

**Nidhiben Arvindbhai Patel**

# **LAUKSAIMNIECĪBAS ATKRITUMU VALORIZĀCIJAS RISINĀJUMI**

Promocijas darba kopsavilkums



# RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultāte  
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

**Nidhiben Arvindbhai Patel**

Doktora studiju programmas "Vides zinātne" doktorante

## LAUKSAIMNIECĪBAS ATKRITUMU VALORIZĀCIJAS RISINĀJUMI

Promocijas darba kopsavilkums

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

RTU Izdevniecība  
Rīga 2024

Patel, N. A. Lauksaimniecības atkritumu valorizācijas risinājumi. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2024. 49 lpp.

Publicēts saskaņā ar promocijas padomes “RTU P-19” 2024. gada 2. februāra lēmumu, protokols Nr. 186.

Promocijas darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu darbības programmas “Izaugsme un nodarbinātība” 8.2.2. specifiskā atbalsta mērķa “Stiprināt augstākās izglītības institūciju akadēmisko personālu stratēģiskās specializācijas jomās” projektā Nr. 8.2.2.0/20/I/008 “Rīgas Tehniskās universitātes un Banku augstskolas doktorantu un akadēmiskā personāla stiprināšana stratēģiskās specializācijas jomās”.



Vāka attēls no *www.shutterstock.com*.

<https://doi.org/10.7250/9789934370496>  
ISBN 978-9934-37-049-6 (pdf)

# PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2024. gada 9. maijā plkst. 14.00. Rīgas Tehniskās universitātes Dabaszinātņu un tehnoloģiju fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 116. auditorijā.

## OFICIĀLIE RECENZENTI

Ph.D. *Biancamaria Torquati*,  
Perudžas Universitāte, Itālija

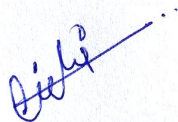
Profesors *Dr. sc. (tech.) Timo Laukkanen*,  
Ålto Universitāte, Somija

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

## APSTIPRINĀJUMS

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

Nidhiben Arvindbhai Patel (paraksts)



Datums: 17.04.2024.

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājumi un ieteikumi, literatūras saraksts, 50 attēli, 21 tabula, 37 vienādojumi, kopā 217 lappuses. Literatūras sarakstā ir 231 nosaukums.

# SATURS

IEVADS.....	5
Promocijas darba aktualitāte .....	5
Promocijas darba mērķis un uzdevumi.....	6
Hipotēze .....	6
Zinātniskā novitāte .....	6
Praktiskā novitāte .....	7
Pētījuma struktūra.....	7
Pētījuma aprobācija .....	8
1. METODOLOĢIJA.....	10
1.1. Ilgtspējības inovācija.....	10
1.2. Tirgus inovācijas .....	19
1.3. Sistēmas inovācijas.....	22
2. REZULTĀTI UN DISKUSIJA .....	24
2.1. Ilgtspējības inovāciju rezultāti .....	24
2.2. Tirgus inovāciju rezultāti.....	38
2.2. Sistēmas inovāciju rezultāti .....	40
SECINĀJUMI UN IETEIKUMI.....	44
ATSAUCES .....	47

# IEVADS

## Promocijas darba aktualitāte

Globālā pāreja uz ilgtspējīgu attīstību, tostarp – valsts un reģionālo bioekonomikas stratēģiju izstrāde, ir bijis viens no galvenajiem pēdējo gadu mērķiem. Vairākas valsts un reģionālās politikas liecina par pieaugošu interesi par bioekonomiku kā ilgtspējīgas attīstības risinājumu. Arī siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšana ir viena no ilgtspējīgas attīstības kritiskām daļām, kā arī viens no būtiskiem Eiropas Savienības (ES) ilgtspējīgas attīstības mērķiem. Esošais normatīvais regulējums skaidri parāda oglekļa pēdas aktualitātes attīstību un pastiprināšanos. Eiropas Parlaments ir apņēmis līdz 2030. gadam samazināt siltumnīcefekta gāzu emisijas vismaz par 55 % un līdz 2050. gadam panākt oglekļa neitralitāti.

2008. gada globālā ekonomikas krīze mudināja valstu valdības veikt izmaksu samazināšanas pasākumus, tai skaitā pētniecības un attīstības nozarē, tas ne tikai izraisa kavē inovāciju attīstību, bet arī ietekmē bioekonomiku. Lauksaimniecības atkritumu izmantošana ir būtiska pasaules mērogā, tā ietekmē politikas veidotāju, ieinteresēto personu, zinātnieku un sabiedrības lēmumus un rīcību. Sākotnēji noteiktie ilgtspējīgas bioekonomikas mērķi Eiropā galvenokārt tika virzīti uz bioenerģijas ražošanu. Laika gaitā jau esošais normatīvais regulējums un īstenotie uzlabojumi liecina par bioekonomikas attīstību un intensifikāciju. 2018. gadā Eiropas Komisija [1] aktualizēja bioekonomikas stratēģiju, norādot, ka bioekonomika aptver visas sistēmas un nozares, kas ir atkarīgas no bioloģiskajiem resursiem un atkritumiem un to nodrošinātajiem principiem un funkcijām. Tā aptver un saista visas ekonomikas un rūpniecības nozares, kas izmanto dabas resursus un procesus, lai ražotu pārtiku, barību, bioproduktus, enerģiju un pakalpojumus, kā arī visas primārās ieguves nozares, kas izmanto dabas resursus, piemēram, mežsaimniecība, zivsaimniecība, akvakultūra un lauksaimniecība.

Bioekonomikas veicināšanas pamatā ir vērtību piramīda, kas ilustrē biomasas valorizāciju. Produkta vērtības ziņā farmaceitiskiem līdzekļiem ir augsta pievienotā vērtība, taču to apjomi ir nelieli. Turpretim energoresursi tikai nedaudz palielina produkta vērtību, taču to izmantošanas apjomi ir lieli. Lauksaimniecība, dārzkopība un lopkopība ražo izejvielas un produktus visiem vērtību piramīdas līmeņiem. Katrā piramīdas līmenī var atpazīt daudzas bioloģiski balstītas inovācijas. Tomēr joprojām nav standartizēta un konsekventa ietvara, kas atbilst ilgtspējībai, bioekonomikai un lauksaimniecības atkritumu valorizācijai. Vērtību piramīda piešķir arī prioritāti produktiem, balsoties kritiskā diskursā par ilgtspējīgu atkritumu izmantošanu un nepieciešamību cīnīties ar plastmasas atkritumiem, un tā var veicināt ilgtspējīgu bioekonomikas attīstību un klimata neitralitātes mērķi.

Šajā promocijas darbā tiek novērtēts dažādu līmeņu bioekonomikas produktu klāsts, ilgtspējīgi valorizējot lauksaimniecības atkritumus un reaģējot uz pieaugošo pieprasījumu pēc videi draudzīgām alternatīvām dažādās nozarēs. Tas nodrošina unikālu stratēģiju biopolimēru produktu prioritātes piešķiršanai augstākajā līmenī, kā arī palīdz samazināt biopolimēru iepakojuma materiālu oglekļa pēdas nospiedumu. Promocijas darbā attīstītas tirgus iespējas lēmumu pieņemšanai par biopolimēru iepakojuma materiālu komercializāciju. Pētījums sniedz

zināšanas un praktisko bāzi aktuāliem lauksaimniecības atkritumu valorizācijas veidiem enerģijas, biopolimēru, pārtikas piedevu un farmācijas produktu ražošanā. Tas palīdz izstrādāt arī integrējošu metodoloģiju, kuras pamatā ir ilgtspējības rādītāji un kritēriji katram produktu līmenim. Oglekļa pēdas nospieduma kalkulatora rīks varētu mainīt iepakojšanas uzņēmumu darbību, lai noturētos un konkurētu tirgū, kā arī ievērotu ilgtspējīgas attīstības un klimata mērķus. Šī daudzdimensionālais ietvars būtu nekavējoties jāņem vērā globālajos centienos panākt ilgtspējīgu attīstību.

## **Promocijas darba mērķis un uzdevumi**

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt integrētu metodiku, lai piedāvātu inovatīvu stratēģiju augstākas prioritātes piešķiršanai biopolimēra iepakojuma materiāliem, valorizējot lauksaimniecības atkritumus. Promocijas darbs palīdz izpētīt noteiktus bioekonomikas produktu vērtības līmeņus vienotā ietvarā, īpašu uzsvāru liekot uz biopolimēru ražošanas veicināšanu. Darbā izmantotā pieeja nodrošina unikālu pieeju biopolimēru produktu prioritātes paaugstināšanai, ieviešot sistēmas un tirgus inovācijas pīlārus.

Lai sasniegtu promocijas darba mērķi, noteikti vairāki darba uzdevumi.

1. Izpētīt ilgtspējīgas bioekonomikas attīstības tendences, ņemot vērā lauksaimniecības atkritumu valorizāciju.
2. Novērtēt bioekonomikas modelēšanas rīkus ilgtspējas ietvarā.
3. Novērtēt pievienotās vērtības produktu valorizācijas pieejas, tostarp ilgtspējīgu bioenerģijas ražošanu, un noteikt iespējamus paņēmienus, kā no lauksaimniecības atkritumiem ražot produktus ar pievienoto vērtību.
4. Identificēt attīstības tendences un izveidot biopolimēru ilgtspējības ietvaru.
5. Lai nodrošinātu stratēģisko inovatīvu pārnēsi, izmantojot tirgus analīzi, novērtēt, vai biopolimēru produktiem ir potenciāls iekļūt tirgū.
6. Izveidot inovatīvu metodoloģiju, lai veicinātu tiešaistes pārdošanas uzņēmumu ilgtspēju un izstrādātu oglekļa pēdas rīku iepakojuma materiāliem kā vērtīgu ieguldījumu tālākai prioritizēšanai.

## **Hipotēze**

Izstrādājot integrētu metodoloģiju, kas akcentē būtiskus inovācijas pīlārus, tiks nodrošināta biopolimēru iepakojuma materiālu prioritātes paaugstināšana un lauksaimniecības atkritumu ilgtspējīgas valorizācija.

## **Zinātniskā novitāte**

Pētījums veicina bioekonomikas, tostarp – lauksaimniecības nozaru, ilgtspējīgu attīstību, kā rezultātā tiek iegūti augstākas vērtības produkti, sasniegti sociālekonomiskie un vides ieguvumi. Promocijas darbam ir augsta zinātniskā novitāte Eiropas un starptautiskā kontekstā, jo lauksaimniecības atkritumu valorizācijas izpēte un analīze ir aktuāla bioekonomikas un

ilgtspējīgas attīstības pētniecības joma. Darbā parādīts, ka noturīgu un ilgtspējīgu bioekonomiku var attīstīt, īstenojot trīs inovācijas pilārus. Ilgtspējas inovāciju pilārs nodrošina unikālu pieeju lauksaimniecības atkritumu valorizācijai produktos ar pievienoto vērtību. Produkti atšķiras pēc kvalitātes, vērtības un apjoma. Tirgus un sistēmu inovāciju pilāri biopolimēru iepakojuma materiāliem bioekonomikā piešķir augstākas prioritātes līmeni. Promocijas darbā izstrādātas inovatīvas un integrētas metodes ilgtspējīgai bioekonomikas attīstībai. Tajā aplūkota lauksaimniecības atkritumu valorizācijas pieeja, kas ir nozīmīga visu veidu lauksaimniecības atkritumu valorizācijas ilgtspējībai un integrētas rentabilitātes nodrošināšanai. Ņemot vērā holistiskās analīzes pieeju, promocijas darba datus var izmantot turpmākiem zinātniskiem pētījumiem par lauksaimniecības atkritumu novērtēšanu.

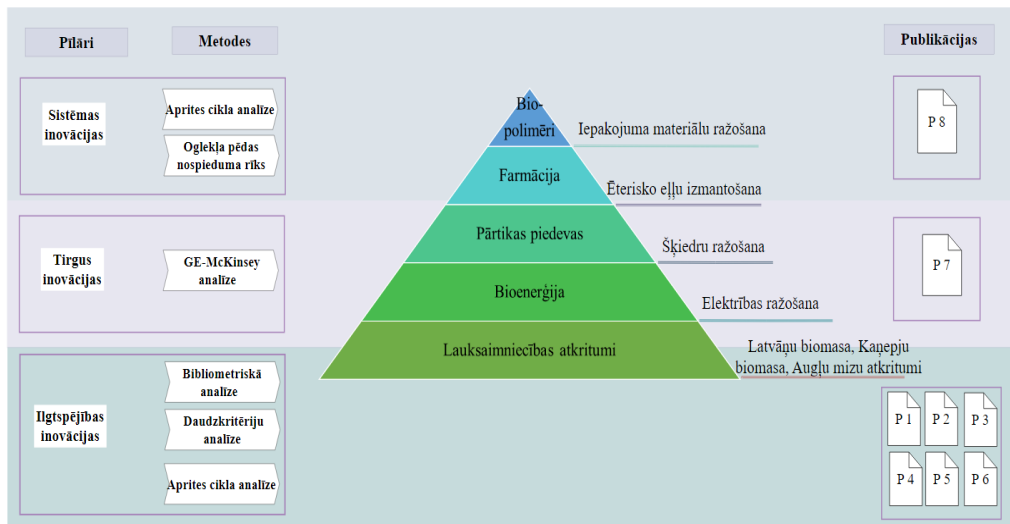
## **Praktiskā novitāte**

Piedāvātajai integrētajai pieejai ir daudz praktisku lietojumu, kas sniedz taustāmus ieguvumus dažādās jomās. Tai ir liela praktiskā nozīme Eiropas kontekstā. ES ir aktīvi veicinājusi pāreju uz aprites ekonomiku, koncentrējusies uz plastmasas atkritumu samazināšanu un bioloģisku alternatīvu veicināšanu. Biopolimēru iepakojuma materiālu prioritātes noteikšanas praktiskā nozīme atbilst tādām iniciatīvām kā ES Plastmasas stratēģija, kurā galvenā uzmanība pievērsta pārejai uz oglekļa neitralitāti un aprites ekonomiku, lai samazinātu siltumnīcefekta gāzu emisijas un izveidotu ilgtspējīgākus un drošākus plastmasas patēriņa un ražošanas modeļus līdz 2030. gadam, kas saskan ar ilgtspējīgas attīstības mērķiem. Pētījuma rezultāti piedāvā jaunu pieeju, kas var būtiski veicināt bioekonomikas attīstību kā daļu no Aprites ekonomikas rīcības plāna un Eiropas Zaļā kursa un veicināt ilgtspējīgu resursu izmantošanu, izmantojot inovācijas bioekonomikas rūpniecībā. runājot par ietekmi uz vidi, darba secinājumi varētu būt svarīgi, lai lēmumu pieņēmēji varētu izlemu, kurš biopolimērs būtu ilgtspējīgs ražošanai un patēriņam. Tirgus iespējas biopolimēru iepakojuma materiāliem un oglekļa pēdas kalkulators varētu būt noderīgi rīki uzņēmumiem, pieņemot lēmumus par iepakojuma materiāliem.

## **Pētījuma struktūra**

Piedāvātā integrētā pieeja novērtē dažādus bioekonomikas līmeņus, izmantojot lauksaimniecības atkritumu valorizēšanu. Tas nodrošina inovatīvu veidu, kā prioritizēt biopolimēru produktus (iepakojuma materiālus), izstrādājot ilgtspējas sistēmu, tirgus stratēģisko shēmu un oglekļa pēdas nospieduma rīku tiešsaistes tirgum. Katra bioproductu līmeņa analīzei un biopolimēru produktu augstākās prioritātes līmeņa noteikšanai ir izmantotas vairākas metodes, tostarp daudzkritēriju analīze, aprites cikla analīze, bibliometriskā analīze un tirgus analīze (1. att.).





1. att. Pētījuma struktūra.

Pētījuma struktūru var raksturot, īstenojot trīs inovācijas pīlārus.

- Ilgtspējības inovācijas pīlārs ietver lauksaimniecības atkritumu valorizāciju atšķirīgos bioekonomikas produktu līmeņos, izvērtējot elektroenerģijas ražošanu, šķiedru ražošanu, ēterisko eļļu izmantošanu un zemas līdz augstas vērtības iepakojuma materiālu ražošanu. Šeit izmantota daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas analīze (*MCDA*), aprites cikla analīze (*LCA*) un bibliometriskās analīzes metodoloģija (aprobācijas 1.– 6. publikācija).
- Tirgus inovāciju pīlārā tiek noteikts biopolimēru produktu (iekpojuma materiālu) tirgus potenciāls, lai nodrošinātu inovatīvu pārnesi. Izmantota *GE-McKinsey* analīze (aprobācijas 7. publikācija).
- Sistēmas inovāciju pīlārā, lai veicinātu iepakojuma materiālu ilgtspējīgu izmantošanu, izstrādāts oglekļa pēdas novērtēšanas rīks, kas balstīts *LCA* metodoloģijā (aprobācijas 8. publikācija).

Šis strukturētais ietvars apvieno ilgtspējības apsvērumus, tirgus analīzi un sistēmas līmeņa prioritātes noteikšanas rīkus, lai izveidotu visaptverošu un inovatīvu metodoloģiju biopolimēru iepakojuma materiālu attīstībai bioekonomikā.

## Pētījuma aprobācija

Promocijas darba rezultāti prezentēti četrās konferencēs, septiņās zinātniskās publikācijās un vienā publikācijā, kas iesniegta recenzēšanai.

## Dalība konferencēs

1. International scientific conference “Biosystems Engineering 2021”, paper “Evaluation of bioresource validation”, 2021, Tartu, Estonia.
2. International scientific conference “Conference of Environmental and Climate technologies 2021”, paper “An analysis of the extraction technologies: fruit peel waste”, 2021, Riga, Latvia.
3. International scientific conference “Conference of Environmental and Climate technologies 2022”, paper “Agro biopolymer: A sustainable future of agriculture – state of art review”, 2022, Riga, Latvia.
4. International scientific conference “Conference of Environmental and Climate technologies 2023”, papers “Carbon footprint evaluation tool for packaging marketplace” and “Insights of bioeconomy: biopolymer evaluation based on sustainability criteria”, 2023, Riga, Latvia.

