkta analīze arī parāda, ka atšķirības katrā simulācijas rezultātā ir nelielas. Tomēr jāņem vērā, ka katram modeļa apakšprocesam atšķirības var sasniegt lielākus apmērus (3.3. att.).



3.3. att. Trīs scenāriju viduspunkta analīze.

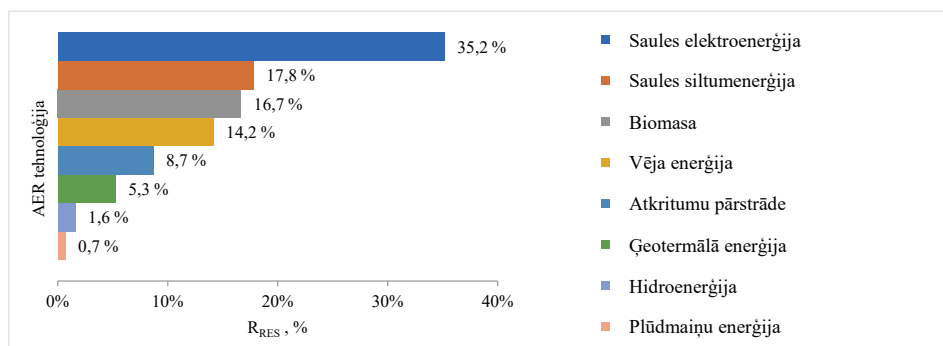
Viduspunkta analīze ļauj redzēt galvenās ietekmes uz vidi kategorijas modelētajai situācijai.

3.2. Atjaunojamie enerģijas avoti

2. publikācijā atjaunojamo energoresursu (AER) tehnoloģijas tiek novērtētas, lietojot AHP un TOPSIS metožu kombināciju, izmantojot tehniskos, ekonomiskos, vides un sociālos kritērijus. Lai norādītu uzņēmumu vajadzības, potenciālos šķēršļus un pozīciju atjaunojamās enerģijas jomā, tika veikts uzņēmumu anketēšana. 146 uzņēmumu anketēšanas rezultāti tika apkopoti un analizēti tikai apkopotā veidā.

Apkopotie rezultāti liecina, ka saskaņā ar respondentu atbildēm trīs galvenās AER tehnoloģijas, kurām viņi saskata vislielāko potenciālu uzņēmumos, ir saules enerģija

elektroenerģijai, saules enerģija siltumenerģijai un biomasas tehnoloģijas. 3.4. attēlā redzama visu AER tehnoloģiju klasifikācija.



3.4. att. AER tehnoloģiju ranžēšana pēc uzņēmumu interviju rezultātiem.

Pēc autoru domām, rezultāts, kas šīs trīs tehnoloģijas ierindo kā tehnoloģijas ar vislielāko potenciālu, ņemot vērā uzņēmumus, var būt saistīts ar labāku izpratni par tehnoloģijām.

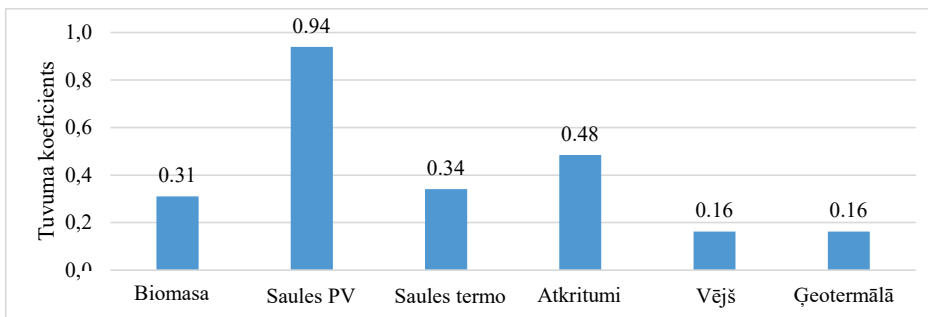
TOPSIS analizē tika novērtētas sešas AER tehnoloģijas, izmantojot skalu no 2 līdz 5, kur 2 atbilst zemākajam vērtējumam, 5 – augstākajam atjaunīgās enerģijas izmantošanas rezultātam un potenciālam rūpniecības uzņēmumos. 3.1. tabulā apkopotas vērtēšanas vērtības lēmumu pieņemšanas matricā.