## Publikācijas žurnālos

1. **N. Patel.**, M. Feofilovs., D. Blumberga. (2022), “Agro biopolymer: A sustainable future of agriculture – state of art review”, *Environmental and Climate Technologies*, Volume 26, Issue 1, Pages 499–511, <https://doi.org/10.2478/rtuect-2022-0038>.
2. **N. Patel.**, M. Feofilovs., D. Blumberga. (2022), “Evaluation of bioresource value models: sustainable development in the agriculture biorefinery sector”, *Journal of Agriculture and Food Research*, Volume 10, 100367, <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100367>.
3. E. Teirumnieka., **N. Patel.**, K. Laktuka., K. Dolge., I. Veidenbergs., D. Blumberga. (2023), “Sustainability dilemma of hemp utilization for energy production”, *Energy Nexus*, Volume 11, 100213, <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2023.100213>.
4. **N. Patel.**, L. Zihare., D. Blumberga. (2021), “Evaluation of bioresource validation”, *Agronomy Research*, Volume 19, Special Issue 2, Pages 1099–1111, <https://doi.org/10.15159/ar.21.066>.
5. **N. Patel.**, A. Kalnbalkite., D. Blumberga. (2021), “An analysis of the extraction technologies: fruit peel waste”, *Environmental and Climate Technologies*, Volume 25, Issue 1, Pages 666–675, <https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0050> (Scopus, WoS).
6. **N. Patel.**, D. Blumberga. (2023), “Insights of bioeconomy: biopolymer evaluation based on sustainability criteria”, *Environmental and Climate Technologies*, Volume 27, Issue 1, Pages 323–338, <https://doi.org/10.2478/rtuect-2023-0025>.
7. **N. Patel.**, D. Blumberga. “Assessing Biopolymer Packaging in the EU Market for Sustainable Bioeconomy Development”, *Environmental and Climate Technologies*, (Manuskripts tiek pārskatīts).
8. **N. Patel.**, M. Feofilovs., F. Romangnoli. (2023), “Carbon footprint evaluation tool for packaging marketplace”, *Environmental and Climate Technologies*, Volume 27, Issue 1, Pages 368–378, <https://doi.org/10.2478/rtuect-2023-0027> (Scopus, WoS).

## Citas publikācijas

1. L. Zihare., Z. Indzere., N. Patel., M. Feofilovs., D. Blumberga. (2021), “Bioresource value model. case of fisheries”, *Environmental and Climate Technologies*, Volume 25, Issue 1, Pages 1179–1192, <https://doi.org/10.2478/rtuect-2021-0089> (Scopus. WoS).

## 1. METODOLOĢIJA

Šajā nodaļā aprakstīta integrētā pieeja dažādu bioekonomikas vērtību piramīdas līmeņu vērtēšanai, valorizējot lauksaimniecības atkritumus, un piedāvāta inovatīvu biopolimēru iepakojuma materiālu prioritizēšana, izmantojot atbilstošas metodikas. Integrētā metodoloģija kā pamatkonceptu ietver vērtību piramīdu un trīs inovācijas pīlārus. Ir izmantotas vairākas metodes, tostarp *MCDA*, *LCA*, bibliometriskā analīze, *GE-McKinsey* analīze un oglekļa pēdas nospieduma rīks.

### 1.1. Ilgtspējības inovācija

Ilgtspējības inovācijas pīlārs ietver piecus posmus. 1.1. attēls īsumā ilustrē ilgtspējības inovāciju lauksaimniecības atkritumu valorizācijai. Lai novērtētu ilgtspējības inovācijas katrā posmā, tika veikta plaša zinātniskās literatūras analīze, izmantojot *Scopus*, *Web of Science*, *ScienceDirect* un citus uzticamus zinātniskus avotus. Tika atlasīti četri dažāda veida lauksaimniecības atkritumi, t. i., latvāņi, augļu mizu atkritumi, kaņepju biomasa un drabiņas. Atkritumi atlasīti, ņemot vērā to aktualitāti un plašo pieejamību Eiropā. Lauksaimniecības atkritumi var nebūt pilnvērtīgi izmantoti sabiedrībā vai rūpniecībā. Ir jābūt potenciālam tos papildus izvērtēt un ražot produktus ar pievienoto vērtību. Galvenās metodoloģijas, ko izmanto ilgtspējības inovācijas pīlāra novērtēšanai, ir *MCDA*, *LCA* un bibliometriskā analīze.

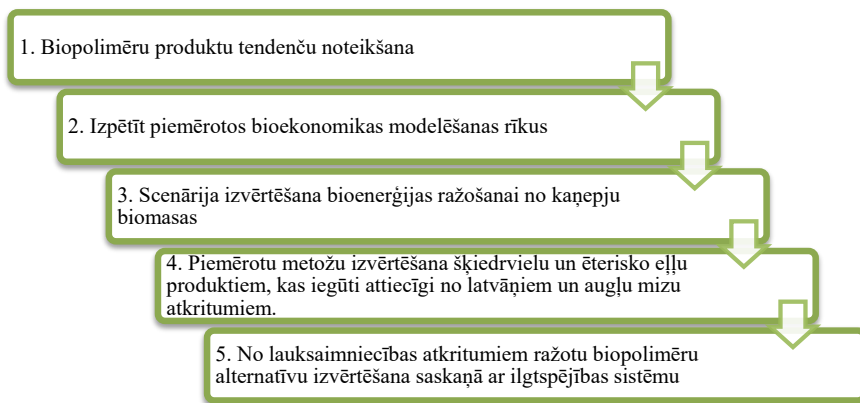
**1. solis.** Pirmkārt, noteikt aktualitātes, kas attiecas uz biopolimēru produktiem, kas ražoti no lauksaimniecības atkritumiem, lai zinātu, kas iztrūkst, lai ilgtspējīgi palielinātu biopolimēru vērtību bioekonomikā.

**2. solis.** Lai izstrādātu labāku bioekonomikas stratēģiju attiecībā uz tās ilgtspējību lauksaimniecības sektorā, ir ļoti svarīgi analizēt dažādus bioekonomikas modelēšanas rīkus saskaņā ar vienotu ilgtspējības ietvaru un konkrētiem kritērijiem. Lai analizētu atšķirīgos bioekonomikas vērtību piramīdas līmeņus, nākamajā novērtējumā tiek izmantots vispiemērotākais bioekonomikas modelēšanas rīks.

**3. solis.** Pēc tam tiek novērtēti produkti ar zemāku pievienoto vērtību. No kaņepju biomasas ražotā bioenerģija analizēta, izmantojot *MCDA* un *LCA* metodoloģijas.

**4. solis.** Izmantojot *MCDA* metodi, novērtēt priekšapstrādes metodes šķiedru, kas izmantojamas kā pārtikas piedevas, ražošanai no latvāņu biomasas un ēteriskās eļļas ekstrakcijas metodes, lai no augļu mizu atkritumiem iegūtu farmaceitiskus produktus.

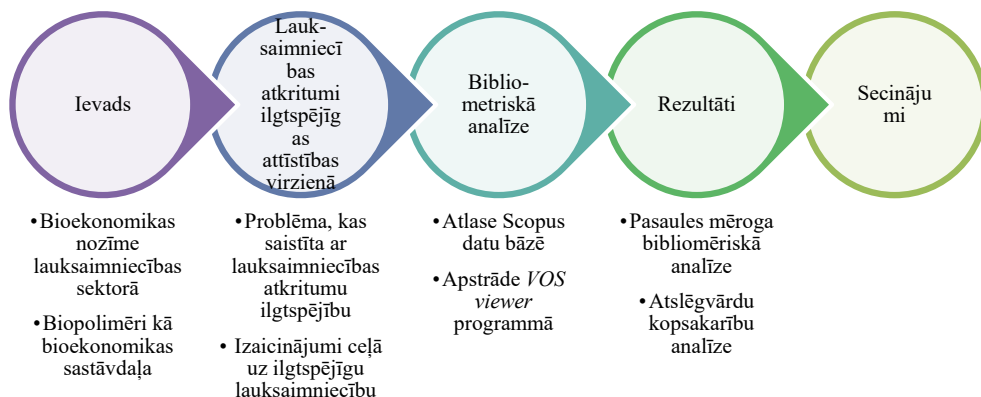
**5. solis.** Izstrādāt ilgtspējības ietvaru augstvērtīgam biopolimēram produktam. Ņemot vērā iepakojuma produktu segmentu, ilgtspējības ietvars ir izstrādāts četriem alternatīviem biopolimēra iepakojuma materiāliem. Pēc šo vērtību līmeņu novērtēšanas biopolimēra produkts tiek virzīts tālāk uz nākamo posmu, lai pārbaudītu produkta tirgus un sistēmas inovāciju potenciālu, tā palielinot biopolimēra vērtību un uzlabojot bioekonomikas ilgtspējību.



1.1. att. Ilgtspējības inovāciju shēma (autores ilustrācija).

### Biopolimēru aktualitāšu noteikšana

Lai noteiktu vidējās pievienotās vērtības produktu aktualitātes, veikta bibliometriskā analīze izmantojot *Scopus* datubāzi. Ar šo metodi aplūkota lauksaimniecības atkritumu rašanās un biopolimēru ražošana, ņemot vērā ilgtspējīgas attīstības mērķus. Bibliometriskās analīzes metodes kopējā struktūra īsumā ilustrēta 1.2. attēlā.



1.2. att. Bibliometriskās analīzes struktūra (autores ilustrācija).

*Scopus* ir lielākā publikāciju kopsavilkumu datubāze, un tā nodrošina izsmeļošu zinātnisko žurnālu pārklājumu. Turklāt *Scopus* datubāze nodrošina augstu kvalitātes garantiju, kas ir ļoti ieteicami pētījumu izvērtēšanā, zinātniskajā novērtēšanā un izpētē [2]. Bibliometriskā analīze, izmantojot atslēgvārdu līdzāsparādīšanos, tiek veikta, izmantojot šādus atslēgas vārdus un to kombinācijas:

- bioplastmasa (“*Bioplastic*”);
- bioplastmasa UN ilgtspējība (“*Bioplastic*” AND “*Sustainability*”);
- lauksaimniecība UN atkritumi, UN biopolimērs (“*Agriculture*” AND “*Waste*” AND “*Biopolymer*”).

Atslēgvārdu līdzāsparādīšanās analīze parāda atslēgvārdu līdzāsparādīšanās tīklu un to divdimensiju kartē. Programma *VOS viewer* nodrošina klasterizācijas funkciju, kas parāda atslēgvārdus kopās, pamatojoties uz to līdzāsparādīšanos [3]. Visas atsaucis tiek lejupielādētas un pārnestas uz *VOS viewer* programmu, lai identificētu sakarības starp atslēgvārdiem un kopsavilkumos. *VOS viewer* sniedz vienkārši uztveramas formas bibliometriskās kartes un vizualizē terminu līdzāsparādīšanās tīklu [4]. Bibliometriskā analīze netiek ierobežota laikā. Tomēr analīzē iekļautie pētījumi ir publicēti ne vēlāk kā 2021. gada decembrī.

## **Bioekonomikas modelēšanas rīku izpēte**

*MCDA* veikta, integrējot kritērijus un apakškritērijus, interpretējot rezultātus un izdarot secinājumus. Katram modelēšanas rīkam ir izmantota daļēji kvantitatīvā analīze, jo bioekonomikas modelēšanas rīki ir daudzpusīgi un daudzveidīgi. Daļēji kvantitatīvā analīze ir viena no ideālajām analīzēm [5], kas piešķir vērtības, ko var izmantot modelēšanai un aprēķiniem. Vērtējumus var apkopot, izmantojot ekspertu metodi [6], piemēram, izmantojot Likerta skalu, kas parāda preferences rezultātiem, kas iegūti no kvalitatīviem un kvantitatīviem apakškritērijiem. Turklāt lēmumu pieņēmējs var izmantot Likerta skalu, lai novērtētu un salīdzinātu dažādu projektu rezultātus. Šī skala svārstās no 1 līdz 3, kur 1 apzīmē nepietiekamu veikspēju, 2 – vidēju veikspēju, 3 – labu veikspēju. Šī skala apzīmē “svārstīgu svēršanu”, kas nozīmē, ka 1., 2. un 3. kritēriju var definēt attiecīgi kā nesvarīgu, vidēji svarīgu un ļoti svarīgu. Šajā pētījumā Likerta skala tiek izmantota, lai novērtētu bioekonomikas modelēšanas rīkus skalā no 1 līdz 4, kur skalas vērtības 1, 2, 3 un 4 apzīmē attiecīgi ļoti augstu, augstu, mērenu un zemu vērtējumu.

Dokumentācijas aspekti tiek novērtēti, pamatojoties uz informācijas materiāliem, kas pieejami par modelēšanas rīkiem, piemēram, apmācības, demonstrācijas modeļi un bibliotēkas dokumenti. Ja par modeli ir sniegti 100 % dati, tiek piešķirts vērtējums 1; ja dati netiek sniegti, tiek piešķirts vērtējums 4. Elastīguma kritērijs novērtēts, analizējot datu pielāgošanās spēju ar modelēšanas rīku, t. i., ja datiem ir ļoti augsta adaptācijas spēja, tad rezultāts ir ļoti augsts (1), ja ir zema datu pielāgošanās spēja, tad rezultāts ir zems (4).

Bioekonomikas modelēšanas rīka savietojamība noteikta, pamatojoties uz ievades datubāzes maiņas iespēju, kur, ja modelim ir ļoti liela iespēja nomainīt ievaddatus, tiek piešķirts vērtējums 1. Savukārt, ja modelim ir maza iespēja nomainīt ievaddatus, tiek piešķirts vērtējums 4. Modelēšanas rīku daudzveidība ir ņemta vērā, analizējot modeļa lietojamību, t. i.,

ja modeli var lietot vairāk nekā 80 % sektoru, tiek piešķirts vērtējums 1, savukārt, ja modeļa lietojamība ir mazāka par 30 %, tiek piešķirts vērtējums 4.

Datu kvalitāte nosaka derīgumu, 90 %, 70 % un 50 % adekvātu datu tiek novērtēti attiecīgi ar vērtējumu 1, 2 un 3. Ja dati nav adekvāti, tad tiek piešķirts vērtējums 4. Efektivitāte atspoguļo modelēšanas rīka izmantoto datu kvalitāti; ja modelī izmantoti ļoti kvalitatīvi pārbaudīti dati, tad piešķirtais vērtējums ir 1; ja modelī tiek izmantoti nekvalificēti dati (zema kvalitāte), tiek piešķirts vērtējums 4. Pēdējais kvalitātes faktors ir lietotājdraudzīgums, ko nosaka, analizējot to, cik viegli ir modeli izprast. Ja saskarnes datus un kopējo modeli nav grūti apgūt, tiek piešķirts vērtējums 1. Savukārt, ja saskarnes datus un kopējo modeli ir ļoti sarežģīti apgūt, tiek piešķirts vērtējums 4.

Katram kritērijam tiek izvērtēti arī ekonomiskie, sociālie un vides apakškritēriji, parādot katra modelēšanas rīka ilgtspējības atbilstību. Vienlaikus, ieviešot šo pieeju, var analizēt bioekonomikas modelēšanas rīku ilgtspēju. Turpmāka novērtēšana tika veikta, izmantojot *MCDA* analīzi. *TOPSIS* (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) metode ir viena no *MCDA* standarta metodēm. *TOPSIS* metode pamato rezultātus, apsverot pozitīvus un negatīvus ideālos risinājumus [7]. *TOPSIS* veikšanai ir vairākas priekšrocības, piemēram, šī metode nodrošina atribūtu informāciju, nodrošina dažādu alternatīvu ranžēšanu un sniedz precīzus rezultātus.

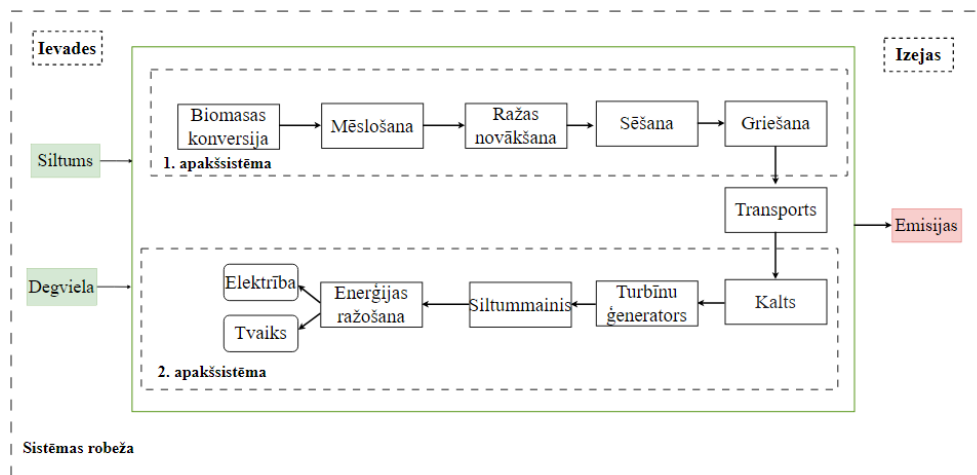
## **Bioenerģijas no kaņepju biomasas scenāriju izvērtēšana**

*MCDA* izmantošana ļāva novērtēt astoņu dažādu kaņepju produktu ilgtspējību (siltumizolācija būvniecības sektorā; tekstilmateriāli dažādās nozarēs; kompozītmateriāli dažādās nozarēs; būvmateriāli dažādās nozarēs; papīrs rūpniecības sektorā; tehniskie materiāli dažādās nozarēs; pārtika lauksaimniecības sektorā; enerģijas ražošana enerģētikas sektorā), atsevišķi krīzes apstākļos un apstākļos, kad nav krīzes, ņemot vērā sešus dažādus kritērijus (resursu pieejamība; tehnoloģiskie aspekti; ekonomiskie aspekti; vides aspekti; klimata pārmaiņu aspekti un aprites ekonomikas aspekti). Identificētie kaņepju produkti un kritēriji sniedz iespēju izmantot *MCDA*, lai novērtētu ilgtspējīgāko kaņepju kā izejvielas izmantošanas iespēju. Savukārt *LCA*, kas tiek izmantota, lai novērtētu kaņepes kā biomasu enerģijas ražošanai, tiek salīdzināta ar trim citām biomasas enerģijas iespējām.

*MCDA* tika veikta divām dažādām situācijām valstī – parastam scenārijam apstākļos bez krīzes un enerģētikas vai ekonomiskās krīzes apstākļos. *TOPSIS* ir metode, ko izmanto *MCDA* normalizēšanai. Šim pētījumam “normāls scenārijs apstākļos bez krīzes” tiek definēts kā situācija valstī, kad tirgus ekonomikas ietvaros pastāv dabiski pašregulācijas mehānismi un inflācija ir normas robežās – no 1,5 % līdz 4 %. No otras puses, “enerģētikas vai ekonomiskās krīzes apstākļi” apzīmē situāciju valstī, kad inflācija ir virs normālā diapazona un cenas noteiktai preču grupai, piemēram, pirmās nepieciešamības precēm, vienam vai vairākiem enerģijas resursiem, strauji pieaug.

Rezultāti tika apkopoti, lai novērtētu kaņepju kā bioresursa izmantošanu un biomasas izmantošanu enerģijas ražošanā un noteiktu, kura no šīm alternatīvām būtu ilgtspējīgākā. Tika paredzēts arī noteikt citus aspektus, kas ierobežotu vai veicinātu plašāku kaņepju

izmantošanu. *LCA* ir metodika produkta ietekmes uz vidi novērtēšanai, kvantificējot visas saistītās ievades un izvades, piemēram, materiālus, enerģiju, atkritumus un emisijas. Produkta aprites ciklā tiek ņemti vērā visi ražošanas procesi, sākot no izejvielu ieguves līdz atkritumu iznīcināšanai, ar “no šūpuļa līdz vārtiem”, “no šūpuļa līdz kapam” un “no vārtiem līdz vārtiem” perspektīvu. *LCA* tiek veikta saskaņā ar *ISO 14040/14044*. Tajā ir trīs galvenie soļi – mērķa un darbības jomas definēšana, aprites cikla uzskaitē un ietekmes novērtējums, kā arī interpretācija. Pētījuma jomu var definēt, izklāstot pētījumā iekļauto kvalitatīvo un kvantitatīvo informāciju, kas sākas ar funkcionālās vienības (*FU*) definēšanu, šeit – 100 kWh elektroenerģijas saražošanu. Pētījuma sistēmas robeža ir noteikta no “šūpuļa līdz vārtiem” (1.3. att.), kas ietver divas apakšsistēmas: 1) biomasas apstrādes sistēmu, kas ietver kultivēšanu, mēslošanu, ražas novākšanu, sēšanu, pļaušanu, un transportēšanu; 2) elektroenerģijas ražošanas sistēmu, kas ietver boileri, turbogeneratoru, siltummaini un elektroenerģijas ražošanu. Papildus minētajam pētījuma apjomam tika veikts arī alternatīvu biomasu (kūdras, koksnes un saldo sorgo) salīdzinājums elektroenerģijas ražošanai.