3.1. tabula

TOPSIS lēmumu pieņemšanas matrica

AER tehnoloģija	Aspekts			
	Tehnisks	Ekonomisks	Sociāls	Vides
Biomasas	4	3	4	5
Saules fotoelementu paneļi	5	4	5	4
Saules siltumenerģija	4	3	5	4
Atkritumi	3	4	4	4
Vējš	3	3	5	4
Ģeotermālā	3	3	4	4

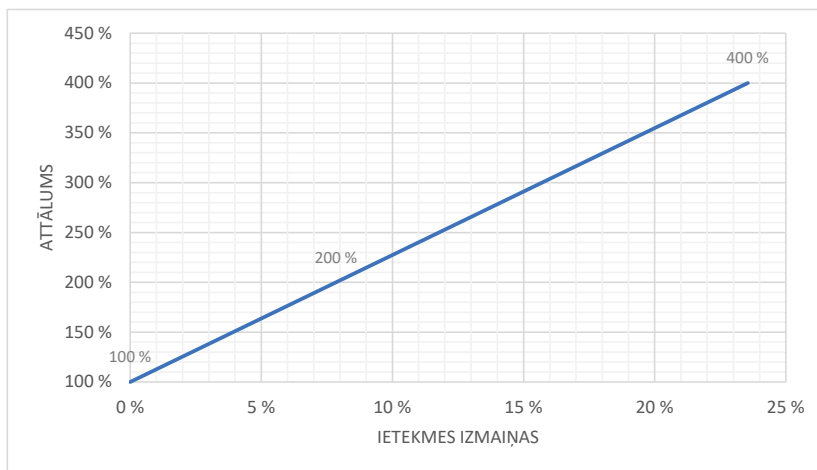
TOPSIS analīzes rezultāts – 3.5. attēlā.



3.5. att. TOPSIS analīzes rezultāti – AER tehnoloģiju reitings.

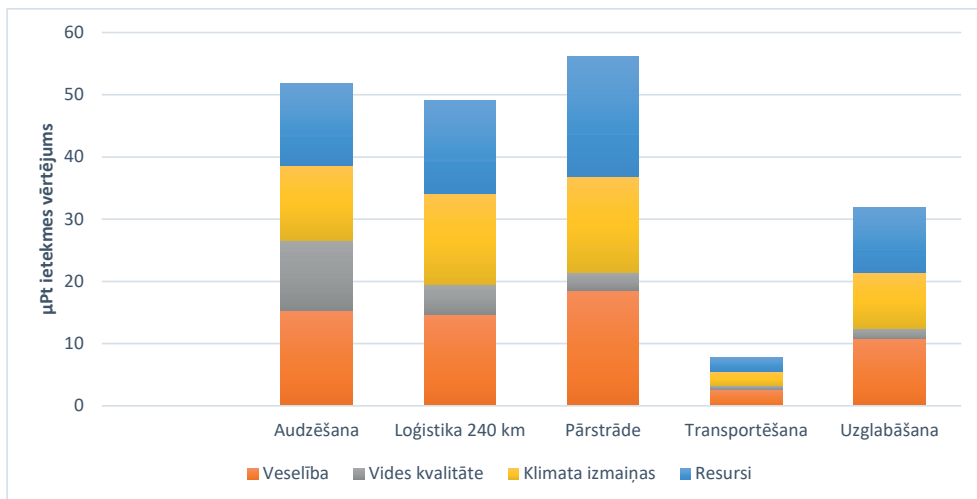
3.3. Siltumnīcefekta gāzu emisijas

Pētot auksto piegādes ķēdi (1. publikācija), tika analizēta dažādu piegādes ķēdes garumu ietekme uz vidi. Tika izmantots sākuma modelis ar diezgan īsu aukstās piegādes ķēdi – tikai 60 km. Pētniecības nolūkos tika analizēts attālums 120 km un 240 km. Latvijā distancas tiek izmantotas praktiski, un tās ir, piemēram, piegāde no Rīgas uz Liepāju. Tika veikta ietekmes analīze un tās saistība ar attālumu. Kā redzams 3.6. attēlā, saistība ir lineāra. Attēlā starta punkts ir bāzes modelis, jo tika pieņemts lēmums neanalizēt sistēmu ar īsāku ceļu par 60 km.



3.6. att. Ietekmes un attāluma korelācija.

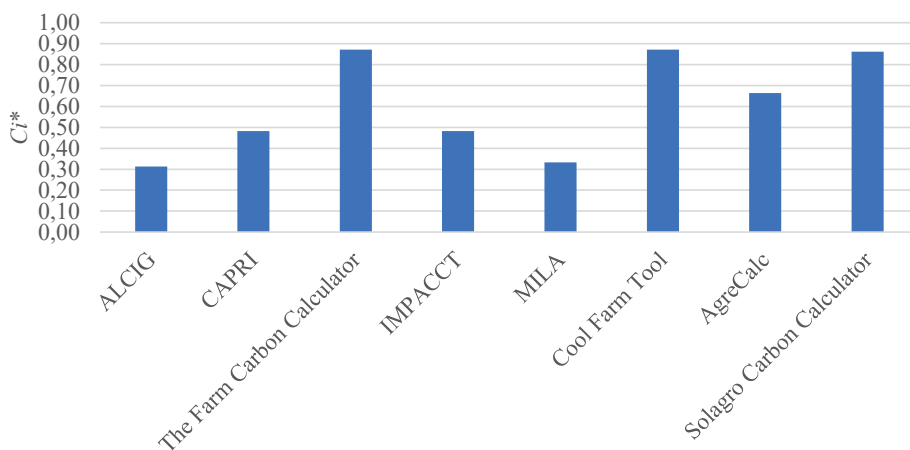
3.6. attēls ļauj arī izprast attāluma ietekmes dinamiku starptautiskajai aukstajai piegādēs ķēdei. Pat ES iekšienē, kur attālumi nav tik lieli, salīdzinot ar pasauli, pāris tūkstošu kilometru piegāde ievērojami palielina aukstās piegādes ķēdes lomu. Kā redzams 3.7. attēlā, pat 240 km attālumā transportēšanai ir būtiska ietekme aukstajās piegādes ķēdēs.