1.3. att. Sistēmas robeža biomasai elektroenerģijas ražošanai (autore ilustrācija).

Aprites cikla uzskaitē ietver materiālus un enerģijas plūsmas, iekārtas un enerģijas ražošanai nepieciešamo infrastruktūru. Kā noteikts standartā *ISO 14044*, datu derīgums jānodrošina vismaz to attiecībā uz ģeogrāfisko izcelsmi, reprezentativitāti, tehnoloģisko efektivitāti un datu avotiem. Sākotnējie dati par kaņepju biomasas pārstrādi elektroenerģijas ražošanai laika posmam no 2007. līdz 2020. gadam apkopoti 1.1. tabulā [8][9]. Uzskaites dati par mēslojumu, transportu, enerģijas avotiem un lauksaimniecības tehniku tika ņemti no *Ecoinvent 3.7.1* datubāzes. Lai saražotu 100 kWh elektroenerģijas, vispirms tika aprēķināts nepieciešamais kaņepju biomasas daudzums (22 kg) (1.1 vienādojums), normalizējot kaņepju biomasas zemāko sadegšanas siltumu un katla elektrisko efektivitāti, kas ir attiecīgi 15,72 kg/MJ [10] un 75 % [11]. Bezdimensiju koeficienta vērtība ir 0,75, kas tiek aprēķināta, ņemot vērā katla efektivitāti.

$$\frac{Kg}{MJ} = D_f, \quad (1.1)$$

kur

$Kg/MJ$  – kaņepju biomasas zemākais sadegšanas siltums;

$D_f$  – bezdimensiju faktors.

Masas bilance 1. un 2. apakšsistēmai tika veikta, izmantojot literatūrā pieejamās kaņepju biomasas vērtības [12][13]. Tiek pieņemts, ka transportēšanas attālums no saimniecības līdz sadedzināšanas iekārtai enerģijas ražošanai ir 50 km. Turklāt apskatīto alternatīvu biomasu – kaņepju, kūdras, koksnes un saldā sorgo – uzskaites dati ir atlasīti tieši no *Ecoinvent 3.7.1* datubāzes [14]. Salīdzinājumam veikts aprēķins, lai no 22 kg biomasas saražotu 100 kWh elektroenerģijas, tāpat kā kaņepju biomasai.

1.1. tabula

Inventarizācijas dati par kaņepju biomasu

<b>Materiāli</b>	<b>Summa</b>	<b>Vienība</b>
<b>1. apakšsistēma. Neapstrādātas kaņepju biomasas apstrāde</b>		
<b>Ievades no tehnosfēras</b>		
Amonija nitrāts	0,62	kg N
Trīskāršs superfosfāts	0,48	kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Kālija hlorīds	0,92	kg K <sub>2</sub> O
Dīzeļdegviela	0,55	Kilograms
Lauksaimniecības tehnika	0,12	kg/ha
Enerģija	2,64	kWh
<b>Izvades uz tehnosfēru</b>		
Kaņepju biomasas	22	kg
Amonjaks	0,019	kg/ha
Slāpekļa monoksīds	0,022	kg/ha
Slāpekļa oksīds	0,002	kg/ha
Oglekļa dioksīds	0,011	kg/ha
Kaņepju biomasas transportēšana	1,1 × 10 <sup>3</sup>	kg·km
<b>2. apakšsistēma. Elektroenerģijas ražošana</b>		
<b>Ievades no tehnosfēras</b>		
Kaņepju biomasas	22	Kilograms
Enerģija	2,64	kWh
<b>Izvades uz tehnosfēru</b>		
Siltums/elektrība	100	kWh
Oglekļa dioksīds	0,00020	kg
Slāpekļa dioksīds	0,34241	kg
Sēra dioksīds	0,83463	kg
Oglekļa monoksīds	24,52529	kg

LCA veikta, izmantojot *IMPACT 2002+ V2.15* ietekmes novērtējuma metodoloģiju *Sima Pro 9.4.0.2* programmā. *IMPACT 2002+* apvieno četras metodes – *IMPACT 2002*, *Eco-*



*indicator, CML un IPCC. Metode piedāvā kombinētās viduspunkta un uz bojājumiem orientētas pieejas ieviešanu [15].*

## **Ekstrakcijas metožu novērtējums šķiedru izstrādei un ēterisko eļļu izmantošanai no latvāņu un augļu mizu atkritumiem**

*MCDA metode izmantota, lai novērtētu un atrastu labāko tehnoloģiju diviem atlasītajiem scenārijiem.*

1. Latvāņu biomasas ekstrakcijas metožu novērtējums, lai iegūtu šķiedrvielu kā pārtikas piedevas produktu (*TOPSIS*).
2. Augļu mizu atkritumu ekstrakcijas tehnoloģiju izvērtējums, lai iegūtu ēterisko eļļu kā farmaceitisku produktu (*TOPSIS*) un analītiskais hierarhijas process (*AHP*).

## **No lauksaimniecības atkritumiem ražotu biopolimēru alternatīvu novērtēšana saskaņā ar ilgtspējības sistēmu**

Lai izstrādātu ilgtspējības sistēmu biopolimēru alternatīvām, ir izvēlēta multidisciplināra pieeja. Metodoloģija sākas ar *Scopus*, *ScienceDirect*, *Web of Science* datubāzēs pieejamās zinātniskās literatūras, Eiropas Bioplastmasas organizācijas informācijas un citu zinātnisku dokumentu analīzi. Pēc tam ietvaram ir pieci soļi.

1. solis. Pētījuma plāna izstrāde, tostarp biopolimēra alternatīvas atlase, vērtēšanas kritēriju izvēle, konkrēti vērtēšanas rādītāji, ņemot vērā ilgtspējības rādītājus.

2. solis. Tika veikta kvantitatīvo datu apkopošana par atlasītajiem indikatoriem katram biopolimēra tipam.

3. solis. Starptautiska mēroga aptauja, kas veikta, lai palīdzētu pieņemt kolektīvu lēmumu, ņemot vērā ieinteresēto pušu perspektīvu.

4. solis. Aptaujas rezultātu *AHP* analīze, lai noteiktu kritēriju svarus.

5. solis. Četru dažādu *MCDA* veikšana, lai pārbaudītu metodes noturību.

Aptaujas metode tika izmantota, lai noteiktu *MCDA* kritēriju svarus. Aptauja tika izplatīta starptautiski ar biopolimēru nozari saistītām ieinteresētajām personām, tostarp vērtību ķēdes dalībniekiem, patērētājiem, maziem un vidējiem uzņēmumiem, zinātniekiem un organizācijām (aptuveni 60 ieinteresētās puses). Aptauja tika veikta, lai saprastu un skaitliski aprakstītu vides, sociālo, ekonomisko, aprites un tehnisko kritēriju nozīmi. Jautājumu grupa tika sadalīta piecās sadaļās. Pirmajā sadaļā – vispārīga informācija par respondenta valsti un ieinteresēto pusi, ko tā pārstāv. Otrā sadaļa veltīta apritīguma kritērija nozīmei, salīdzinot ar pārējiem četriem kritērijiem. Citas sadaļas veltītas vides, sociālo un ekonomisko kritēriju nozīmei, salīdzinot ar pārējiem četriem kritērijiem.

*MCDA* metode ir labākā izvēle, lai novērtētu produkta vai sistēmas ilgtspējību [16]. Šajā pētījumā tiek izmantotas četras *MCDA* metodes, lai pārbaudītu metodes noturību un iegūtu visaptverošus rezultātus. Jāņem vērā, ka katras metodes kritēriju svāri tiek ņemti, balstoties *AHP* analīžu rezultātos. Ilgtspējības inovāciju pilnā *AHP* metode tiek izmantota divos gadījumos: a) lai noteiktu ilgtspējības kritēriju svarus ēterisko eļļu ieguves metodēm; b) lai noteiktu kritēriju

svarus aptaujas respondentiem biopolimēra alternatīvu analizē. AHP metode sadala un analizē problēmu, izmantojot hierarhisku struktūru, kas ietver mērķi, kritēriju un apakškritēriju. AHP metodoloģiju 1980. gados izstrādāja *T. Saaty*, un eksperti salīdzināja atlasītos kritērijus pa pāriem [5]. AHP metodes ietvaros, lai izmērītu nozīmīgumu, tika izmantota daļēji kvantitatīvā analīze. Prioritārie kritēriji un alternatīvas tiek noteikti, izmantojot punktu sistēmu. 1.2. tabulā redzama *Satty* vērtējuma skala.

1.2. tabula

*Satty* skala AHP analīzei

Mērogs	Definīcija
1	Vienlīdz svarīgi
2	Vienlīdzīga līdz mērena nozīme
3	Mērena nozīme
4	Mērena līdz liela nozīme
5	Liela nozīme
6	Liela līdz ļoti liela nozīme
7	Ļoti liela nozīme
8	Ļoti liela līdz ārkārtīgi spēcīga nozīme
9	Ārkārtīgi spēcīga nozīme

Salīdzināšanas matricā katrs kritērijs tiek salīdzināts ar visiem pārējiem kritērijiem. Nākamais solis ir atrisināt īpašvektoru problēmu, pēc kuras tiks sakārtoti kritēriji. Pēc tam tiek aprēķināta pāru salīdzināšanas matricas katras kolonnas summa un ar to izdalītas atbilstošās kolonnas vērtības, tādējādi normalizējot salīdzināšanas matricu. Pēc tam katras rindas vērtības tiek summētas un dalītas ar kritēriju skaitu, lai aprēķinātu katras matricas rindas īpašvektoru. Īpašvektori norāda kritēriju rangus (svaru). AHP metodoloģiju var ieviest trīs galvenajos posmos. Katrs solis ir jāveic, lai atrisinātu lēmumu pieņemšanas matricu ar AHP, kā ir aprakstīts turpmāk.

1. solis. Definēt mērķi, izvēlētos kritērijus un alternatīvas.

2. soli. Salīdzināt elementus citu ar citu pa pāriem jeb divus vienlaikus, ņemot vērā to nozīmīgumu relatīvi pret elementu, kas hierarhijā atrodas virs tiem, un pēc tam strukturēt salīdzināšanas matricu.

3. solis. Ar pāru salīdzināšanas matricas (*A* matrica) palīdzību tiek aprēķināts katra kritērija nozīmīgums, ņemot ģeometrisku vidējo no pāru salīdzināšanas matricām, kas iegūtas no aptaujas. Šajā gadījumā dimensiju matrica ( $n \times n$ ), kas izveidota, izmantojot salīdzināmos kritērijus matricas rindās un kolonnās, ir kvadrātiska (1.2 vienādojums).

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n1} & \alpha_{n2} & \dots & \alpha_{nn} \end{bmatrix}, \quad (1.2)$$

kur

*A* – salīdzināšanas matrica;

$n$  – matricas izmēri.

4. solis. Pēc tam  $A$  matrica tiek normalizēta, lai novērstu pārāk lielas vai pārāk mazas vērtības salīdzināšanas matricā. Katra salīdzināšanas matricas vērtība tiek dalīta ar kolonnas elementu summu. Normalizēto pāru salīdzināšanas matricu iegūst, izmantojot 1.3 vienādojumu.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}}. \quad (1.3)$$

5. solis. Tad maksimālā īpašvērtība ( $\lambda_{\max}$ ) tiek aprēķināta, kā norādīts 1.4 vienādojumā.

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(Aw)_i}{w_i}. \quad (1.4)$$

6. solis. Pēc tam, izmantojot 1.5 vienādojumu, tiek aprēķināts konsekvences indekss ( $CI$ ), kas paredzēts salīdzināšanas  $A$  matricas konsekvences attiecības pārbaudei.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}. \quad (1.5)$$

$CI$  norāda uz kognitīvās  $A$  matricas raksturīgā vienādojuma atlikušo atrisinājumu vidējo vērtību (1.3. tab.).

1.3. tabula

Nejaušais konsekvences indekss

Matricas izmērs ( $n$ )	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nejaušs vidējais $CI$ ( $r$ )	0	0	0,52	0,89	1,11	1,24	1,35	1,40	1,45	10,49

Salīdzināšanas matricas konsekvences koeficients ( $CR$ ) paredzēts, lai izslēgtu neatbilstības, un tiek aprēķināts, izmantojot 1.6 vienādojumu.

$$CR = \frac{CI}{RI}, \quad (1.6)$$

kur

$RI$  – nejaušības indekss;

$CR$  – novērtē ekspertu vērtējumus.

Ja  $CR \leq 0,1$ , neatbilstības rādītājs ir pieņemams.

Nākamais solis metodoloģijā ir AHP svaru iekļaušana  $MCDA$  metodēs, īpaši  $TOPSIS$ ,  $MOORA$ ,  $COPRAS$  un  $VIKOR$  metodēs, ko izmanto analīzei.

## 1.2. Tirgus inovācijas

Veiksmīga pāreja uz ilgtspējību lauksaimniecības nozarē varētu notikt radikālu inovāciju rezultātā, ko galvenokārt veicinātu ieinteresētās puses, uzņēmumi vai valdības organizācijas. Inovāciju pārneses organizācijas atbalsta inovāciju komercializāciju, mazinot plaisu starp investoriem (biznesa domāšana) un akadēmiķiem (zinātniskā domāšana), izmantojot programmas, ko atbalsta vietējās vai starptautiskās ieinteresētās puses. No vienas puses, tā ir konstruktīva pieeja, kā komercializēt izgudrojumu un apvienot divas puses ar dažādiem viedokļiem. Tomēr tai ir arī daži priekšnosacījumi un šķēršļi, un tam ir nepieciešama abu pušu uzticēšanās. Lai biopolimērus noteiktu par prioritāti bioekonomikā, obligāti jānovērtē tirgus dalībnieku iespējas pieņemt lēmumus par iepakojuma materiālu komercializāciju. No lauksaimniecības resursiem ražotu produktu ar pievienoto vērtību tirgus inovāciju pārnesei ir četri secīgi soļi.

1. solis. Pirmais posms lauksaimniecības atkritumu valorizācijas veicināšanā ir resursu pieejamība; resursiem vajadzētu būt vietējo avotu, nevis pašauties uz importu. Šajā gadījumā novērtējums tiek veikts, pamatojoties uz resursu pieejamību.

2. solis. Tehnoloģijai jābūt pieejamai komerciālā līmenī. Pat tad, ja tehnoloģija ir visprogresīvākā, tai jābūt plaši pieejamai. Ja tā nav, tad jāatgriežas pirmajā solī.

3. solis. *GE-McKinsey* matrica, ko izmanto tirgus novērtējumiem, ir lēmumu pieņemšanas matrica, kas izmantota šajā scenārijā. Aprēķiniem apkopoti dati par ekonomiku, tehnoloģijām, tirgus konkurētspēju un produktiem. Kad ir iegūti secinājumi, dati tiek ievadīti lēmumu pieņemšanas matricā. Pozitīvs aprēķina rezultāts ne vienmēr atspoguļo faktisko situāciju; vairumā gadījumu ir nepieciešama matricas vizualizācija. Zinātniskie raksti, aktuālie dati par augiem un ikgada pārskati kalpo kā informācijas avoti matricai. Pamatojoties uz savāktu informāciju, dati tiek analizēti un *GE-McKinsey* matricā parādīti divās dimensijās (tirgus pievilcība un produkta konkurences priekšrocības). Primārie dati tiek iegūti no tādiem informācijas avotiem kā zinātniskās pētniecības raksti.

4. solis. Vizualizēt rezultātus un ierosināt turpmāku izpēti par jaunu produktu ražošanu valstī kopumā vai tur, kur bioprodukti tiek ražoti un kur ir pieejami vietējie resursi.

### **Datu vākšanas un novērtēšanas tehnika**

Tirgus analīze tiek veikta, izmantojot primāros datus. Literatūras analīze tiek veikta, lai savāktu datus par katru rādītāju *GE-McKinsey* analīzē. Pirmie divi soļi attiecas uz resursu pieejamības un tehnoloģiskās attīstības rādītājiem, kas tiek uzskatīti par tirgus konkurences priekšrocībām. Resursiem ir galvenā nozīme uzņēmuma vides sniegunā, lai nodrošinātu procesu efektivitāti, un videi draudzīgas tehnoloģijas būtiski ietekmē uzņēmuma ilgtspējīgu praksi. Tirgus pievilcībai tiek novērtēti septiņi galvenie rādītāji: tirgus izmērs; tirgus pieauguma temps; tirgus peļņa; cenu jutīgums; izejvielu pieejamība; ražošanas izmaksas. Tirgus konkurētspējas priekšrocības tiek novērtētas, balstoties sešos galvenajos rādītājos, kas ietver

pieprasījumu, tirgus daļu, resursu pieejamību, pārdošanas cenu, tehnoloģiju vides ietekmi un produktu kvalitāti.