3.7. att. Ietekmju agregācija 240 km aukstajai piegādes ķēdei.

Pētījuma laikā (5. publikācija) tika veikts sistemātisks pārskats un bibliogrāfiskā analīze, kā arī tika pētīti dažādi lēmumu atbalsta rīki, tostarp kalkulatori, ko izmanto lauksaimniecības nozares ietekmes novērtējumam. Nepieciešamība piekļūt lauksaimniecības prakses un pakalpojumu ietekmei uz vidi un uzraudzīt to ir rezultējies daudzu SEG kalkulatoru izstrādē.

TOPSIS analīzes rezultāti ļāva noteikt trīs ieteicamākos lēmumu pieņemšanas instrumentus, ko izmantot dārzkopības lauksaimniekiem. *TOPSIS* analīzes rezultāti – 3.8. attēlā.



3.8. att. SEG emisiju kalkulatoru vērtējumu salīdzinājums.

Rezultāti liecina, ka *Solagro* oglekļa kalkulatoram, saimniecības oglekļa kalkulatoram un *Cool Farm* ir augstāks vērtējums un tie vispirms tiek ieteikti kā SEG kalkulatori lauksaimniekiem.

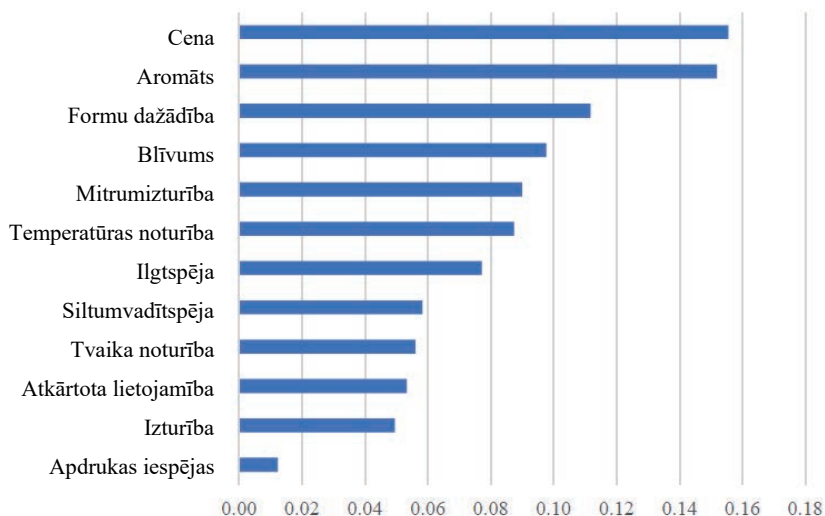
3.4. Materiāli un pievienotā vērtība

3. publikācijā tiek analizēts biobāzēts termiskais iepakojums. Lai risinātu vides jautājumus saistībā ar auksto piegādes ķēdi un loģistiku kopumā, ir ieviesta zaļās loģistikas pieeja. Zaļā loģistika mazina preču pārvadājumu negatīvos aspektus, piemēram, troksni, gaisa piesārņojumu, siltumnīcefekta gāzu emisijas, negadījumus, kas izraisa produkcijas bojājumus, utt. [48].

Daudzos uzņēmumos temperatūrijutīgu produktu transportēšana ir nepieciešama tik reti, ka tai tiek izmantots ārpakalpojums, atstājot lēmumu pieņemšanu par iepakojumu, transportlīdzekļiem un pārējo loģistiku cita uzņēmuma rokās [49].

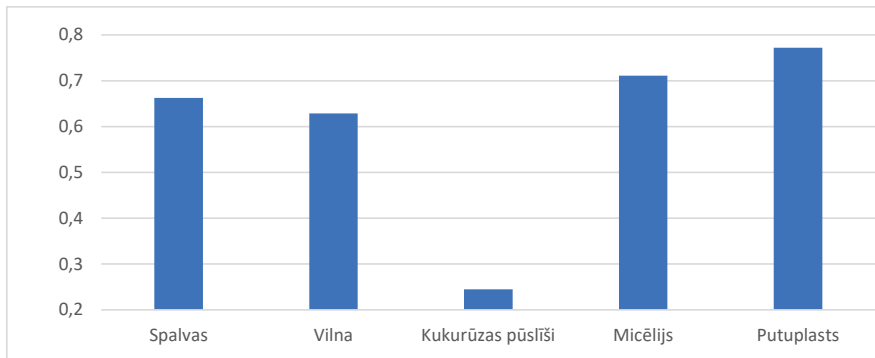
Saskaņā ar *Lammgard* un *Andersson* (2014) datiem aptuveni 70 % uzņēmumu apgalvo, ka vides aspekts ir svarīgs, uzticot ārpakalpojumus savu preču transportēšanai [50].