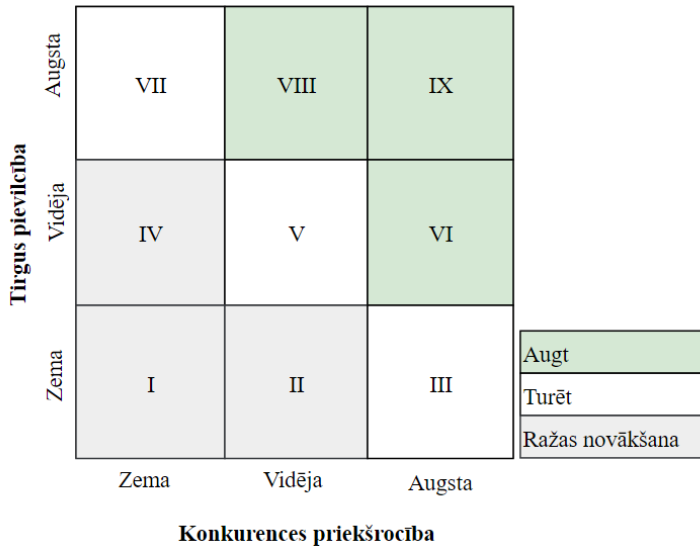
Likerta skala ir plaši izmantota skala, kas parāda preferences rezultātiem, kas iegūti, izmantojot kvantitatīvos un kvalitatīvos indikatorus. Lēmumu pieņēmējs var izmantot Likerta skalu, lai novērtētu un salīdzinātu dažādu projektu rezultātus. Attiecībā uz tirgus pievilcību, vērtējums ir veidots piecu ballu skalā, kur 1 – ļoti nepievilcīgs, 5 – ļoti pievilcīgs. Tiek atlasīti septiņi tirgus pievilcības rādītāji, tostarp tirgus lielums, pieauguma temps, rentabilitāte, cenu jutīgums, piekļuve izejvielām un ražošanas izmaksas. Katrs rādītājs tiek vērtēts atšķirīgi, pamatojoties uz ārējo svarīguma skalu. Tirgus lielums tiek noteikts, ņemot vērā potenciālos klientus vai pircējus iepakojuma tirgū, kur ārējās svarīguma skala ir iestatīta no maza (1) līdz lielam (5) tirgus izmēram. Tirgus pieauguma temps tiek noteikts, pamatojoties uz paredzamo iepakojuma nozares izaugsmi līdz 2030. gadam, kur ārējās nozīmes skala ir noteikta no zema (1) līdz augstam (5) pieauguma tempam. Tirgus peļņa tiek noteikta, pamatojoties uz ekonomisko faktoru, cik daudz līdzekļu uzņēmums piesaistījis pēc visu izdevumu atskaitīšanas, un skala ir iestatīta no zemas (1) līdz augstai (5). Cenas jutīgumu nosaka preces cena, kas ietekmē patērētāju iegādes lēmumus, kas tiek vērtēta skalā no augstas (1) līdz zelai (5). Piekļuve izejvielām norāda primārajai ražošanai nepieciešamo izejvielu pieejamību, kas tiek noteikta, pamatojoties uz skalu no sarežģītas (1) līdz vieglai (5). Visbeidzot, ražošanas izmaksas ietver dažādus izdevumus, piemēram, izejvielas, darbspēku, ražošanas piegādes un vispārējās pieskaitāmās izmaksas, tās nosaka, pamatojoties uz skalu no augstas (1) līdz zelai (5).

Tirgus konkurences priekšrocību novērtējumā izmantota piecu punktu vērtēšanas sistēma, kur 1 apzīmē ļoti zemu konkurences priekšrocību, 5 – ļoti augstu konkurences priekšrocību. Katrs rādītājs tiek vērtēts individuāli. Lielāks pieprasījums pēc produkta tiek novērtēts ar 5, zemāks pieprasījums – ar 1. Tirgus daļa tiek novērtēta ar 10–100 % vērtējumu, piemēram, 1 apzīmē 0–20 %, 2 apzīmē 21–40 %, 3 apzīmē 41–60 %, 4 apzīmē 61–80 %, 5 apzīmē 81–100 %. Runājot par resursu pieejamību, 1 nozīmē, ka resursam ir grūti piekļūt, savukārt 5 norāda, ka resurss ir viegli pieejams. Pārdošanas cena ir novērtēta ar 1 (zemākā), 5 (augstākā) pārdošanas cenai. Tehnoloģijas draudzīgums ar vidi tiek novērtēts, pamatojoties uz tās ietekmi uz vidi ražošanas procesa laikā, kur 1 apzīmē nelielu vai nekādu pozitīvu ietekmi uz vidi, 5 – ļoti pozitīvu tehnoloģijas ietekmi uz vidi. Visbeidzot, kvalitāte tiek novērtēta, pamatojoties uz biopolimēra kušanas temperatūru, kur 5 norāda augstu biopolimēra kušanas temperatūru ar ļoti augstu konkurences priekšrocību, 1 – zemu kušanas temperatūru ar ļoti zemu konkurences priekšrocību.

### ***GE-McKinsey tirgus analīze***

*GE-McKinsey Matrix* tehnika ietver deviņus moduļus vai kvadrantus, lai norādītu tirgus aspektus iespējamiem jauniem bioproduktiem. *GE-McKinsey* matricas pieeja ir pielāgota, lai ņemtu vērā faktorus un ierobežojumus, tostarp vides aizsardzības prasības ražošanas procesam un produkta ilgtspējībai. Tā parāda konkrēta produkta konkurētspēju, nevis uzņēmuma konkurētspēju. No rezultātu analīzes iespējams rast ieskatu arī par produkta tirgus perspektīvām. Šī matrica parāda līdzīgu pieeju kā *Boston Consulting Group* matrica. *GE-McKinsey* matrica tiek bieži izmantota produktu portfeļu pārvaldībai un konkurences scenāriju izpētei. 1.4. attēlā

[17] parādīta *GE-McKinsey* matrica, kurā zaļajos kvadrantos iekļautajiem produktiem ir augsta veikspēja un komercializācijas potenciāls. Produkti, kas atrodas pelēkajos kvadrantos, ir jāanalizē un jāuzlabo līdz brīdim, kad tie parādās zaļajos kvadrantos.



1.4. att. *GE-McKinsey* matrica piemērs [17].

Zaļie kvadranti ir attīstības zona, kas nozīmē, ka produktam ir spēcīga konkurētspēja un pievilcība tirgū. Ja produkts atrodas turēšanas zonā, tas liecina, ka tam ir nepieciešamas atbilstošas stratēģijas, lai veicinātu tā augstāku vērtību. Ja produkts atrodas ražas novākšanas apgabalā, tam ir zemas konkurences priekšrocības un tirgus pievilcība [18]. Šīs matricas priekšrocība ir lielāka mainīgo daudzveidības uzskaitē nekā *Boston Group* matricā, un to ir vieglāk uztvert vizuāli. Deviņi kvadranti un trīsreiz trīs režģis nodrošina *GE-McKinsey* matricas lielākus izmērus. Turpretim Bostonas grupas matricā ir tikai četri kvadranti un divi reiz divi režģis [19].

### Tirgus pievilcība

Tirgus pievilcība aizstāj tirgus izaugsmi kā nozares pievilcības mērauklu. Tā attiecas uz peļņas iespējām produkta tirgū vai nozarē. Tirgus pievilcību var aprēķināt ar 1.7 un 1.8 vienādojumu.

$$M_a = \frac{(z \cdot k)}{100}, \tag{1.7}$$

kur

$M_a$  – tirgus pievilcības kopvērtējums;

$z$  – noteiktais vērtējuma rezultāts.

$$k = \frac{100}{(f \cdot B_{\max})}, \tag{1.8}$$

kur

$k$  – koeficients;

$f$  – faktoru skaits;

$B_{\max}$  – maksimālais vērtējuma rezultāts.

### **Tirgus konkurences priekšrocības**

Tirgus konkurences priekšrocības attiecas uz scenāriju vai notikumu, kas piedāvā uzņēmumam konkurētspējīgu vai augstāku pozīciju tirgū. Šajā pētījumā tiek novērtēta produkta konkurences priekšrocība. Relatīvās konkurences priekšrocības var aprēķināt, izmantojot 1.9 vienādojumu.

$$R = \left( \frac{B}{B_{comp}} - 1 \right) \cdot 100 \%, \quad (1.9)$$

kur

$R$  – produkta konkurences priekšrocību relatīvais rādītājs;

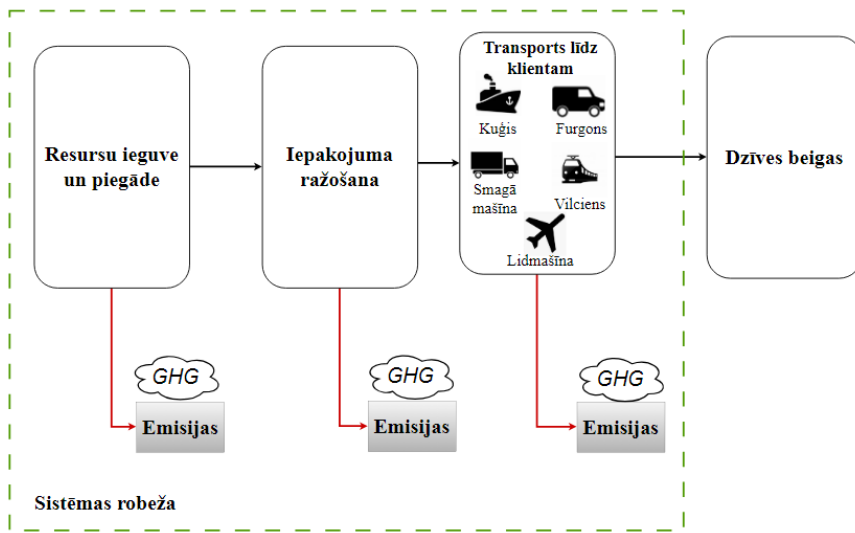
$B$  – jaunu produktu rezultātu novērtējums;

$B_{comp}$  – spēcīgākā konkurenta rezultāta novērtējums.

## **1.3. Sistēmas inovācijas**

Lai veicinātu iepakojuma materiālu un produkta ilgtspējīgu izmantošanu, ir analizēts reāla gadījuma piemēra scenārijs par oglekļa pēdas nospieduma kalkulatora ieviešanu iepakojuma nozarē. Iepakojuma produktu tiešsaistes tirgum (vietnei) tika izstrādāts rīks, kas informē klientus par iepakojuma produktu oglekļa pēdu un ļauj novērtēt, kura no izvēlētajām iepakojuma alternatīvām no vides viedokļa ir vispiemērotākā. Tiešsaistes tirgus piedāvā klientiem iespējas izvēlēties dažādus iepakojuma parametrus, piemēram, materiāla un produkta veidu, biežumu un izmēru. Pēc tam klientam tiek nodrošināts izvēlēto alternatīvo variantu izmaksu salīdzinājums, ņemot vērā dažādus transporta veidus un attālumus no ražotāja; sekojot labās prakses piemēriem, kas atrodami literatūrā, iepakojuma produktu tiešsaistes tirgus tiecas virzīt klientus uz videi draudzīgākiem lēmumiem, ieviešot vēlējamās savā platformā ieviest oglekļa pēdas novērtējuma rīku.

Pētījuma mērķis bija izstrādāt oglekļa pēdas nospieduma novērtēšanas rīku iepakojuma materiāliem, kas tiek izplatīti tiešsaistes tirgus vietnē. Sistēmas robeža, ko izmanto oglekļa pēdas nospieduma novērtēšanā, tiek definēta no “šūpuļa līdz vārtiem” ieskaitot transportēšanu līdz klientam, izejvielu ieguves posmu, iepakojuma izgatavošanu un transportēšanas scenārijus līdz klientam. Pētījuma sistēmu robežas parādītas 1.5. attēlā.



1.5. att. Sistēmas robeža oglekļa pēdas nospieduma novērtēšanai (autores ilustrācija).

Dati par pētījumā ietvertajiem procesiem un produktiem, kas tiek izmantoti noteiktajās sistēmas robežās, tiek iegūti no tiešsaistes tirdzniecības uzņēmuma, piemēram, par dažādiem iepakojuma biežumiem un materiāla blīvumu. Pārējie dati par konkrētu materiālu ražošanas procesu, resursu iegūvi, SEG emisijām un iespējamajiem transportēšanas veidiem tiek iegūti no *Ecoinvent* datubāzes. Kopējo CO<sub>2</sub> pēdas nospiedumu mēra no kopējām SEG emisijām, kas saistītas ar visām darbībām. Funkcionālā vienība (*FU*) pētījumā ir 1 cm<sup>2</sup> iepakojuma, kas ir noteikta par atsauces vienību iepakojuma dzīves cikla laikā definētajās sistēmas robežās radītās ietekmes uzskaitē.

Dzīves cikla uzskaitē nosaka sistēmas ievades un izvades apjomu, kas ir jānormalizē attiecībā pret *FU*. Kvantitatīvos datus par materiālu variācijām un parametriem nodrošina tiešsaistes iepakojuma tirgus uzņēmums. Sistēmas ievades ietver dažādus materiālus, to blīvumu un biežumu. Transportēšanas scenārijam iepakojuma materiālu izplatīšanai tiek izmantoti dažādi transporta veidi. Ģeogrāfiski globālais tirgus tika izvēlēts visiem transporta veidiem, izņemot kravas automašīnas. Kravas automašīnu pārvadājumiem tika izvēlēts Eiropas tirgus. Sistēmas izvades ietver SEG emisijas, kur ietekmes uz vidi novērtējumā tiek ņemtas vērā CO<sub>2</sub> emisijas. Kā noteikts *ISO 14044* standartā, ir jānodrošina datu derīgums vismaz attiecībā uz to ģeogrāfisko izcelsmi, reprezentativitāti, tehnoloģisko efektivitāti un datu avotiem. Oglekļa pēdas nospiedums tiek aprēķināts, pamatojoties uz *GWP100*, izmantojot *IPCC 2021* metodoloģiju *SimaPro 9.4* programmatūrā. *IPCC 2021* ir *IPCC 2013* metodes pēctecē, ko izstrādājusi *IPCC* [20]. Tajā ir iekļauti *IPCC GWP* klimata pārmaiņu faktori 100 gadu laikposmā.

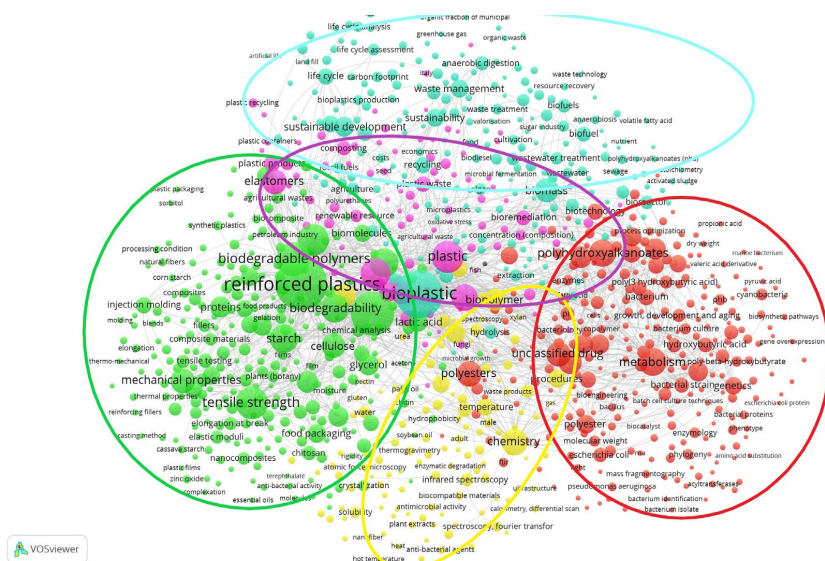


## 2. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

### 2.1. Ilgtspējības inovāciju rezultāti

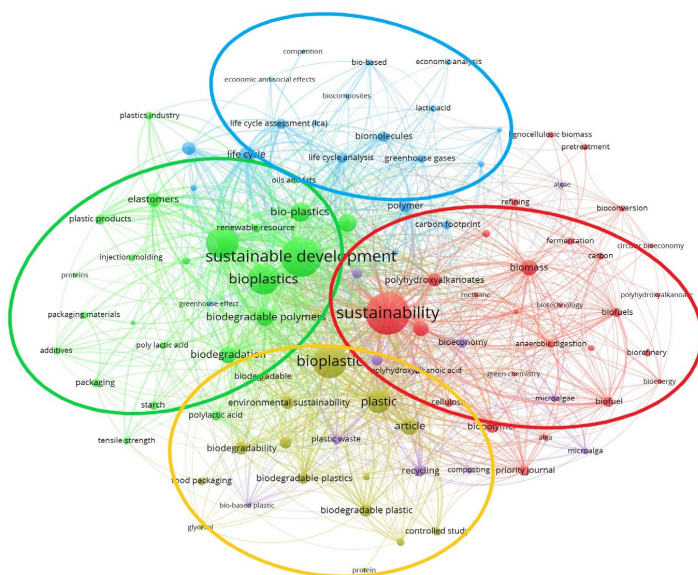
#### Biopolimēru bibliometriskās analīzes rezultāti

Atslēgvārdu līdzsaprādīšanās analīze tika veikta, analizējot dažādus atslēgvārdus un kombinācijas. Šī analīze tiek veikta, ietverot 2723 zinātniskus dokumentus, kas ievērti *Scopus* datubāzē. Tika noteikts, ka minimālais atslēgvārdu līdzsaprādīšanās skaits ir 5. Vispārīgās līdzsaprādīšanās publikāciju kopsavilkumu un atslēgvārdu līmenī vizualizētas kā katra klastera galvenie atslēgvārdi, jo tie raksturo klastera galvenās pētniecības tēmas biopolimēru kontekstā.



2.1. att. Atslēgvārda “bioplastmasa” (“*bioplastic*”) līdzsaprādīšanās vizualizācija.

Kritiskās izpētes jomas varētu būt (2.1. att.): a) biopolimēru tehniskās īpašības (zaļais kopa); b) ilgtspējīga biopolimēru ražošana (zilais kopa); c) biopolimēru klasifikācija (sarkanais kopa); d) biopolimēru īpašības (rozā kopa); e) plastmasas noārdīšanās (dzeltenais kopa). Atslēgvārdu “bioplastmasa” un “ilgtspējība” bibliometriskā analīze redzama 2.2. attēlā. Atslēgvārdu “bioplastmasa” un “ilgtspējība” līdzsaprādīšanās galveno pētniecības jomu var formulēt šādi: a) bioplastmasas ilgtspējīga attīstība (zaļais kopa); b) bioekonomikas koncepcija (sarkanais kopa); c) bioloģiski noārdāmās plastmasas (dzeltenais kopa); d) novērtēšanas metodoloģijas (zilais kopa).



2.2. att. Atslēgvārdu “bioplastmasa” (“*bioplastic*”) un “ilgtspējība” (“*sustainability*”) līdzāspārādīšanās vizualizācija.

Atslēgvārdu “lauksaimniecība” un “atkritumi un biopolimērs” bibliometriskā analīze redzama 2.3. attēlā. Sarkanais klasteris parāda atslēgvārdu “lauksaimniecības atkritumi”, “valorizācija” un “biopolimēri” būtiskākās līdzāspārādīšanās. Tas ietver arī terminus “bioloģiski noārdāmi polimēri”, “ilgtspējīga attīstība” un “biomolekulas”. Zilajā klasterī ir ietverti termini, kas saistīti ar biomasas lietojumu (biodeģviela un biogāze), piemēram, pārtikas rūpniecība, atkritumu apsaimniekošana, ilgtspējība, hidrolīze un polisaharīdi.