Svērtās vērtēšanas rezultāti redzami – 3.9. attēlā.



3.9. att. Svērtie kritēriji augošā secībā pēc to nozīmīguma.

Izmantojot iepriekš noteiktos svarus, tika salīdzināti šādi siltumizolācijas materiāli: spalvas; neausta vilna; kukurūzas putas; micēlijs; polistirols (3.10. att.).



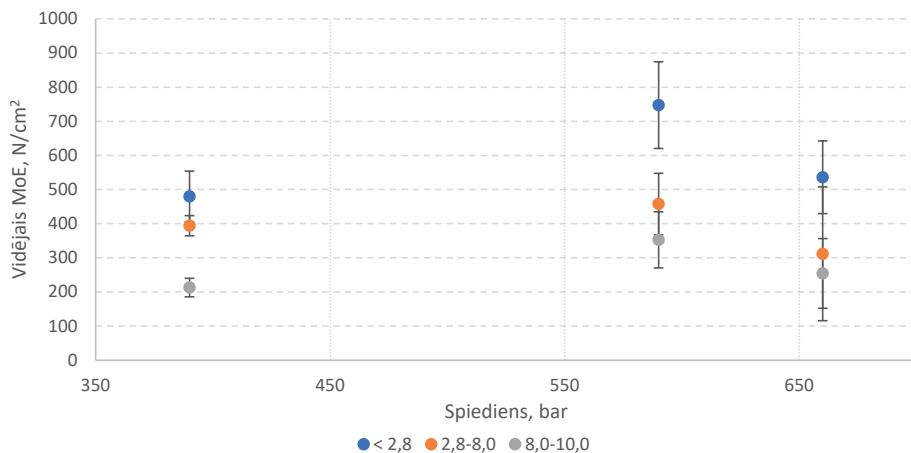
3.10. att. Metode priekšrocību secībai pēc līdzības ar *Ideal Solution* siltuma iepakojuma materiālu klasifikāciju. Y ass norāda tuvumu ideālam risinājumam 1.

Starp siltuma iepakojumiem tuvākais ideālajam risinājumam (3.10. att.; 1 uz Y ass), izmantojot *TOPSIS* metodi, ir neaustai vilnai, kam seko spalvas un polistirols, zemākais rangs tika piešķirts cietes putām, otrajā vietā ierindojās micēlijs.

6. publikācijā aplūkota arī bioresursu pievienotā vērtība. Šis pētījums iedziļinās koksnes skaidu plātņu potenciālajā transformācijā par 100 % bioloģisku produktu. Iepriekšējie pētījumi ir parādījuši iespēju daļēji aizstāt naftas ķīmijas bāzes līmes ar biobāzētām līmēm. Tādējādi iepriekšējie rezultāti nesasniedz zaļā kursa politikas mērķus, proti, īstenot zaļo pārkārtošanos uz biobāzētu ekonomiku.

Tālākā darba gaitā tika analizēta plāksņu, no kurām tika iegūtas koksnes daļiņas, stiprība. Sākotnējie izturības rezultāti trīs izmēra skaidu plātnēm redzami 3.11. attēlā. Visaugstākā izturība bija plāksnēm ar daļiņu izmēru 2,8 mm, visaugstākā neatbilstība tika konstatēta vidēja daļiņu izmēra plāksnēm, kas sagatavotas augstspiedienā. Plāksnes, kas sagatavotas no 8,0–10,0 mm izmēra frakcijas, parasti bija mazāk izturīgas nekā pārējās, taču, kā redzams statistiskā analizē, atšķirība starp MoR 2,8–8,0 mm un 8,0–10,0 mm daļiņu izmēra plāksnēm 660 bāru spiedienā nebija nozīmīga ($P = 0,27$).

Aprēķinātās standartnovirzes ir attēlotas 3.11. attēlā, analizē tika izmantota 95 % ticamības vērtība (P vērtība $< 0,05$).



3.11. att. Lieces izturība atkarībā no spiediena un daļiņu izmēra.

Izvēlētajām spiediena galējībām nebija būtiskas ietekmes uz plātņu izturību ($P = 0,43$) < 2,8 mm skaidu plātnēm. Plātnes, kas ražotas, izmantojot 590 bāru spiedienu, uzrādīja ievērojami augstāku izturību, salīdzinot ar 390 bāru ($P = 0,002$) un 660 bāru ($P = 0,01$) spiedienu.

3.5. Inovācijas un ieguldījumi

4. publikācijā analizēta bioekonomikas produktu pievienotā vērtība. Lai gan Eiropas Savienības Direktīvā 2008/98/EK (Eiropas Parlaments un Padome, 2008) ir noteikts, ka ražošanas blakusprodukti netiek klasificēti kā atkritumi, uzņēmumi tos bieži uzskata par tiem un nosūta uz atkritumu vai mazvērtīgām plūsmām, piemēram, biogāzes vai cietā kurināmā ražošanai [51].

Savukārt tādas bioekonomikas attīstība, kuras pamatā ir inovācijas prasmes un ieguldījumi zināšanās, ir neizbēgami nepieciešama, lai sasniegtu lielu daļu no izvirzītajiem mērķiem [52].

Kopumā ir izvēlēti 16 dažādi ražošanas procesi, pamatojoties uz būtisku esošā ražošanas procesa uzlabošanu: procesa optimizāciju, atlikumu samazināšanu, emisiju vai citu ražošanas procesu atlikumu pievienotās vērtības pilnīgu izmantošanu vai elektroenerģijas patēriņa samazināšanu un virzību uz tīrāku ražošanu.

Kopumā tika analizēti sešpadsmit ražošanas procesi, izmantojot *Fuzzy Cognitive Mapping (FCM)*. Tika secināts, ka visi sešpadsmit ražošanas procesi atbilst augstai bioekonomikas efektivitātei zaļā kursa mērķu sasniegšanā.

Ražošanas procesa lietderība

Citronskābes ražošana	0,97
Sudraba nanodaļiņu sintēze	0,96
Kompozītmateriālu ražošana	0,98
Nanocelulozes ražošana	0,92
Tualetes piederumu ražošana no sūkalām	0,97
<i>Xylan</i> ražošana	0,92
Polikaktīda ražošana	0,97
Dabisko nātru šķiedru ražošana	0,29
Biodīzeļdegvielas ražošana	0,73
<i>Dendrolight</i> šūnu materiāla ražošana	0,98
Granulu ražošana	0,83
Bioetilēna ražošana	0,68
Celulozes ražošana	0,94
Tanīna bāzes putu ražošana	0,90
Skujkoku ekstrakta ražošana	0,96
Lignīna ražošana	0,83

Ņemot vērā pētījuma mērķus, iegūtie rezultāti ir ticami un objektīvi atspoguļo *FCM* metodes derīgumu, un šāda veida integrētās analīzes izmantošana ir piemērota, lai salīdzinātu dažādus darbā aplūkotos alternatīvos ražošanas procesus, lai iegūtu vislabāko pievienoto vērtību bioresursiem.

SECINĀJUMI

Katra ilgtspējas dimensija saskaņā ar pētniecības sistēmu paver jaunus bioresursu izmantošanas kritērijus un iespējas. Secinājumi ir sakārtoti atbilstoši pētījuma ietvaram.

Tika veikta pielāgota aprites cikla inventarizācija gan ekonomiskās, gan ekoloģiskās iespējamības novērtēšanai, izmantojot primāros datu avotus no faktiskās lauksaimniecības prakses, kas izmantota Latvijas kontekstā (un attiecināma uz Ziemeļeiropu), kā arī padziļinātu datu inventarizāciju no katra saldētas smiltsērķšķu ogu aukstās piegādes ķēdē iesaistītā dalībnieka. Tas nodrošina konkrētu un precīzu datu vākšanu ierosinātās piegādes ķēdes definēšanai. Izstrādātās metodikas ietvaros, apvienojot *LCC* un *LCA*, ir iespējams novērtēt kopējo auksto piegādes ķēžu lietderību. Rezultāti liecina, ka ir identificēti galvenie vides karstie punkti saistībā ar klimata pārmaiņām un resursu izmantošanu ražošanas pārstrādē un uzkrāšanā, sniedzot svarīgus ieteikumus par iespējamiem uzlabošanas scenārijiem.

Ņemot vērā to, ka patlaban Latvijā uzstādītā kopējā saules enerģijas jauda pieaug, rezultāts, kas gan pēc daudzkritēriju lēmumu analīzes, gan uzņēmumu ieskatā, saules fotoelementu enerģiju izvirza kā prioritāru tehnoloģiju, ir labvēlīgs atbalsta politikas izstrādei. AER var būt un būs nozīmīga loma bioresursu ilgtspējīgā izmantošanā.

Lielāka uzmanība tiek pievērsta ilgtspējīgai lauksaimniecībai un nozares ilgtspējīgai attīstībai, tāpēc SEG emisiju novērtēšana lauku saimniecību līmenī ir būtiska, lai nodrošinātu bioresursu ilgtspējīgu izmantošanu. Īpaši SEG rīki ļauj veikt aprēķinus bez īpašām priekšzināšanām.