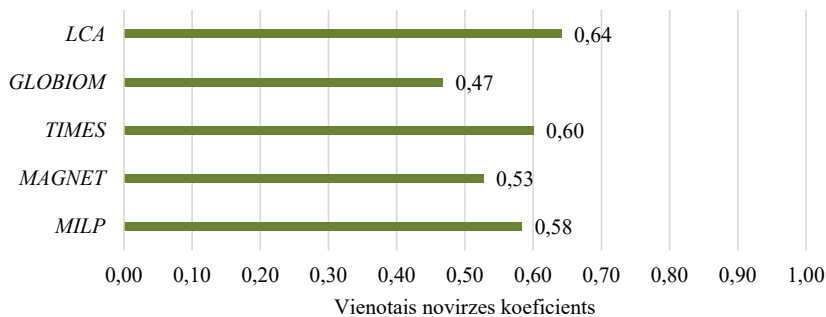
Zaļais klasteris attiecas uz lauksaimniecības darbībām ar lauksaimniecības atkritumiem, notekūdeņiem un notekūdeņu apsaimniekošanu ar nanotehnoloģiju un bioloģisko savietojamību. Dzeltenais klasteris attiecas uz bioloģiskajiem procesiem, tostarp metabolismu, fermentāciju, ekstrakciju, biosintēzi, izolāciju un attīrīšanu. Visbeidzot, purpursarkanais klasteris parāda saikni starp bioplastmasu (polihidroksialkenoātiem), atkritumu plūsmām (rūpnieciskie atkritumi un atkritumu apsaimniekošana) un audu inženierijas biomateriāliem. Šis klasteris attiecas uz biopolimēru lietojumu biomedicinā. Galvenās pētniecības jomas, kas balstās atslēgvārdu “lauksaimniecība” un “atkritumi” un “biopolimērs” līdzāspārādīšanās faktā, varētu būt: a) lauksaimniecības atkritumu apsaimniekošana (zaļais kopa); b) biopolimēri (sarkanais kopa); c) bioprodukti (zilais kopa); d) rūpniecības atkritumi (violetais kopa); e) bioloģiskie procesi (dzeltenā kopa).



Bioekonomikas modelēšanas rīku daļēji kvantitatīvās analīzes rezultāti

Kritēriji	Apakškritēriji	MILP	MAGNET	TIMES	GLOBIOM	LCA
Dokumentācijas aspekti	Ekonomiskie	2	3	1	3	1
	Sociālie	2	3	1	4	1
	Vides	2	3	1	3	1
Elastīgums	Ekonomiskie	1	2	2	2	1
	Sociālie	1	2	2	4	1
	Vides	1	2	2	3	1
Saderība	Ekonomiskie	2	4	2	2	2
	Sociālie	2	4	2	4	3
	Vides	2	4	2	2	2
Daudzveidība	Ekonomiskie	2	3	1	2	2
	Sociālie	2	3	2	3	2
	Vides	2	3	1	2	2
Derīgums	Ekonomiskie	2	2	1	3	2
	Sociālie	2	2	2	4	2
	Vides	2	2	2	3	1
Efektivitāte	Ekonomiskie	3	2	2	2	1
	Sociālie	3	2	2	4	1
	Vides	3	2	2	2	1
Lietotājdraudzīgums	Ekonomiskie	2	3	1	3	1
	Sociālie	2	3	1	4	1
	Vides	2	3	1	3	1

Katra modeļa tuvuma koeficienta vērtības parāda modeļa efektivitāti, un, pamatojoties uz to, modeļi tika saranzēti. Ideālā gadījumā vienotais novirzes koeficients (attiecība) tiek uzskatīts par 1, tāpēc ranžējums ir balstīts attālumā, cik tālu vērtējums ir no ideālā novirzes koeficienta 1. Piemēram, *LCA* modelim tiek iegūts rezultāts, kas vistuvāk koeficientam 1, tāpēc tas tiek ierindots 1. vietā. Modeļi *TIMES*, *MILP*, *MAGNET* un *GLOBIOM* attiecīgi ir sarindoti 2., 3., 4. un 5. vietā. Grafiks tiek veidots, pamatojoties uz tuvuma koeficientiem (2.4. att.). Grafikā redzams, ka *MCDA* rezultāti uzrāda augstāku vērtējumu *LCA* modelim, jo tas iegūst augstākajam novirzes koeficientam tuvāko vērtību (0,64). Zemākās vērtības ir iegūtas *GLOBIOM* (0,47) un *MAGNET* (0,53) modeļiem, salīdzinot ar citiem modeļiem, kas uzrāda mazāku efektivitāti bioresursu novērtēšanā. *MILP* modeļa atvasinātais rezultāts ir 0,58. Savukārt *TIMES* modelim ir augsta dokumentācija, elastība, savietojamība un efektivitāte, tāpēc rezultāts ir 0,60. Kopumā *MCDA* analīze atklāj vispiemērotāko bioekonomikas modelēšanas rīku (*LCA*), lai novērtētu bioresursu pievienoto vērtību lauksaimniecības sektorā.



2.4. att. Modelēšanas rīku novērtējuma *TOPSIS* rezultāti.

## Scenārija izvērtēšanas rezultāti bioenerģijas ražošanai no kaņepju biomasas

Apkopojot ekspertu vērtējumus par dažādu kaņepju produktu grupu atbilstību sešiem ilgtspējības kritērijiem parastā scenārijā jeb apstākļos, kad nav krīzes, tiek iegūta normalizēta lēmumu matrica. Papildus pievienoti ekspertu vērtējuma kritēriju svāri, kuru mērķis bija sarindot kritēriju nozīmīgumu, apstākļos, kad nav krīzes. Eksperti kā svarīgākos kritērijus ierindoja ekonomiskos un vides aspektus ar svaru 0,20, pārējos kritērijus novērtējot līdzvērtīgi ar 0,15 (2.2. tab.).

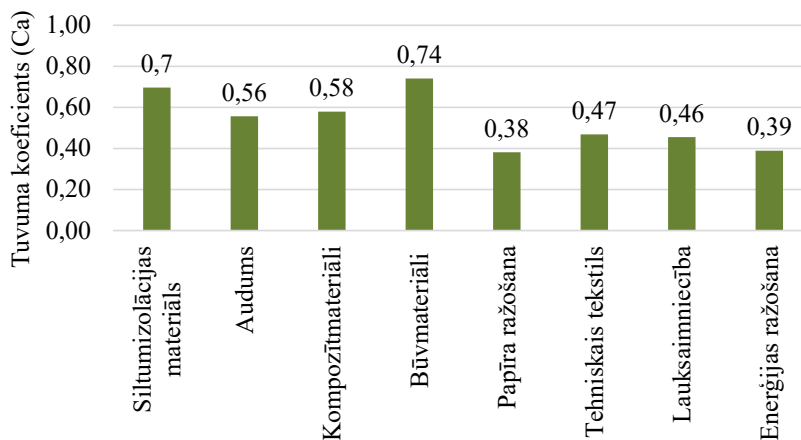
2.2. tabula

Normalizēta lēmumu matrica parastam scenārijam, kad nav krīzes apstākļu

Kritēriji	Siltumizolācija	Audums	Kompozītmateriāli	Būvmateriāli	Papīra ražošana	Tehniskais tekstils	Lauksaimniecība	Enerģija	Kritēriju svāri
Resursu pieejamība	0,325	0,217	0,325	0,542	0,325	0,325	0,434	0,217	0,15
Tehnoloģiskie aspekti	0,435	0,348	0,261	0,435	0,261	0,348	0,348	0,348	0,15
Ekonomiskie aspekti	0,470	0,376	0,376	0,376	0,188	0,188	0,376	0,376	0,20
Vides aspekti	0,408	0,408	0,408	0,327	0,327	0,408	0,245	0,245	0,20
Klimata pārmaiņu aspekti	0,399	0,399	0,319	0,319	0,319	0,399	0,239	0,399	0,15
Aprites ekonomikas aspekti	0,328	0,410	0,410	0,410	0,410	0,410	0,164	0,164	0,15
								<b>Kopā</b>	<b>1,00</b>

*TOPSIS* aprēķini, salīdzinot astoņus kaņepju produktus apstākļos, kad nav krīzes, tika izmantoti, lai noteiktu ideālajam pozitīvajam risinājumam (1,00) vistuvāko produktu grupu (2.5. att.). Izvēlēto kaņepju produktu grupu tuvums ideālajam pozitīvajam risinājumam liecina par to noturīgu atbilstību sešiem ilgtspējības kritērijiem. Turpretim tuvums ideālajam negatīvajam risinājumam liecina par pretējo. Vistuvāk ideālajam pozitīvajam risinājumam ir

būvmateriālu un siltumizolācijas ražošana ar vērtībām attiecīgi 0,74 un 0,70. Savukārt vissliktākie rezultāti ir enerģijas un papīra ražošanai, attiecīgi 0,39 un 0,38. Visi astoņi salīdzinātie produkti ir tālu no pozitīvā ideālā risinājuma. Labākais un otrs labākais sniegums atšķiras tikai par 0,04 vienībām. Tomēr būvmateriālu ilgtspējības rādītāji ir gandrīz par 50 % labāki nekā papīra ražošanai no kaņepēm. Tā ir būtiska atšķirība, kas norāda, ka MCDA analīze, kas balstīta pētījumā izmantotajos kritērijos, liecina, ka būvmateriālu ražošana no kaņepēm ir ilgtspējīgāka nekā papīra un enerģijas ražošana no kaņepēm.



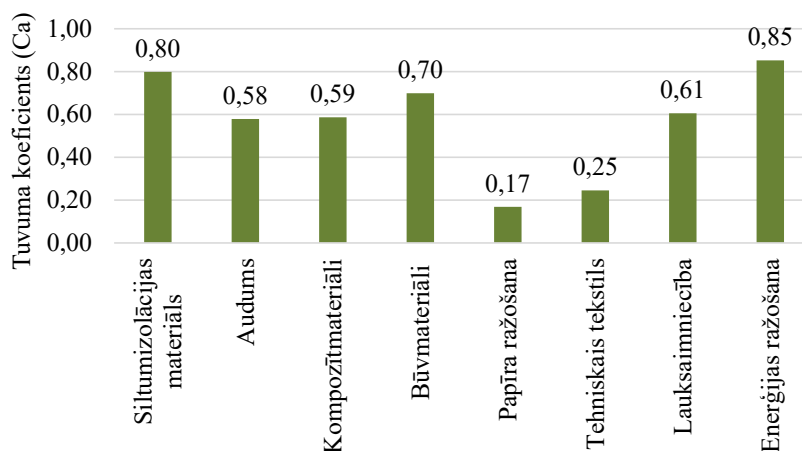
2.5. att. TOPSIS rezultāti kaņepju produktiem apstākļos, kad nav krīzes.

Taču, ja izvēršas globāla un valsts ekonomikas un enerģētiskā krīze, tad apstākļi mainās. Šādā scenārijā visi potenciālie enerģijas avoti ir jāvērtē atšķirīgi, jo fosilā kurināmā cena varētu kļūt daudz augstāka. Normalizēta lēmumu matrica tika izveidota, apvienojot ekspertu scenāriju vērtējumus enerģētikas vai ekonomiskās krīzes apstākļiem (2.3. tab.), pēc tam tika pievienoti kritēriju svāri ekspertu vērtējumā krīzes apstākļu scenārijā. Situācijas maiņa skaidri redzama arī ekspertu vērtējumā. Krīzes apstākļos eksperti ekonomisko aspektu vērtē kā daudz nozīmīgāku – ar 0,40 punktiem. Turpretim resursu pieejamībai, tehnoloģiskajiem aspektiem un klimata pārmaiņām – 0,15. Vismazākie svāri krīzē ir vides aspektiem (0,10) un aprites ekonomikas aspektiem (0,05).

Normalizēta lēmumu matrica enerģētikas vai ekonomiskās krīzes situācijai

Kritēriji	Siltumizolācija	Audums	Kompozītmateriāli	Būvmateriāli	Papīra ražošana	Tehniskais tekstils	Lauksaimniecība	Enerģija	Kritēriju svāri
Resursu pieejamība	0,291	0,194	0,291	0,486	0,291	0,291	0,389	0,486	0,15
Tehnoloģiskie aspekti	0,435	0,348	0,261	0,435	0,261	0,348	0,348	0,348	0,15
Ekonomiskie aspekti	0,453	0,362	0,362	0,362	0,181	0,181	0,362	0,453	0,40
Vides aspekti	0,408	0,408	0,408	0,327	0,327	0,408	0,245	0,245	0,10
Klimata pārmaiņu aspekti	0,399	0,399	0,319	0,319	0,319	0,399	0,239	0,399	0,15
Aprites ekonomikas aspekti	0,307	0,383	0,383	0,383	0,383	0,383	0,153	0,383	0,05
								<b>Kopā</b>	<b>1,00</b>

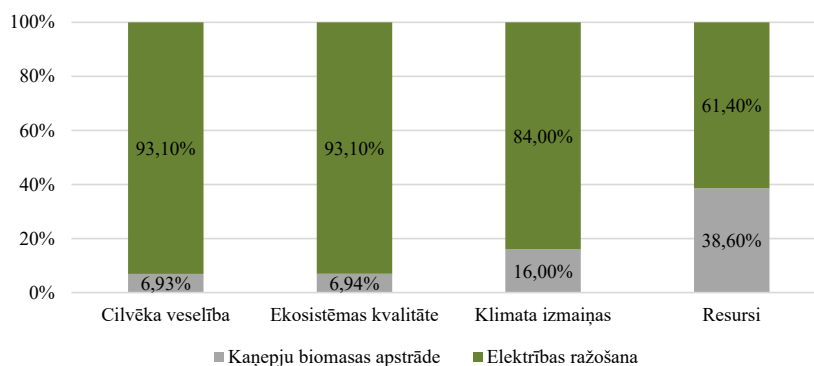
*TOPSIS* aprēķini, salīdzinot astoņus kaņepju produktus enerģētikas vai ekonomiskās krīzes apstākļos, izmantojot pozitīvajam ideālajam risinājumam (1,00) tuvākā risinājuma atrašanas metodi, deva rezultātus, kas redzami 2.6. attēlā. Enerģijas ražošana un siltumizolācija ir vistuvāk pozitīvajam ideālajam risinājumam 1,00 ar vērtībām attiecīgi 0,85 un 0,80. Savukārt viszemākās vērtības ir tehniskajiem materiāliem un papīra izstrādājumiem, attiecīgi 0,25 un 0,17. Enerģijas ražošana ir pietuvojusies ideālajam risinājumam. Arī siltumizolācija ir pietuvojusies ideālajam pozitīvajam risinājumam, jo tās izmantošana var samazināt enerģijas patēriņu mājokļos. Labākais un otrs labākais novērtējums atšķiras tikai par 0,05 vienībām. Pārējie seši salīdzinātie produkti atrodas tālāk no ideālā pozitīvā risinājuma. Tomēr enerģijas ražošanas ilgtspējības rādītāji ir par 80 % augstāki nekā papīra ražošanai no kaņepēm. Tā ir būtiska atšķirība, kas liecina par papildu analīzes nepieciešamību un kaņepju izmantošanas prioritāšu pielāgošanas ekonomiskās krīzes apstākļos.

2.6. att. *TOPSIS* rezultāti kaņepju produktiem enerģētikas vai ekonomiskās krīzes apstākļos.

### LCA rezultātu interpretācija

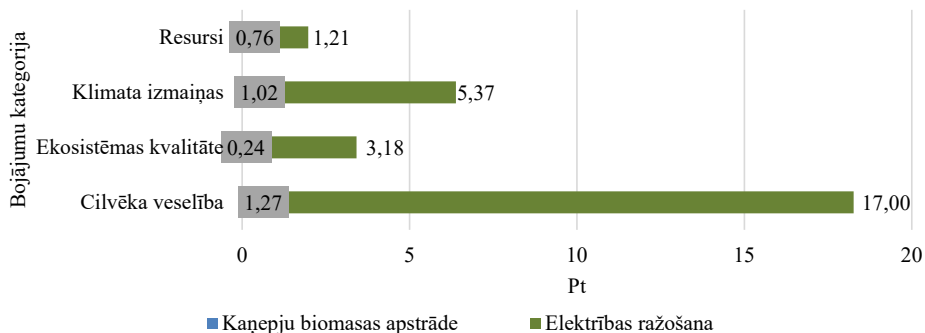
Rezultāti parāda apakšsistēmu ieguldījumu kopējās iespējamās ietekmes katrā kategorijā. Neapstrādātas kaņepju biomasas pārstrādes apakšsistēma uzrāda zemu ietekmi uz vidi visās kategorijās. Tajā pašā laikā elektroenerģijas ražošanas apakšsistēma ir atbildīga par lielāko daļu vides kaitējuma visās ietekmes kategorijās. Globālās sasilšanas kategorijā elektroenerģijas ražošana ir atbildīga par  $5,31 \times 10^1$  kgCO<sub>2</sub> ekv. uz *FU*. Vislielākā ietekmes uz vidi daļa ir ūdens ekotoksicitātei  $1,4 \times 10^4$  kg TEG ūdens uz *FU*.

Ietekmes uz vidi daļa elektroenerģijas ražošanai no neapstrādātas kaņepju biomasas četrās galvenajās kaitējuma kategorijās (klimata pārmaiņas, ekosistēmas kvalitāte, cilvēku veselība un resursu izmantošana) redzama 2.7. attēlā. Viduspunkta ietekmes kategoriju apkopošana bojājumu kategorijās tiek panākta, izmantojot noteiktu raksturojošo faktoru kopu, ko nosaka izvēlētā LCA metode. Kā redzams, elektroenerģijas ražošana dramatiski ietekmē cilvēku veselību un ekosistēmas kvalitāti. *IMPACT 2002+* metode ļauj svēruma koeficientiem izstrādāt vienu punktu vienību visām kategorijām (ekopunkti, Pt). Tas ļauj salīdzināt dažādas bojājumu kategorijas. Kategoriju salīdzinājums ļauj noteikt, kura kategorija kopumā ir ietekmēta visvairāk, kā arī apkopot visas kategorijas, kā redzams 2.8. attēlā. Kopumā vienotais vērtējums par elektroenerģijas ražošanu no neapstrādātas kaņepju biomasas ir 30 Pt, un elektroenerģijas ražošanas apakšsistēma rada vislielāko ietekmes daļu ar 26,8 Pt, tai seko neapstrādātas kaņepju biomasas pārstrādes apakšsistēma ar 3,28 Pt. Vairāku biomasas veidu salīdzinājums redzams 2.4. tabulā, lai pārbaudītu neapstrādātas kaņepju biomasas saderību elektroenerģijas ražošanai. Globālās sasilšanas ietekmes kategorijā elektroenerģijas ražošana no kūdras ir vislielākā ietekme ar  $1,2 \times 10^2$  kg CO<sub>2</sub> ekv. uz *FU*.



2.7. att. Bojājumu novērtējuma rezultāti kaņepju biomasai elektroenerģijas ražošanai.





2.8. att. Svērtie summārie rezultāti par kaņepju biomasu elektroenerģijas ražošanai.

Turpretim vismazākā ietekme ir saldo sorgo biomasai ar 2,3 kg CO<sub>2</sub>ekv. uz *FU*. Elektroenerģijas ražošanai no kūdras ir vislielākā ietekme neatjaunojamās enerģijas ietekmes kategorijā  $1,3 \times 10^3$  MJ primārās enerģijas uz *FU*. Attiecībā uz saldo sorgo un koksnes biomasu vislielākā kaitējuma daļa ir ūdens ekotoksicitātes kategorijā, attiecīgi  $3,4 \times 10^3$  un  $1,1 \times 10^4$  kg TEG ūdens uz *FU*. Kopumā neapstrādāta kaņepju biomasā ir konkurētspējīga ar citām biomasām.