Sešpadsmit izvēlēto bioproduktu ražošanas lietderība liecina, ka visefektīvākais ražošanas process ir kompozītmateriālu ražošana. Šo rezultātu pamato kompozītmateriālu izejvielu pieejamība, kas galvenokārt ir citu ražošanas procesu blakusprodukti – zemas kvalitātes koksnes atlikumi un pārstrādāta plastmasa.

Ilgspējīgai attīstībai bioresursiem ir jāaizstāj vai pilnībā jāizslēdz fosilie risinājumi. Ņemot vērā mūsdienu klimata mērķus, ir ļoti svarīgi pilnībā pārdomāt būvniecības un mājojku pieejas, no tirgus pilnībā izslēdzot fosilo oglekli. Tāpēc zinātniekiem un rūpniecībai ir jāatrod alternatīvas.

Pētījumi liecina, ka termiskais iepakojums, kas izgatavots no putu polistirola, nav vispiemērotākā izvēle, salīdzinot ar dažām ekoloģiski ilgtspējīgām termiskā iepakojuma iespējām. Divi bioprodukti pārspēja polistirola iepakojumu, salīdzinot cenu, blīvumu, spēju noturēt temperatūru, ietekmi uz vidi un siltumvadītspēju. Pētījumi izskaidro neatbilstību starp teorētiski vēlamajām un faktiskajām loģistikas vadītāju izvēlēm.

ATSAUCES

- [1] J. Liao, J. Tang, A. Vinelli, and R. Xie, “A hybrid sustainability performance measurement approach for fresh food cold supply chains,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 398, p. 136466, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.136466.
- [2] J.-W. Han, M. Zuo, W.-Y. Zhu, J.-H. Zuo, E.-L. Lü, and X.-T. Yang, “A comprehensive review of cold chain logistics for fresh agricultural products: Current status, challenges, and future trends,” *Trends in Food Science & Technology*, vol. 109, pp. 536–551, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.tifs.2021.01.066.
- [3] S. Taj, A. S. Imran, Z. Kastrati, S. M. Daudpota, R. A. Memon, and J. Ahmed, “IoT-based supply chain management: A systematic literature review,” *Internet of Things*, vol. 24, p. 100982, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.iot.2023.100982.
- [4] V. S. Narwane, A. Gunasekaran, and B. B. Gardas, “Unlocking adoption challenges of IoT in Indian Agricultural and Food Supply Chain,” *Smart Agricultural Technology*, vol. 2, p. 100035, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.atech.2022.100035.
- [5] T. Kalimuthu, P. Kalpana, S. Kuppasamy, and V. Raja Sreedharan, “Intelligent decision-making framework for agriculture supply chain in emerging economies: Research opportunities and challenges,” *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 219, p. 108766, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.compag.2024.108766.
- [6] S. H. Vetter, D. Malin, P. Smith, and J. Hillier, “The potential to reduce GHG emissions in egg production using a GHG calculator – A Cool Farm Tool case study,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 202, pp. 1068–1076, Nov. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.08.199.
- [7] A. Dzalbs, M. Bimbere, J. Pubule, and D. Blumberga, “Environmental Impact Decision Support Tools for Horticulture Farming: Evaluation of GHG Calculators,” *Agriculture*, vol. 13, no. 12, p. 2213, Nov. 2023, doi: 10.3390/agriculture13122213.

- [8] M. O. Dioha, N. V. Emodi, and E. C. Dioha, "Pathways for low carbon Nigeria in 2050 by using NECAL2050," *Renewable Energy Focus*, vol. 29, pp. 63–77, Jun. 2019, doi: 10.1016/j.ref.2019.02.004.
- [9] Y. Majeed *et al.*, "Renewable energy as an alternative source for energy management in agriculture," *Energy Reports*, vol. 10, pp. 344–359, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.egy.2023.06.032.
- [10] B. Debnath, M. S. Shakur, M. T. Siraj, A. B. M. M. Bari, and A. R. M. T. Islam, "Analyzing the factors influencing the wind energy adoption in Bangladesh: A pathway to sustainability for emerging economies," *Energy Strategy Reviews*, vol. 50, p. 101265, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.esr.2023.101265.
- [11] M. Y. D. Alazaiza, Z. Ahmad, A. Albahasawi, D. E. Nassani, and R. A. Alenezi, "Biomass processing technologies for bioenergy production: factors for future global market," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 21, no. 2, pp. 2307–2324, Jan. 2024, doi: 10.1007/s13762-023-05211-1.
- [12] B. Wu *et al.*, "Economic and environmental viability of biofuel production from organic wastes: A pathway towards competitive carbon neutrality," *Energy*, vol. 285, p. 129322, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.129322.
- [13] J. Nepal, W. Ahmad, F. Munsif, A. Khan, and Z. Zou, "Advances and prospects of biochar in improving soil fertility, biochemical quality, and environmental applications," *Front. Environ. Sci.*, vol. 11, p. 1114752, Feb. 2023, doi: 10.3389/fenvs.2023.1114752.
- [14] M. Barz, M. K. Delivand, and K. Dinkler, "Agricultural Wastes – A Promising Source for Biogas Production in Developing Countries of the Tropical and Subtropical Regions," *RFMK*, vol. 16, no. 38, pp. 02–12, Dec. 2018, doi: 10.18845/rfmk.v16i38.3991.
- [15] P. K. Sath, S. Duhan, and J. S. Duhan, "Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review," *Bioresour. Bioprocess.*, vol. 5, no. 1, p. 1, Dec. 2018, doi: 10.1186/s40643-017-0187-z.
- [16] D. Shahwar *et al.*, "Role of microbial inoculants as bio fertilizers for improving crop productivity: A review," *Heliyon*, vol. 9, no. 6, p. e16134, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16134.
- [17] M. Bruges and W. Smith, "Participatory approaches for sustainable agriculture: A contradiction in terms?," *Agric Hum Values*, vol. 25, no. 1, pp. 13–23, Nov. 2007, doi: 10.1007/s10460-007-9058-0.
- [18] M. Rääkkönen *et al.*, "A Framework for Assessing the Social and Economic Impact of Sustainable Investments," *Management and Production Engineering Review*, vol. 7, no. 3, pp. 79–86, Sep. 2016, doi: 10.1515/mp-2016-0027.
- [19] M. Qayyum *et al.*, "Advancements in technology and innovation for sustainable agriculture: Understanding and mitigating greenhouse gas emissions from agricultural soils," *Journal of Environmental Management*, vol. 347, p. 119147, Dec. 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2023.119147.
- [20] M. T. Mellaku and A. S. Sebsibe, "Potential of mathematical model-based decision making to promote sustainable performance of agriculture in developing countries: A review article," *Heliyon*, vol. 8, no. 2, p. e08968, Feb. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e08968.
- [21] T. Stucki, "Which firms benefit from investments in green energy technologies? – The effect of energy costs," *Research Policy*, vol. 48, no. 3, pp. 546–555, Apr. 2019, doi: 10.1016/j.respol.2018.09.010.
- [22] European Commission. Directorate General for Agriculture and Rural Development., *EU agricultural outlook for markets, income and environment 2022–2032*. LU:

- Publications Office, 2022. Accessed: Feb. 24, 2024. [Online]. Available: <https://data.europa.eu/doi/10.2762/29222>.
- [23] “pluumo - thermal packaging – powered by feathers,” pluumo. Accessed: Feb. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.pluumo.com>.
- [24] “Woolcool Thermal Insulated Packaging Company | Food & Pharmaceutical,” Woolcool® Insulated Packaging | Food & Pharmaceutical. Accessed: Feb. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.woolcool.com/>.
- [25] “Green Cell Foam,” Green Cell Foam. Accessed: Feb. 24, 2024. [Online]. Available: <https://greencellfoam.com/data>.
- [26] I. Mariam, K. Y. Cho, and S. S. H. Rizvi, “Thermal Properties of Starch-Based Biodegradable Foams Produced Using Supercritical Fluid Extrusion (SCFX),” *International Journal of Food Properties*, vol. 11, no. 2, pp. 415–426, Apr. 2008, doi: 10.1080/10942910701444705.
- [27] “The Fungi Factory: Mycelium as a new building block for Parkstad – CORE.” Accessed: Feb. 24, 2024. [Online]. Available: <https://core.ac.uk/display/219637103>.
- [28] E. Dieckmann, B. Nagy, K. Yiakoumetti, L. Sheldrick, and C. Cheeseman, “Thermal insulation packaging for cold-chain deliveries made from feathers,” *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 21, p. 100360, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.fpsl.2019.100360.
- [29] T. L. Saaty and M. Sodenkamp, “The Analytic Hierarchy and Analytic Network Measurement Processes: The Measurement of Intangibles: Decision Making under Benefits, Opportunities, Costs and Risks,” in *Handbook of Multicriteria Analysis*, vol. 103, C. Zopounidis and P. M. Pardalos, Eds., in Applied Optimization, vol. 103. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 91–166. doi: 10.1007/978-3-540-92828-7_4.
- [30] T. L. Saaty, “DERIVING THE AHP 1-9 SCALE FROM FIRST PRINCIPLES,” 2001.
- [31] K. D. Goepel, “Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for Multi-Criteria Decision Making in Corporate Enterprises – a New AHP Excel Template with Multiple Inputs,” presented at the The International Symposium on the Analytic Hierarchy Process, Jun. 2013. doi: 10.13033/isahp.y2013.047.
- [32] B. Adem Esmail and D. Geneletti, “Multi-criteria decision analysis for nature conservation: A review of 20 years of applications,” *Methods in Ecology and Evolution*, vol. 9, no. 1, pp. 42–53, 2018, doi: 10.1111/2041-210X.12899.
- [33] T. L. Saaty, “A scaling method for priorities in hierarchical structures,” *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 15, no. 3, pp. 234–281, Jun. 1977, doi: 10.1016/0022-2496(77)90033-5.
- [34] D. Maletić *et al.*, “Analytic Hierarchy Process Application in Different Organisational Settings,” in *Applications and Theory of Analytic Hierarchy Process - Decision Making for Strategic Decisions*, IntechOpen, 2016. doi: 10.5772/64511.
- [35] P. Cabała, “Using the analytic hierarchy process in evaluating decision alternatives,” *Operations Research and Decisions*, 2010, Accessed: Feb. 24, 2024. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Using-the-analytic-hierarchy-process-in-evaluating-Caba%20%82a%1d976337881910e680a609cb35c5c668c5db3ae5>.
- [36] A. Ishizaka and P. Nemery, *Multi-Criteria Decision Analysis: Methods and Software*. 2013, p. 296. doi: 10.1002/9781118644898.
- [37] H.-C. Lee and C.-T. Chang, “Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 92, pp. 883–896, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.05.007.