2.4. tabula

Ietekmes uz vidi novērtējuma salīdzinājums, lai ražotu elektroenerģiju no alternatīvām biomasām

Ietekmes kategorija	Vienība	Neapstrādāta kaņepju biomasā	Kūdras biomasā	Saldā sorgo biomasā	Koksnes biomasā
Kancerogēni	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl ekv.	$5,7 \times 10^{-1}$	$8,0 \times 10^{-2}$	$1,0 \times 10^{-1}$	$6,3 \times 10^{-1}$
Nekancerogēni	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl ekv.	2,2	$2,8 \times 10^{-1}$	$2,7 \times 10^{-1}$	1,7
Ieelpojamās neorganiskās daļiņas	kg PM <sub>2,5</sub> ekv.	$1,7 \times 10^{-1}$	$5,8 \times 10^{-2}$	$1,7 \times 10^{-2}$	$2,4 \times 10^{-2}$
Jonizējošā radiācija	kBq C-14 ekv.	$2,1 \times 10^2$	$7,9 \times 10^1$	$1,4 \times 10^1$	$6,8 \times 10^1$
Ozona slāņa noārdīšanās	kg CFC-11 ekv.	$2,2 \times 10^{-6}$	$6,7 \times 10^{-7}$	$2,4 \times 10^{-7}$	$1,5 \times 10^{-6}$
Ieelpojamās organiskās daļiņas	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ekv.	$1,2 \times 10^{-2}$	$2,8 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$	$1,2 \times 10^{-2}$
Ūdens ekotoksicitāte	kg TEG ūdens	$1,4 \times 10^4$	$7,2 \times 10^2$	$3,4 \times 10^3$	$1,1 \times 10^4$
Sauszemes ekotoksicitāte	kg TEG augsnes	$5,2 \times 10^3$	$2,9 \times 10^2$	$5,9 \times 10^2$	$4,0 \times 10^3$
Sauszemes paskābināšanās	kg SO <sub>2</sub> ekv.	3,8	1,0	$2,8 \times 10^{-2}$	$6,4 \times 10^{-1}$
Zemes patēriņš	m <sup>2</sup> org.arable	$8,8 \times 10^{-1}$	$3,4 \times 10^{-1}$	5,5	$3,3 \times 10^1$
Ūdens paskābināšana	kg SO <sub>2</sub> ekv.	1,4	$3,3 \times 10^{-1}$	$4,3 \times 10^{-2}$	$1,4 \times 10^{-1}$

## 2.4. tabulas turpinājums

Ūdens eitrofikācija	kg PO <sub>4</sub> P- lim	$1,4 \times 10^{-2}$	$7,8 \times 10^{-4}$	$4,7 \times 10^{-3}$	$7,2 \times 10^{-3}$
Globālā sasilšana	kg CO <sub>2</sub> ekv.	$6,3 \times 10^1$	$1,2 \times 10^2$	2,3	$1,8 \times 10^1$
Neatjaunojamā enerģija	MJ primārais	$3,0 \times 10^2$	$1,3 \times 10^3$	$3,1 \times 10^1$	$2,1 \times 10^2$
Minerālu ieguve	MJ pārpalikums	1,2	$1,7 \times 10^{-1}$	$1,1 \times 10^{-1}$	$9,4 \times 10^{-1}$

Piezīme. Datu kopas par kūdras, koksnes un saldo sorgo biomasu elektroenerģijas ražošanai ir ņemtas no *Ecoinvent 3* datubāzēm [14].

*MCDA* analīze parastu apstākļu scenārijā liecina, ka kaņepju izmantošana enerģētikā sasniedz zemu vērtējumu, kas nozīmē, ka tas ir tālu no ideālā risinājuma. Taču situācija mainās enerģētiskās krīzes apstākļos, kad kaņepju izmantošana enerģijas ražošanai ir pirmajā vietā un ir labākais risinājums. Šie rezultāti liecina, ka ir nepieciešams vairāk pētījumu, lai atbildētu uz jautājumu, vai īstermiņa risinājumu var uzskatīt arī par ilgtspējīgu? *LCA* neapstrādātas kaņepju biomasas sadedzināšanai atbild uz šo jautājumu, salīdzinot to ar citām biomasām un vietējiem kurināmajiem (kūdra) enerģijas ražošanai. Tika meklētas atbildes par dažādu enerģijas avotu ietekmi uz cilvēku veselību, klimata pārmaiņām, resursiem un ekosistēmu kvalitāti. Rezultāti apliecina, ka kaņepju izmantošana enerģētikas nozarē enerģijas ražošanai nav ilgtspējīga. No tā būtu jāizvairās pat ekonomiskās krīzes laikā. Izstrādātā ilgtspējības novērtēšanas metodoloģija ir parādījusi, ka *MCDA* metode sniedz tikai daļēju atbildi par bioprodukta efektivitāti. Tikai tad, ja ar *MCDA* iegūtos rezultātus papildus analizē ar *LCA*, ir iespējams iegūt pilnīgu priekšstatu par to, vai kaņepju izmantošana enerģētikas nozarē ir ilgtspējīga jebkuros apstākļos un varētu būt nākotnes risinājums fosilās enerģijas avotu aizstāšanai. Tāpēc ir sagaidāms, ka integrētā ilgtspējības novērtēšanas metode tuvākajā nākotnē tiks plaši izmantota.

## Priekšapstrādes metožu novērtējuma rezultāti šķiedras iegūšanai no latvāņu (*Heracleum Sosnowski*) biomasas

Veikta *MCDA TOPSIS*, lai salīdzinātu un atrastu piemērotāko metodi priekšapstrādei un šķiedru iegūšanai no biomasas resursiem. Priekšapstrādes metodes galvenais mērķis ir sadalīt celulozes šķiedru [21]. Pirmsapstrāde paātrina procesu, un tai ir daudz priekšrocību, piemēram:

- poru veidošana biomasā, kas ļauj atdalīt celulozes, hemicelulozes un lignīna atlikumus;
- enzīmu aktivitātes uzlabošana;
- izmaksu efektīva metode, jo tai ir zemas siltuma un elektroenerģijas vajadzības;
- spēja ekstrahēt vērtīgu lignīna komponenti [22].

Tika veikts septiņu dažādu ķīmisko pirmapstrādes metožu veikspējas salīdzinājums, ņemot vērā četrus nozīmīgus latvāņu biomasas indikatorus. Indikatori ir izvēlēti, pamatojoties uz literatūras analīzi un tehnisko, vides un ekonomisko datu pieejamību. Pēc tam tiek izveidota lēmumu pieņemšanas matrica. Visas izmaksas tiek pieņemtas par 1 kg latvāņu priekšapstrādi [23]. KOH gadījumā izmaksu pieņēmums ir balstīts literatūrā [24]. Koncentrācija, nepieciešamais laiks (tas ir, ņemot vērā kopējo eksperimenta laiku un ķīmisko reakciju starp

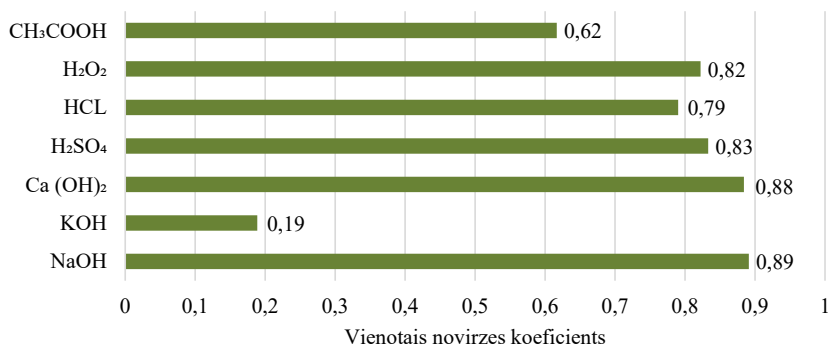
substrātu un ķīmisko vielu) un metāna ražošanas jauda katrai alternatīvajai metodei tiek pieņemta, balsoties literatūras analīzē [25]. Metāna ražošanas jauda ir pozitīvs rādītājs, jo saražoto metānu procesa beigās var izmantot bioenerģijas vajadzībām. Lēmumu pieņemšanas matricā norādīta skaitliskā informācija katram kritērijam un alternatīvai (2.5. tab.) [23].

2.5. tabula

Priekšapstrādes metožu alternatīvas un izvēlētie kritēriji

Rādītāji	Alternatīvas						
	NaOH Xa1	KOH Xa2	Ca(OH) <sub>2</sub> Xa3	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Xa4	HCL Xa5	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Xa6	CH <sub>3</sub> COOH Xa7
i1 Koncentrācija (%)	2	2,5	2,5	2	2	3	4
i2 Laiks (dienas)	3	1	1	7	7	7	7
i3 Izmaksas (EUR)	0,54	3	0,59	0,33	0,64	0,47	1,22
i4 CH <sub>4</sub> ražošanas jauda (mL gVS <sup>-1</sup> )	220	295	210,71	175,6	163,4	216,7	145,1

Šīs gadījuma izpētes nozīmīgākie rezultāti ir labākā iespējamā metode vērtīga produkta, t. i., šķiedras, ražošanai. *TOPSIS* metode parādīja, ka Ca(OH)<sub>2</sub> ķīmiskās pirmapstrādes metode ir vispiemērotākā pirmapstrādei. Tuvuma koeficientu grafiskais attēlojums redzams 2.9. attēlā. Grafikā parādīti rezultāti, kas iegūti, izmantojot *TOPSIS*, un vienotais novirzes koeficients, kas ideālā gadījumā tiek pieņemts kā 1. Tuvākā alternatīva maksimālajam vienotam novirzes koeficientam ir trešā alternatīva, kas ir Ca(OH)<sub>2</sub>. Mazākā iegūtā vērtība ir otrai alternatīvai, kas ir KOH.



2.9. att. *TOPSIS* rezultāti pirmapstrādes metodēm.

## Ekstrakcijas metožu novērtējuma rezultāti ēteriskās eļļas iegūšanai no augļu mizu atkritumiem

Augļu mizām ir izcilas ārstnieciskās īpašības, piemēram, pretmikrobu, antioksidantu, pretiekaisuma, pretinfekcijas, pretmutagēnas un aknu aizsardzību nodrošinošas īpašības. *MCDA TOPSIS* tiek izmantota, lai pieņemtu lēmumus, analizētu mērķu nozīmīgumu un izvērtētu problēmu risinājumus, balsoties dažāda veida informācijā un kvalitatīvajos un kvantitatīvajos datos, gan sociālo zinātņu datos, gan arī politikā un ētikā.

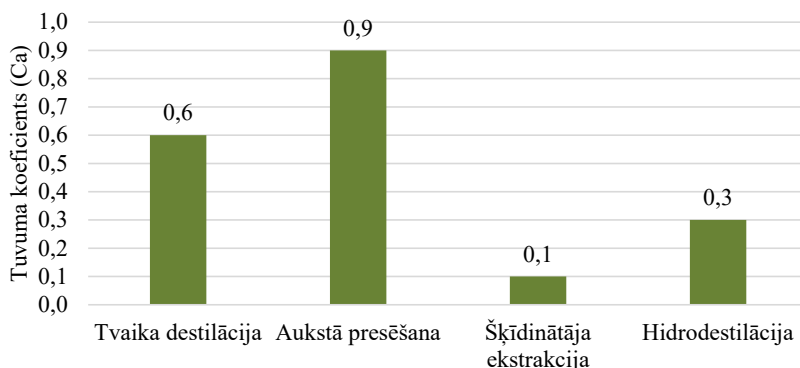
Tika salīdzināta četru dažādu videi draudzīgu ekstrakcijas metožu veikspēja – tvaika destilācijas, aukstās presēšanas, ekstrakcijas ar šķīdinātāju un hidrodestilācijas. Kritēriju izvēle, t. i., tehniskā, vides, ekonomiskā un sociālā atbilstība, ir balstīta plašā literatūras analīzē. 2.6. tabulā redzams detalizēts atlasīto kritēriju un apakškritēriju pārskats. Šīs metodes izmantotas, lai novērtētu ēteriskās eļļas iegūšanu no augļu atkritumiem. Tvaika destilācija ir atdalīšanas paņēmieni, ko var izmantot, lai atdalītu gaistošos organiskos savienojumus [26]. Iepriekšējie pētījumi liecina, ka 93 % no ēteriskās eļļas proporcijas var iegūt ar tvaika destilāciju [27]. Aukstās presēšanas metode ir standarta tehnika, ko izmanto ēteriskās eļļas ekstrahēšanai no augu un augļu sēklām. Šo procesu var īstenot arī zemā temperatūrā – zem 60 °C [28] Šķīdinātāja ekstrakcijas metode, kas pazīstama arī kā šķīdums-šķīdums ekstrakcija, ir metode savienojumu atdalīšanai, pamatojoties uz to daļu šķīdību [29]. Hidrodestilācija ir tradicionāla metode eļļas vai bioaktīvo savienojumu iegūšanai no augiem [30]. Kopumā visām četrām metodēm ir dažādas funkcijas un iekārtas.

2.6. tabula

Ilgtspējības kritēriju izvēle ekstrakcijas metodēm

Ēteriskā eļļa (no augļu atkritumiem)				
	Tehniskais aspekts	Vides aspekts	Ekonomiskais aspekts	Avots
Tvaika destilācija	Nepieciešama spiediena tvertne	Mazāk degvielas un Nepieciešama augsta temperatūra	Augstas aprīkojuma un ekspluatācijas izmaksas	[31]
Aukstā presēšana	Augstas kvalitātes ražošanas iespēja	Mazāk bīstamo organisko šķīdinātāju un videi draudzīgs	Zemas izmaksas un nepieciešams mazāk darbspēka	[32]
Šķīdinātāja ekstrakcija	Tiek izmantots vienkāršs aprīkojums, zema efektivitāte	Augsta temperatūra un bīstamo atkritumu ražošana	Zemas izmaksas	[32]
Hidrodestilācija	Vienkārša instrumentācija	Liels enerģijas patēriņš, neizmanto organiskos šķīdinātājus	Zemas izmaksas	[33]

*TOPSIS* analīzes rezultāti parādīti 2.10. attēlā. Aukstā presēšanas (0,9) ir tuvākā alternatīva ideālajam risinājumam, ne tikai pateicoties tehnoloģiskā kritērija vērtējumam, kuram turklāt ir vislielākais svars no visiem kritērijiem (0,45), bet arī labam sniegtumam ekonomiskajā kritērijā ar otro lielāko ietekmi uz rezultātiem. Otrajā vietā ir tvaika destilācija ar vērtējumu 0,6, trešais iespējamais tehnoloģiskais risinājums hidrodestilācija ar vērtējumu 0,3 un šķīdinātāja ekstrakcija ar vērtējumu 0,1.



2.10. att. *TOPSIS* rezultāti ieguves tehnoloģijām.

### Biopolimēru alternatīvu novērtēšanas rezultāti ilgtspējas ietvaros

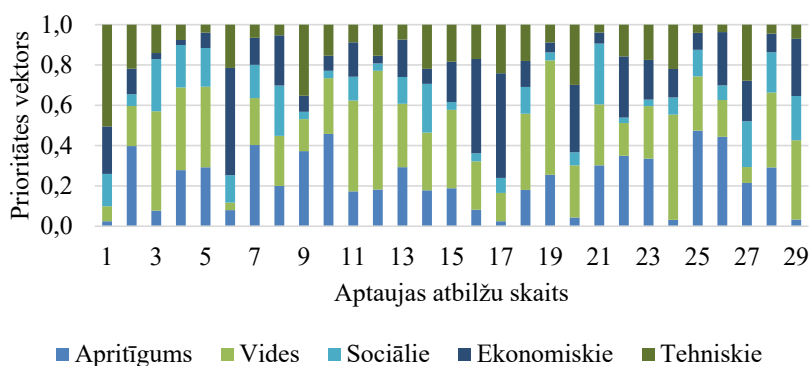
Izmantotā indikatoru kopa ņem vērā ietekmes aspektus, sākot no izmantotās lauksaimniecības platības, līdz visa biopolimēru aprites ciklam ilgumam jeb izmanto “no šūpuļa līdz kapam” perspektīvu. Ņemot vērā literatūras analīzi par ilgtspējīgu attīstību lauksaimniecībā, tika izvēlēti biopolimēru ražošanas kritēriji. Alternatīvu biopolimēru novērtēšanai izmantotie kritēriji un indikatori apkopoti 2.7. tabulā.

2.7. tabula

Biopolimēru novērtēšanai izmantoto kritēriju un indikatoru kopums		
Kritēriji	Indikators	Mērvienība
Vides	Oglekļa pēdas nospiedums	CO <sub>2</sub> ekv/kg polimēra
	Enerģijas patēriņš	MJ/kg polimēra
	Paskābināšana	SO <sub>2</sub> ekv./kg
Apritīguma	Bioloģiskās noārdīšanās spēja	%
	Bioloģiskās noārdīšanās periods	Dienas
Tehniskie	Kušanas punkts	°C
	Blīvums	kg/m <sup>3</sup>
	Stiepes izturība	MPa
Sociālie	Cilvēka veselība	kg 1,4-DB ekv.
Ekonomiskie	Ražošanas izmaksas	USD/kg
	Tirgus cena	USD/kg
	Globālās ražošanas jauda	%

No aptaujātajiem respondentiem 41 % bija patērētāji, 14 % – sabiedrības pārstāvji, 7 % – zinātnieki, pārējie 38 % – vērtību ķēdes dalībnieki, valdības politikas veidotāji, akadēmiskie mācībspēki. Respondenti pārstāvēja dažādas valstis, tostarp Indiju, Ēģipti, Latviju, Spāniju un Lielbritāniju. Šajā nodaļā sniegti aptaujas rezultātā iegūtie kritēriju svari. Balstoties katra respondenta sniegtajā vērtējumā pāru salīdzinājumā, aprēķinātais atbilžu konsekvences indekss svārstījās no 0,00 līdz 0,09.

29 respondentu AHP rezultāti parādīti 2.11. attēlā. Vērtējot pēc piecu galveno kritēriju vidējās vērtības, augstāko prioritāti uzrāda vides aspekts (0,30), tam seko apritīguma aspekts (0,23), ekonomiskais aspekts (0,18), tehniskais aspekts (0,16) un sociālais aspekts (0,13). Šie AHP svari tālāk ir izmantoti *MCDA* metodēs. Pareizas *MCDA* metodes izvēle ir svarīga konkrētai lēmuma situācijai, jo dažādas metodes var dot dažādus rezultātus vienai un tai pašai lēmumu pieņemšanas problēmai.



2.11 att. AHP aptaujas rezultāti.

Vairāki faktori ietekmē atšķirīgos rezultātus, kas veidojas, piemērojot dažādas aprēķina metodes, piemēram: a) svaru izmantošana citā veidā; b) dažādi algoritmi, lai izvēlētos labāko risinājumu; c) daudzi algoritmi mēģina mērot mērķus, kas savukārt ietekmē svarus; d) daži algoritmi ietver papildu parametrus, kas ietekmē rezultātus. Rezultāti par biopolimēru vērtējumu (ranžējumu) apkopoti 2.8. tabulā.