- [38] “A multi-criteria approach to rank renewables for the Algerian electricity system,” *Renewable Energy*, vol. 107, pp. 462–472, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.renene.2017.01.035.
- [39] J.-J. Wang, Y.-Y. Jing, C.-F. Zhang, and J.-H. Zhao, “Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 9, pp. 2263–2278, Dec. 2009, doi: 10.1016/j.rser.2009.06.021.
- [40] E. Mulliner, N. Malys, and V. Maliene, “Comparative analysis of MCDM methods for the assessment of sustainable housing affordability,” *Omega*, vol. 59, pp. 146–156, Mar. 2016, doi: 10.1016/j.omega.2015.05.013.
- [41] A. Blumberga, D. Lauka, A. Barisa, and D. Blumberga, “Modelling the Baltic power system till 2050,” *Energy Conversion and Management*, vol. 107, pp. 67–75, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2015.09.005.
- [42] B. Kosko, “Fuzzy cognitive maps,” *International Journal of Man-Machine Studies*, vol. 24, no. 1, pp. 65–75, Jan. 1986, doi: 10.1016/S0020-7373(86)80040-2.
- [43] K. Okano, “Life Cycle Costing-An Approach to Life Cycle Cost Management: A Consideration from Historical Development,” *Asia-Pacific Management Review*, Sep. 2001, Accessed: Feb. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/paper/Life-Cycle-Costing-An-Approach-to-Life-Cycle-Cost-A-Okano/b34fe0c5c1ee9a42dff1466223f6f02980bd9973>.
- [44] D. Janz, W. Sihn, and H.-J. Warnecke, “Product Redesign Using Value-Oriented Life Cycle Costing,” *CIRP Annals*, vol. 54, no. 1, pp. 9–12, Jan. 2005, doi: 10.1016/S0007-8506(07)60038-9.
- [45] “Life Cycle Costing for Engineers | B. S. Dhillon | Taylor & Francis eBo.” Accessed: Feb. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/9781439816899/life-cycle-costing-engineers-dhillon>.
- [46] S. Fuller and S. Petersen, “LIFE-CYCLE COSTING MANUAL for the Federal Energy Management Program, NIST Handbook 135, 1995 Edition,” *NIST*, Feb. 1996, Accessed: Feb. 25, 2024. [Online]. Available: <https://www.nist.gov/publications/life-cycle-costing-manual-federal-energy-management-program-nist-handbook-135-1995>.
- [47] Stephanie Wunder *et al.*, “REFRESH Final Results Brochure,” 2020. Accessed: Feb. 26, 2024. [Online]. Available: <https://eu-refresh.org/refresh-final-results-brochure.html>.
- [48] R. Dekker, J. Bloemhof, and I. Mallidis, “Operations Research for green logistics – An overview of aspects, issues, contributions and challenges,” *European Journal of Operational Research*, vol. 219, no. 3, pp. 671–679, Jun. 2012, doi: 10.1016/j.ejor.2011.11.010.
- [49] S. Rogerson, “Influence of freight transport purchasing processes on logistical variables related to CO2 emissions: a case study in Sweden,” *International Journal of Logistics Research and Applications*, vol. 20, no. 6, pp. 604–623, Nov. 2017, doi: 10.1080/13675567.2017.1308472.
- [50] C. Lammgård and D. Andersson, “Environmental considerations and trade-offs in purchasing of transportation services,” *Research in Transportation Business & Management*, vol. 10, pp. 45–52, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.rtbm.2014.04.003.
- [51] I. Vamza, A. Kubule, L. Zihare, K. Valters, and D. Blumberga, “Bioresource utilization index – A way to quantify and compare resource efficiency in production,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 320, p. 128791, Oct. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.128791.

- [52] A. Ruse and J. Pubule, “The Boundaries of Scientific Innovation in the EU Green Deal Context,” *Environmental and Climate Technologies*, vol. 26, no. 1, pp. 115–128, Jan. 2022.