2.8. tabula

*MCDA* rezultātu kopsavilkums

Rangs	<i>MCDA</i> metodes			
	<i>TOPSIS</i>	<i>MOORA</i>	<i>COPRAS</i>	<i>VIKOR</i>
1	Celuloze	<i>PLA</i>	Celuloze	Ciete
2	Olbaltumvielas	Ciete	<i>PLA</i>	Celuloze
3	Ciete	Celuloze	Ciete	<i>PLA</i>
4	<i>PLA</i>	<i>PHA/PHB</i>	Celuloze	<i>PHA/PHB</i>
5	<i>PHA/PHB</i>	Olbaltumvielas	<i>PHA/PHB</i>	Olbaltumvielas

Rezultāti liecina, ka labākā biopolimēra alternatīva *TOPSIS* un *COPRAS* metodēs ir biopolimērs, kas veidots uz celulozes bāzes, jo šīs metodes darbojas pēc tāda paša vektora normalizācijas principa [34]. Tomēr [35] apgalvojuši, ka *TOPSIS* un *VIKOR* metodes darbojas pēc viena principa; starp šīm metodēm var atrast tikpat būtiskas līdzības. Tiek minēts arī tāds nozīmīgs aspekts, ka *TOPSIS* darbojas, izmantojot vektoru normalizāciju, savukārt *VIKOR* darbojas, izmantojot lineāro normalizāciju. Turpretim *MOORA* un *VIKOR* metožu rezultātos piemērotākais variants ir attiecīgi *PLA* un cietes bāzes biopolimēri. Šajā pētījumā lēmums tika pieņemts, ņemot vērā lielāko daļu labāko rezultātu starp četrām dažādām *MCDA* un *AHP* integrētām metodēm. Vispiemērotākais biopolimēru veids, ko ražot no lauksaimniecības atkritumiem, ir celulozes bāzes biopolimērs.

## 2.2. Tirgus inovāciju rezultāti

Lauksaimniecības atkritumi tiek uzskatīti par pieejamāku un viegli iegūstamu resursu, un pārveidošanas metožu videi draudzīgums tiek apskatīts atkarībā no iepakojuma materiālu veida. Tiek izvērtētas iespējas iekļūt Eiropas mēroga tirgū, un izvēlētie produkti ir biopolimēru iepakojuma materiāli, tostarp *PLA*, *PHA*, ciete un celuloze. Tirgus pievilcības novērtējums, pamatojoties uz septiņiem rādītājiem, apkopots 2.9. tabulā. Ņemot vērā to, ka visi tirgus pievilcības rādītāji ir vienlīdz svarīgi, katram rādītājam tika piešķirts 16,666 % īpatsvars.

2.9. tabula

Tirgus pievilcības novērtējums

Rādītāji	Svari	Ārējās nozīmes skala	Līdzenība					Ārējās nozīmes skala
			1 Ļoti nepievilcīgi	2 Nepievilcīgs	3 Neitrāls	4 Pievilcīgs	5 Ļoti pievilcīgs	
Tirgus lielums	16,666 %	Mazs	C	P2	S	P1		Liels
Tirgus izaugsmes temps	16,666 %	Zems		C	S	P2	P1	Augsts
Tirgus peļņa	16,666 %	Zema		C	S	P2	P1	Augsta
Cenas jutīgums	16,666 %	Augsts		C; P2	S		P1	Zems
Piekļuve izejvielām	16,666 %	Grūta					C; S; P1; P2	Viegla
Ražošanas izmaksas	16,666 %	Augsts		P2		C; P1	S	Zems

Piezīme. C – celuloze; P1 – *PLA*; P2 – *PHA*; S – ciete.

Tirgus konkurētspējas priekšrocību novērtējums redzams 2.10. tabulā. Tirgus konkurētspējas priekšrocību rādītājiem tika noteikti svāri procentos, ņemot vērā rādītāju nozīmīgumu. Lielākais svārs ir 20 %, kas piešķirts resursu pieejamībai un videi draudzīgai tehnoloģijai. Saskaņā ar izstrādāto metodoloģiju šie divi rādītāji ir ļoti svarīgi spēcīgam biznesa portfelim. Pārējie rādītāji ir novērtēti ar 15 % svāru.

2.10. tabula

Tirgus konkurences priekšrocību novērtējums

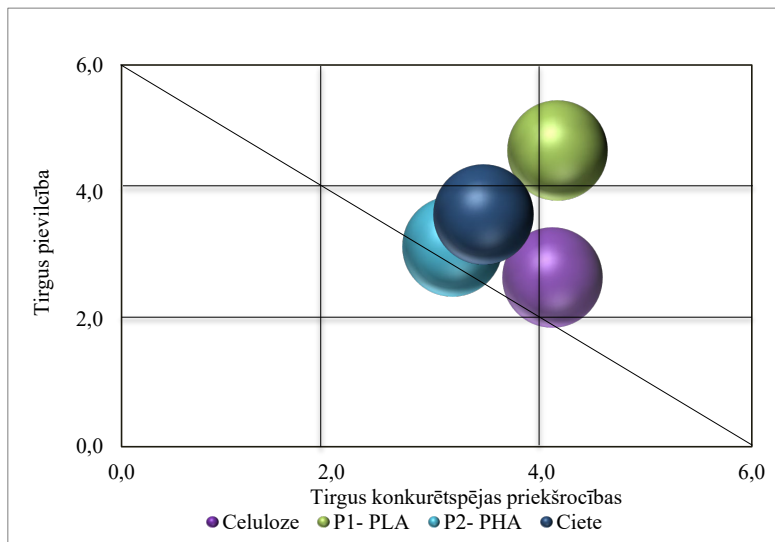
Rādītāji	Svāri	Ļoti zemas konkurences priekšrocības	Zema konkurences priekšrocība	Mērena konkurences priekšrocība	Augsta konkurences priekšrocība	Ļoti augsta konkurences priekšrocība
		Vērtēšanas skala				
		1	2	3	4	5
Pieprasījums	15 %		S	P1	P2	C
Tirgus daļa	15 %		C	S	P2	P1
Resursu pieejamība	20 %					C; S; P1; P2
Pārdošanas cena	15 %		C; P2	S		P1
Videi draudzīgums	20 %				P1; P2	S; C
Kvalitāte (pamatojoties uz kušanas temperatūru)	15 %			P2	P1; S	C

Piezīme. C – celuloze; P1 – PLA; P2 – PHA; S – ciete.

GE-McKinsey rezultātu vizualizācija redzama 2.12. attēlā. Matricas rezultāti parāda, ka PLA ir ievērojams tirgus pievilcības (4,65) un konkurences priekšrocību potenciāls (4,15), jo PLA, salīdzinot ar citiem, ir zemākā tirgus cena (1,50–2,09 USD/kg) un lielākā ražošanas jauda (37,9 %). Salīdzinot ar citiem iepakojuma materiāliem, PHA iepakojuma materiālam ir vājākā pozīcija tirgus konkurences priekšrocību ziņā (3,15).

Lai nostiprinātu pozīcijas, jāveicina PHA konkurētspēja un, ja iespējams, jāuzlabo tirgu pievilcība. No otras puses, celulozes materiāls uzrāda vismazāko tirgus pievilcību (2,66), ko var uzlabot, palielinot tirgus apjomu, pieauguma tempu un, iespējams, nodrošinot labāku cenu. Celulozes materiālu tirgus daļa ir tikai 1,5 %. Cietes iepakojuma materiāli uzrāda vidēju pozīciju tirgus pievilcības (3,65) un konkurences priekšrocību ziņā (3,65). Tomēr abu attiecību uzlabošana var novest pie augstākas cietes materiāla pozīcijas.





2.12. att. *GE-McKinsey* matricas rezultāti biopolimēra iepakojuma materiāla alternatīvai.

Pētījuma rezultāti liecina par labu *PLA* iepakojuma materiālu ražošanai gan tirgus pievilcības, gan konkurences priekšrocību dēļ. Turklāt iespējas investēt biopolimēru iepakojuma materiālos sniedz priekšrocības arī virzībai uz klimata neitralitāti, jo nodrošina atbilstību globālai vides politikai, kuras mērķis ir samazināt CO<sub>2</sub> emisijas, palielinot lauksaimniecības atkritumu izmantošanu un no biomasas ražotu produktu īpatsvaru tirgū.

## 2.2. Sistēmas inovāciju rezultāti

Tika izstrādāts oglekļa pēdas novērtējuma rīks produktu iepakojuma tiešsaistes tirdzniecības vietai, lai palīdzētu klientiem identificēt un novērtēt dažādas iepakojuma alternatīvas, sākot no sliktākā līdz labākajam scenārijam, atkarībā no oglekļa pēdas nospieduma. Izveidotais rīks paredz oglekļa pēdas novērtējumu lietotāja izvēlētiem alternatīviem iepakojuma materiāliem piecos posmos. Pirmais solis ir iepakojuma materiālu alternatīvu izvēle, starp kurām tiešsaistes tirgus klients vēlas novērtēt oglekļa pēdas nospiedumu. Kad iepakojuma materiāls no alternatīvu saraksta ir identificēts, otrais solis ir iepakojuma materiāla daudzuma noteikšana, pamatojoties uz iepakojuma materiāla izmēru un biezumu. Trešajā solī tiek definēts transportēšanas scenārijs, iekļaujot informāciju par transportēšanas veidu un nobraukto attālumu līdz iepakojuma piegādei. Ceturtais solis ir oglekļa pēdas aprēķins atlasītajiem iepakojuma alternatīvu scenārijiem. Šajā solī tiek veikts aprēķins par radītajām SEG emisijām iepakojuma ražošanā un transportēšanā līdz klientam, pamatojoties uz iepriekšējos soļos sniegto informāciju. Visbeidzot, piektajā solī katrai alternatīvai tiek piešķirts krāsu indikators, kas norāda sliktākās, vidējās un labākās opcijas starp atlasītajām alternatīvām.

Iepakojuma materiāla izvēlei no iepakojuma uzņēmuma tiek iegūta informācija par dažādiem iepakojuma materiālu parametriem, tostarp blīvumu un biezuma variācijām. Materiāla

daudzums iepakojuma laukumā, kas vienāds ar  $1 \text{ cm}^2$ , tiek aprēķināts, pamatojoties uz blīvumu un biežumu. Iepakojuma izmērs var atšķirties atkarībā no klienta vajadzībām. Turgus tiešsaistes vietnē pircējs no pieejamajām iespējām var izvēlēties sev vēlamo iepakojumu  $p$  un tādas parametrus kā iepakojuma materiāls  $x$  un izmērs. Šī informācija tiks izmantota oglekļa pēdas novērtējumā. Konkrētais iepakojuma  $p$  izmērs (laukumu  $A_p (\text{cm}^2)$ , biežums  $Th (\mu\text{m})$ , iepakojuma masa  $m_p$ ) novērtējuma rīkā tiks aprēķināts saskaņā ar 2.1 vienādojumu.

$$m_p = A_p \cdot \rho_A, \quad (2.1)$$

kur

- $m_p$  – izvēlētajā iepakojuma masa (g);
- $A_p$  – izvēlētajā iepakojuma  $p$  laukums ( $\text{cm}^2$ );
- $\rho_A$  – materiāla  $x$  laukuma blīvums ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ).

Lai novērtētu transportēšanas ietekmi, definējot transportēšanas scenāriju, jāiekļauj divi būtiski parametri – transporta veids un transportēšanas attālums. Oglekļa pēdas aprēķinus izvēlētajam iepakojumam var veikt saskaņā ar 2.2 vienādojumu.

$$CF_p = CF_{x_p} + CF_{t_p}, \quad (2.2)$$

kur

- $CF_p$  – kopējais iepakojuma oglekļa pēdas nospiedums  $p$ ;
- $CF_{x_p}$  – materiāla oglekļa pēdas nospiedums  $x$  iepakojumā  $p$ ;
- $CF_{t_p}$  – transporta scenārija oglekļa pēdas nospiedums  $t$  iepakojuma  $lpp$ .

Mainīgie  $CF_{x_p}$  un  $CF_{t_p}$  tiek noteikti saskaņā 2.3 un 2.4 vienādojumu.

$$CF_{x_p} = CF_x \cdot A_p, \quad (2.3)$$

kur

- $CF_x$  – paredzamā oglekļa pēda uz  $1 \text{ cm}^2$  iepakojuma materiāla  $x$ ;
- $A_p$  – iepakojuma  $p$  laukums.

Oglekļa pēdas nospiedums iepakojuma  $p$  transportēšanas scenārijam tiek aprēķināts kā transportēšanas attāluma, izmantotā transporta veida oglekļa pēdas un transportētā iepakojuma masas reizinājuma summa.

$$CF_{t_p} = \sum_{i=t}^n D_t \cdot CF_t \cdot m_p, \quad (2.4)$$

kur

- $D_t$  – attālums pēc transporta veida  $t$ ;
- $CF_t$  – oglekļa pēdas koeficients transporta veidam  $t$ ;
- $m_p$  – iepakojuma  $p$  masa.

$CF_x$  un  $CF_t$  ir oglekļa pēdas vērtības, kas iegūtas, aprēķinot uz vienu vienību, izmantojot *Ecoinvent* un *IPCC 2021* ietekmes novērtējuma metodi.  $CF_{t_p}$  tiek aprēķināts, atlasot globālās

vidējās datu kopas no *Ecoinvent*. Konkrētiem piegādes maršrutiem transporta veids var tikt izvēlēts no tādām alternatīvām kā kuģis, kravas automašīna, vieglais kravas auto, vilciens vai lidmašīna, ņemot vērā transportēšanas uzņēmuma informāciju. Oglekļa pēdas nospieduma koeficients visiem transporta veidiem paredz iespēju nodrošināt 1 kg materiāla transportēšanas pakalpojumu 1 km attālumā.

Lai nodrošinātu iepakojuma produktu tiešsaistes tirgus klientiem skaidru un vienkāršu veidu, kā salīdzināt oglekļa pēdas vērtības starp izvēlētajām alternatīvām, iegūtajām oglekļa pēdas vērtībām tiek piešķirti krāsu indikatori. Krāsu indikators tiek piešķirts trim oglekļa pēdas nospieduma līmeņiem – zems, vidējs un augsts. Dažādus oglekļa pēdas līmeņus var aprēķināt, izmantojot 2.5 un 2.6 vienādojumu.

$$I = \frac{Max(CF_p) - Min(CF_p)}{3}, \quad (2.5)$$

kur

$I$  – vērtība, ko izmanto oglekļa pēdas līmeņu noteikšanai;

$Max(CF_p)$  – maksimālā  $CF_p$  vērtība starp izvēlētajām alternatīvajām iespējām;

$Min(CF_p)$  – minimālā  $CF_p$  vērtība starp izvēlētajām alternatīvajām iespējām.

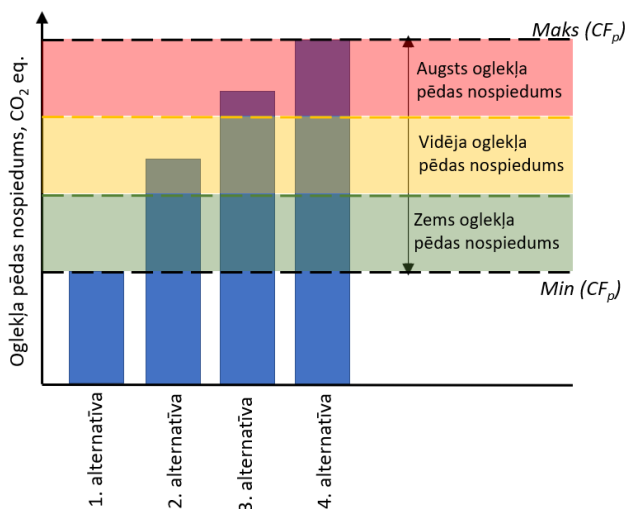
$$\begin{aligned} & \text{if } (CF_p) < Min(CF_p) + (I), \text{ then } (I_{low}); \\ & \text{else (if } (CF_p) \geq Min(CF_p) + (2 \cdot I); \text{ then } (I_{high}); \text{ else } (I_{medium}), \end{aligned} \quad (2.6)$$

kur

$I_{low}$  – zems oglekļa pēdas līmenis;

$I_{medium}$  – vidējs oglekļa pēdas līmenis;

$I_{high}$  – augsts oglekļa pēdas līmenis.



2.13 att. Oglekļa pēdas aprēķina krāsu vizualizācija iepakojuma alternatīvām.

Vienkāršu iepakojuma alternatīvu novērtējumu var veikt, norādot trīs oglekļa pēdas līmeņus iepakojuma alternatīvām un to transportēšanas scenārijiem – zemu, vidēju un augstu. Oglekļa pēdas aprēķina rezultātus tiešsaistes tirgus klientiem var sniegt, izmantojot krāsu indikatorus, lai atšķirtu šos līmeņus. Kā redzams 2.13. attēlā, zemu, vidēju un augstu oglekļa pēdas līmeni var vizualizēt ar zaļās, dzeltenās un sarkanās krāsas indikatoriem. Svarīgi, ka pašreizējo rīku var attīstīt tālāk, iekļaujot dažādas produkta virsmas izvēles un vairāk materiālu. Oglekļa pēdas nospieduma aprēķins iepakojumam un transportēšanas scenārijam, ne tikai parāda skaitliskus rezultātus un izglīto klientus, bet arī ļauj dažādām ieinteresētajām pusēm prioritāri sarindot iespējas ar produktu piegādes ķēdi saistīto SEG emisijas samazināšanai.

Tāpēc ir vērts apsvērt tādu politiku ieviešanu attiecībā uz produktiem, kas veicina oglekļa pēdas samazināšanu. Šīm politikām jābūt standartizētām un visaptverošām, ietverot produktu vides novērtējumu, ņemot vērā to dzīves ciklu. Paredzams, ka īstermiņā uzņēmumi izmantos oglekļa pēdas novērtējuma shēmas kā stratēģisku pasākumu tirgus konkurētspējas nodrošināšanai un lēmumu pieņemšanai. Šo mērķi var sasniegt, izmantojot labi definētas metodes. Ilgtermiņā politikas veidotājiem būtu jānosaka uzņēmumu mērķis ieviest oglekļa pēdas novērtējuma shēmas.

## SECINĀJUMI UN IETEIKUMI

Rezultāti atklāj galvenos atklājumus un sniedz ieteikumu kopumu turpmākam progresam ilgtspējīgā bioekonomikā, izmantojot lauksaimniecības atkritumu valorizāciju.

### Secinājumi

1. Pētījuma pieeja ir vērsta uz neatliekamo nepieciešamību ilgtspējīgi ieviest biopolimēru iepakojuma materiālus, vienlaikus veicinot ilgtspējīgu lauksaimniecības atkritumu valorizācijas praksi. Tādējādi hipotēze ir pamatota, uzsverot trīs inovāciju pīlāru lielo nozīmi ilgtspējīgu risinājumu izstrādē bioekonomikā.
2. Izstrādātā integrētā metodoloģija uzsver holistisku un inovatīvu pieeju nozīmi ilgtspējības veicināšanā bioekonomikā, izmantojot lauksaimniecības atkritumu valorizāciju. Īstenojot noturīgu ilgtspējības inovāciju pīlāru, ir iespējams panākt lauksaimniecības atkritumu valorizāciju. Tirgus un sistēmu inovāciju integrēšana var veicināt bioekonomikas ilgtspējīgu virzību, izmantojot unikālas biopolimēru iepakojuma stratēģijas. Tas palielina biopolimēru iepakojuma materiāla vērtību un izmantošanu, veicinot arvien vairāk inovāciju un ilgtspējību.
3. Pētījumā uzsvērts, ka bioekonomikas modelēšanas rīku novērtēšana ietver dažādus kritērijus, tostarp dokumentācijas aspektus, elastīgumu, savietojamību, daudzveidību, derīgumu, efektivitāti un lietošanas ērtumu, kā arī apakškritērijus, tostarp vides, sociālos un ekonomiskos. Šie kritēriji ir būtiski pētniekiem un zinātniekiem lēmumu pieņemšanas procesos. Piemēram, *LCA* rīks izceļas ar pietiekamu dokumentāciju, elastību un daudzveidību, kas to padara piemērotu lauksaimniecības resursu novērtēšanai. *TIMES* modelim ir augsts dokumentācijas līmenis, savukārt *MILP* modelis izceļas ar elastīgumu. Katrā modelī ir izmantoti atšķirīgi algoritmi, apakškritēriji un analīzes protokoli, kas izceļ to dažādo lietderību. Turklāt tādi modelēšanas rīki kā *MILP*, *TIMES* un *GLOBIOM* ir daudzsološi, lai nodrošinātu optimālus rezultātus, jo īpaši lauksaimniecības biorafinēšanas nozarē un zemes izmantošanas scenāriju analīzē.
4. Pētījumā autore secina, ka, pieaugot globālajam pieprasījumam pēc enerģijas un nosakot vērienīgus mērķus klimata jomā, biomasas izmantošana enerģijas ražošanai kļūst arvien svarīgāka. Tomēr ļoti svarīga ir rūpīga biomasas avotu atlase un mērķtiecīga izvēle. Īpaši svarīgi ir tas, ka *LCA* secinājumi liecina par kaņepju lielāku ietekmi, salīdzinot ar citiem enerģijas avotiem, piemēram, kūdru, koksnī un citu biomasu. Ekonomiskās un enerģētikas krīzes laikā tūlītējs risinājums var būt kaņepju izmantošana enerģijas ražošanai vai tādu materiālu ražošanai kā siltumizolācija, lai uzlabotu energoefektivitāti. Tomēr tas rada dilemmu starp īstermiņa palīdzību un ilgtermiņa vērtības radīšanu. Lai gan kaņepju audzēšana enerģijas ražošanai var sniegt īstermiņa atelpu, ilgtspējīgiem un ekonomiski dzīvotspējīgiem risinājumiem būtu jāpiešķir prioritāte kaņepju pārstrādei augstas pievienotās vērtības produktos ilgtermiņā, saskaņojot tos ar ekonomikas un vides ilgtspējības mērķiem.
5. Promocijas darbā uzsvērts, cik svarīgi ir izstrādāt lauksaimniecības atkritumu valorizācijas ceļu, kas paver iespējas izmantot cūkgaļas un augļu miziņu atkritumus pārtikas piedevu un

- ēterisko eļļu ražošanai. Lauksaimniecības resursu valorizācijas novērtēšana līdzās alternatīvām metodēm ietver dažādu faktoru apsvēršanu. Turklāt, lai noteiktu viena lauksaimniecības atkrituma, piemēram, graudu, kas izlietoti alus ražošanā (*BSG*), daudzlīmeņu valorizāciju, ir nepieciešams novērtēt pašreizējo izmantošanas un valorizācijas praksi, liekot pamatus efektīvai atkritumu apsaimniekošanai un resursu optimizācijai.
6. Pētījumā uzsvērts, ka prioritāšu noteikšana biopolimēru produktu jomā ietver bibliometriskās analīzes veikšanu, lai identificētu pētniecības trūkumus un tendences, īpaši ilgtspējīgas biopolimēru ražošanas un lauksaimniecības atkritumu apsaimniekošanas jomā. Galvenās jomas, piemēram, novērtēšanas metodoloģijas un biokonversijas procesu integrācija ar ilgtspējīgas attīstības mērķiem, kļūst par būtiskiem uzmanības centriem. Izstrādājot ilgtspējīgas novērtēšanas sistēmu, izmantojot četru *MCDA* metodi apvienojumā ar *AHP* apsekojuma analīzi, tiek uzsvērta kvantitatīvo rādītāju nozīme biopolimēru ilgtspējības mērīšanā un bioekonomikas koncepcijas veicināšanā. Šī visaptverošā pieeja saskaņo nodomu paaugstināt ilgtspējību un resursu izmantošanu biopolimēru ražošanā, un *TOPSIS* un *COPRAS* metodēs biopolimērs uz celulozes bāzes kļūst par labāko alternatīvu. Turpretī *PLA* un uz cietes bāzes veidoti biopolimēri tiek identificēti kā vispiemērotākās alternatīvas attiecīgi saskaņā ar *MOORA* un *VIKOR* metodēm.
  7. Pētījumā secināts, ka sistēmas un tirgus inovāciju pīlāru ieviešana atvieglo konkrēta virziena izstrādi, lai bioekonomikā piešķirtu prioritāti ilgtspējīgiem iepakojuma materiāliem. Palielinot biopolimēru produktu izmantošanu, jo īpaši iepakojuma materiālos, var ievērojami veicināt ilgtspējīgas bioekonomikas attīstību, sekmējot vispārējā mērķa – klimata neitralitātes – sasniegšanu. Pētījuma secinājumos uzsvērta jauna pieeja biopolimēriem, uzsverot ilgtspējības apsvērumus un atbalstot ieguldījumus *PLA* biopolimēru iepakojuma materiālos, kas sniedz izcilas iespējas, jo arī celulozes, cietes un *PHA* iepakojuma materiāli ir gatavi piesaistīt ievērojamu tirgus interesi. Pētījumā uzsvērts, ka ir sarežģīti novērtēt produkta pilnīgu ilgtspēju un tirgus potenciālu. Tirgus analīze liecina, ka *PLA* ir vislielākais potenciāls, neraugoties uz to, ka ilgtspējas novērtējums ir labvēlīgāks celulozes biopolimēram. Šī dilemma ilustrē nepieciešamību noteikt sinerģiju starp rentabilitāti un ilgtspēju produktu izstrādē ar tirgus stratēģijām, uzsverot to, cik svarīgi ir līdzsvarot ekonomiskos un vides apsvērumus, pieņemot stratēģiskus lēmumus.
  8. Metodoloģija pierāda, ka ilgtspējīgas attīstības un klimata neitralitātes mērķu sasniegšana ir saistīta ar ierosinātās stabilas bioekonomikas attīstības stratēģijas īstenošanu, piešķirot prioritāti biopolimēru produktiem, izveidojot sistēmas un tirgus inovāciju scenārijus. Izstrādātā integrētā metodoloģija ir vērtīgs instruments politikas veidotājiem, lai virzītos pa efektīvākiem bioekonomikas attīstības ceļiem. Vienlaikus pašvaldības to var izmantot reģionālā līmenī, lai informētu par invazīvo sugu apsaimniekošanas plāniem un izmantotu lauksaimniecības atkritumu vērtības koncepciju. Šī visaptverošā pieeja atvieglo praktisku risinājumu izstrādi, lai veicinātu ilgtspējīgu bioekonomikas attīstību un risinātu aktuālas vides problēmas.
  9. Pētījumā ir pieejami dati, kas lēmumu pieņēmējiem palīdz izvēlēties ilgtspējīgus biopolimērus ražošanai. Turklāt biopolimēru iepakojuma materiālu tirgus iespējas un

oglekļa pēdas nospieduma kalkulatora ieviešana ir vērtīgas priekšrocības uzņēmumiem, lai pieņemtu pamatotus lēmumus par konkrētiem iepakojuma materiāliem.

### **Ieteikumi**

- Turpmākajā pētniecības attīstībā galvenā uzmanība jāpievērš agrobiopolimēru ražošanas un ilgtspējības sociālekonomiskajiem aspektiem, kā arī vides apsvērumiem.
- Jāpievērš uzmanība tādu kvantitatīvo ilgtspējības rādītāju izstrādei, kas īpaši pielāgoti biopolimēru ražošanai no lauksaimniecības atkritumiem.
- Pētījumā ieteikts novērst plašo datu trūkumu biopolimēru tirgus izpētē, jo īpaši attiecībā uz biopolimēru cirkularitāti un ilgtspējību. Uzlabota datu pieejamība ļaus precīzāk novērtēt tirgus potenciālu un atvieglos nozares ieinteresēto personu stratēģisku lēmumu pieņemšanu.
- Tiek ierosināts, ka ir nepieciešami turpmāki pētījumi, lai uzlabotu oglekļa pēdas rīku parametrus, piemēram, iepakojuma virsmas un iepakojumā izmantotos papildu materiālus, lai uzlabotu to precizitāti un pielietojamību.
- Ir jāpieliek pūles, lai uzlabotu datu pieejamību reģionālā mērogā, lai uzlabotu oglekļa pēdas rīku precizitāti un atbalstītu politikas veidotājus apzinātu lēmumu pieņemšanā par ilgtspējību.
- Piedāvātā pētījuma metodoloģija ir jāturpina apstiprināt un izmantot reālos gadījumos, lai novērtētu tās efektivitāti un uzticamību. Tas varētu ietvert izmēģinājuma projektus, kas novērtē biopolimēru iepakojuma materiālu ilgtspējīgas stratēģijas no ilgtspējības viedokļa.
- Piedāvātā pieeja ir virzīt bioekonomikas stratēģiju, veicinot bioekonomikā produktus ar augstāku pievienoto vērtību, kas būtu jāturpina attīstīt, balstoties uz mainīgajiem rūpnieciskā pieprasījuma apstākļiem.
- Pētījums atbilst ilgtspējīgas attīstības mērķiem un dotu labumu turpmākiem pētījumiem, lai izstrādātu politikas ietvarus, kas stimulē un veicina ilgtspējīgu praksi biopolimēru iepakojuma materiālu ražošanā un izmantošanā.

## ATSAUCES

- [1] A. Sanz-Hernández, E. Esteban, and P. Garrido, “Transition to a bioeconomy: Perspectives from social sciences,” *Journal of Cleaner Production*, vol. 224, pp. 107–119, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.03.168.
- [2] J. Baas, M. Schotten, A. Plume, G. Côté, and R. Karimi, “Scopus as a curated, high-quality bibliometric data source for academic research in quantitative science studies,” *Quantitative Science Studies*, vol. 1, no. 1, pp. 377–386, 2020, doi: 10.1162/qss\_a\_00019.
- [3] L. Bornmann, R. Haunschild, and S. E. Hug, “Visualizing the context of citations referencing papers published by Eugene Garfield: a new type of keyword co-occurrence analysis,” *Scientometrics*, vol. 114, no. 2, pp. 427–437, 2018, doi: 10.1007/s11192-017-2591-8.
- [4] N. J. van Eck and L. Waltman, “Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping,” *Scientometrics*, vol. 84, no. 2, pp. 523–538, 2010, doi: 10.1007/s11192-009-0146-3.
- [5] T. L. Saaty, “A scaling method for priorities in hierarchical structures,” *J Math Psychol*, vol. 15, no. 3, pp. 234–281, Jun. 1977, doi: 10.1016/0022-2496(77)90033-5.
- [6] E. J. Ward, H. T. Dimitriou, and M. Dean, “Theory and background of multi-criteria analysis: Toward a policy-led approach to mega transport infrastructure project appraisal,” *Research in Transportation Economics*, vol. 58, pp. 21–45, 2016, doi: 10.1016/j.retrec.2016.08.003.
- [7] N. Patel, L. Zihare, and D. Blumberga, “Evaluation of bioresources validation,” *Agronomy Research*, vol. 19, no. Special Issue 2, pp. 1099–1111, 2021, doi: 10.15159/AR.21.066.
- [8] S. González-García, A. Hospido, M. T. Moreira, and G. Feijoo, “Life cycle environmental analysis of hemp production for non-wood pulp,” *3rd International Conference on Life Cycle Management*, 2007.
- [9] S. González-García, L. Luo, M. T. Moreira, G. Feijoo, and G. Huppes, “Life cycle assessment of hemp hurds use in second generation ethanol production,” *Biomass Bioenergy*, vol. 36, pp. 268–279, 2012, doi: 10.1016/j.biombioe.2011.10.041.
- [10] S. Pedrazzi, N. Morselli, M. Puglia, F. Ottani, and M. Parenti, “Equilibrium modeling of hemp hurd gasification,” in *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*, 2020, pp. 450–454.
- [11] M. Mandø, “Direct combustion of biomass,” in *Biomass Combustion Science, Technology and Engineering*, 2013, pp. 74–100. doi: 10.1533/9780857097439.2.61.
- [12] E. Pavlovskaja, “Sustainability criteria: their indicators, control, and monitoring (with examples from the biofuel sector),” *Environ Sci Eur*, vol. 26, no. 1, pp. 1–12, 2014, doi: 10.1186/s12302-014-0017-2.
- [13] K. Goldschmidt, T. Harrison, M. Holtry, and J. Reeh, “Sustainable procurement: Integrating classroom learning with university sustainability programs,” *Decision Sciences Journal of Innovative Education*, vol. 11, no. 3, pp. 279–294, 2013, doi: 10.1111/dsji.12007.



- [14] G. Wernet, C. Bauer, B. Steubing, J. Reinhard, E. Moreno-Ruiz, and B. Weidema, "The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 21, no. 9, pp. 1218–1230, 2016, doi: 10.1007/s11367-016-1087-8.
- [15] O. Jolliet *et al.*, "IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology," *International Journal of Life Cycle Assessment*, vol. 8, no. 6, pp. 324–330, 2003. doi: 10.1007/BF02978505.
- [16] M. Sahabuddin and I. Khan, "Multi-criteria decision analysis methods for energy sector's sustainability assessment: Robustness analysis through criteria weight change," *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 47, 2021, doi: 10.1016/j.seta.2021.101380.
- [17] L. Shen, J. Zhou, M. Skitmore, and B. Xia, "Application of a hybrid Entropy-McKinsey Matrix method in evaluating sustainable urbanization: A China case study," *Cities*, vol. 42, no. PB, pp. 186–194, 2015, doi: 10.1016/j.cities.2014.06.006.
- [18] R. M. Gikunda, S. O. Mokaya, and B. Wakhungu, "The application of McKinsey Matrix in determination of route attractiveness and resource allocation in Kenya Airways," *Int J Humanit Soc Sci*, vol. 2, no. 3, pp. 259–268, 2012.
- [19] N.R. Decuseara, "Using The General Electric / Mckinsey Matrix In The Process Of Selecting The Central And East European Markets," *Management Strategies Journal*, vol. 19, no. 1, pp. 59–66, 2013.
- [20] *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2021.
- [21] S. Behera, R. Arora, N. Nandhagopal, and S. Kumar, "Importance of chemical pretreatment for bioconversion of lignocellulosic biomass," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. doi: 10.1016/j.rser.2014.04.047.
- [22] G. Brodeur, E. Yau, K. Badal, J. Collier, K. B. Ramachandran, and S. Ramakrishnan, "Chemical and physicochemical pretreatment of lignocellulosic biomass: A review," *Enzyme Research*. 2011. doi: 10.4061/2011/787532.
- [23] Z. Song, G. Yang, X. Liu, Z. Yan, Y. Yuan, and Y. Liao, "Comparison of seven chemical pretreatments of corn straw for improving methane yield by anaerobic digestion," *PLoS One*, 2014, doi: 10.1371/journal.pone.0093801.
- [24] E. J. Ward, H. T. Dimitriou, and M. Dean, "Theory and background of multi-criteria analysis: Toward a policy-led approach to mega transport infrastructure project appraisal," *Research in Transportation Economics*, 2016, doi: 10.1016/j.retrec.2016.08.003.
- [25] F. R. Amin *et al.*, "Pretreatment methods of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion," *AMB Express*. 2017. doi: 10.1186/s13568-017-0375-4.
- [26] G. A. Costa and R. G. dos Santos, "Fractionation of tire pyrolysis oil into a light fuel fraction by steam distillation," *Fuel*, vol. 241, pp. 558–563, 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2018.12.075.
- [27] P. Masango, "Cleaner production of essential oils by steam distillation," *J Clean Prod*, vol. 13, no. 8, pp. 833–839, 2005, doi: 10.1016/j.jclepro.2004.02.039.

- [28] S. C. Chew, “Cold-pressed rapeseed (*Brassica napus*) oil: Chemistry and functionality,” *Food Research International*, vol. 131, 2020, doi: 10.1016/j.foodres.2020.108997.
- [29] W. Yang *et al.*, “Effective extraction of aromatic monomers from lignin oil using a binary petroleum ether/dichloromethane solvent,” *Sep Purif Technol*, vol. 267, 2021, doi: 10.1016/j.seppur.2021.118599.
- [30] A. Oreopoulou, D. Tsimogiannis, and V. Oreopoulou, “Extraction of Polyphenols From Aromatic and Medicinal Plants: An Overview of the Methods and the Effect of Extraction Parameters,” in *Polyphenols in Plants*, 2019, pp. 243–259. doi: 10.1016/b978-0-12-813768-0.00025-6.
- [31] A. A. Yadav<sup>1</sup>, S. S. Chikate<sup>2</sup>, R. B. Vilat<sup>3</sup>, M. A. Suryawanshi<sup>4</sup>, and G.B.Kumbhar, “REVIEW ON STEAM DISTILLATION: A PROMISING TECHNOLOGY FOR EXTRACTION OF ESSENTIAL OIL,” *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, vol. 4, no. 04, pp. 667–671, 2017, doi: 10.21090/ijaerd.33095.
- [32] B. Çakaloğlu, V. H. Özyurt, and S. Ötleş, “Cold press in oil extraction. A review,” *Ukrainian Food Journal*, vol. 7, no. 4, pp. 640–654, 2018, doi: 10.24263/2304-974x-2018-7-4-9.
- [33] M. Dangkulwanich and T. Charaslertrangsi, “Hydrodistillation and antimicrobial properties of lemongrass oil (*Cymbopogon citratus*, Stapf): An undergraduate laboratory exercise bridging chemistry and microbiology,” *J Food Sci Educ*, vol. 19, no. 2, pp. 41–48, 2020, doi: 10.1111/1541-4329.12178.
- [34] T. M. Lakshmi, V. P. Venkatesan, and A. Martin, “An Identification of Better Engineering College with Conflicting Criteria using Adaptive TOPSIS,” *International Journal of Modern Education and Computer Science*, vol. 8, no. 5, pp. 19–31, May 2016, doi: 10.5815/ijmecs.2016.05.03.
- [35] J. Wątróbski, J. Jankowski, P. Ziemia, A. Karczmarczyk, and M. Zioło, “Generalised framework for multi-criteria method selection,” *Omega (United Kingdom)*, vol. 86, pp. 107–124, 2019, doi: 10.1016/j.omega.2018.07.004.



**Nidhiben Arvindbhai Patel** dzimusi 1996. gadā Vadodarā (Indija). Sardara Patela universitātē ieguvusi biotehnoloģijas bakalaura grādu (2017) un Rīgas Tehniskajā universitātē – vides zinātņu maģistra grādu (2020). Kopš 2020. gada ir Rīgas Tehniskās universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta pētniece. Zinātniskās intereses saistītas ar lauksaimniecību, bioekonomiku un ilgtspējīgu attīstību.