RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Lauma Žihare
Doktora studiju programmas "Vides zinātne" doktorante

BIORESURSU PĀREJA UZ ILGTSPĒJĪGU BIOEKONOMIKU

Promocijas darba kopsavilkums

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

Zinātniskā konsultante
vadošā pētniece *Dr. sc. ing.*
ANNA KUBULE

RTU Izdevniecība
Rīga 2020

Žihare, L. Bioresursu pāreja uz ilgtspējīgu bioekonomiku. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2020. 54 lpp.

Iespiests saskaņā ar RTU promocijas padomes "RTU P-19" 2020. gada 28. aprīļa lēmumu, protokols Nr. 114.

Šis promocijas darbs ir izstrādāts saistībā ar projektu "Bioresursa vērtības modelis (BVM)", Latvijas Zinātnes padomes projekta Nr. lzp-2018 / 1-0426.





ISBN 978-9934-22-479-9 (print)
ISBN 978-9934-22-480-5 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA VIDES ZINĀTNĒ IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora grāda vides zinātnē iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2020. gada 24. augustā Rīgas Tehniskās universitātes Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātē, Āzenes ielā 12 k-1, 115. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Asociētais profesors *Dr.* Stelios Rozakis,
Krētas Tehniskā universitāte, Grieķija

Profesors *Dr. sc. ing*. Gatis Bažbauers,
Rīgas Tehniskā universitāte, Latvija

Profesors *Dr. sc. ing.* Ainis Lagzdiņš,
Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Latvija

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē doktora grāda vides zinātnē iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Lauma Žihare …….. (paraksts)

Datums: ……..

Promocijas darbs izstrādāts angļu valodā, tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 71 attēls, 18 tabulu, 25 matemātiskās formulas, kopā 145 lpp. Literatūras sarakstā ir 271 nosaukums.

SATURS

LIETOTIE SAĪSINĀJUMI **5**
IEVADS **7**
Promocijas darba aktualitāte 7
Promocijas darba mērķis un uzdevumi 8
Pētījuma metodika 8
Promocijas darba zinātniskā nozīme 9
Promocijas darba praktiskā nozīme 10
Pētījuma aprobācija 10
1. IZPĒTES METODIKA **13**
1.1. Makrolīmeņa novērtēšanas pētījuma metodoloģija 14
1.1.1. Lēmuma pieņemšanas analīze 15
1.1.2. Kompozīta ilgtspējības indeksa veidošana 17
1.2. Mezolīmeņa novērtēšanas pētījumu metodoloģija 18
1.2.1. Tirgus potenciāla analīze *GE–McKinsey Matrix* 20
1.3. Mikrolīmeņa novērtēšanas pētījuma metodoloģija 22
1.3.1. Eksperimentālā analīze cietās biodegvielas potenciāla novērtēšanai 22
2. REZULTĀTI **26**
2.1. Bioekonomikas makrolīmeņa analīzes rezultāti 26
2.1.1. Trīs faktoru saiknes (*nexus)* novērtējums Eiropas Savienības bioekonomikā izmantojot indikatoru analīzi 29
2.1.2. Trīs faktoru saiknes (*nexus)* līmeņatzīme: politikas, pētniecības un inovācijas un tehnoloģijas 33
2.1.3. Bioekonomikas efektivitātes indekss 35
2.2. Mezolīmenis: inovāciju pārnese, tirgus un ekonomiskā analīze 36
2.3. Mikrolīmenis: jauns redzējums par invazīvo svešzemju augu apsaimniekošanas sistēmu 39
2.3.1. Eksperimentālās analīzes rezultāti: cietās biodegvielas potenciāls 45
SECINĀJUMI **49**
LITERATŪRAS AVOTI **51**

LIETOTIE SAĪSINĀJUMI

ES – Eiropas Savienība
EC – Eiropas Komisija
UK – Lielbritānija
JRC – kopīgais izpētes centrs (*Joint Research Centre*)
IAP – invazīvie svešzemju augi
IAS – invazīvās augu sugas
NPV – neto pašreizējā vērtība
MCDA – daudzkritēriju analīze (*multi criteria decision analysis*)
AHP – analītiskais hierarhijas process
TOPSIS – metode priekšroku secībai pēc līdzības ideālam risinājumam
DMC – iekšzemes materiālu patēriņš
DMI – tieša materiāla ievade
IRR – iekšējā ienesīguma likme
OECD – Ekonomiskās sadarbības un attīstības organizācija
R&D – pētniecība un attīstība
R&I – pētniecība un inovācijas
RD&D – pētniecība, izstrāde un demonstrēšana
GDP – iekšzemes kopprodukts
SDG – ilgtspējīgas attīstības mērķis
TRL – tehnoloģiskās sagatavotības līmenis
CO_2 – oglekļa dioksīds
SO_2 – sēra dioksīds
NO_x – slāpekļa oksīds
ISO – Starptautiskā standartizācijas organizācija
X_{ij} – normalizētā vērtība (AHP)
A_{ij} – matricas elementi pārī (alternatīvas)
W_{ij} – prioritātes vektors
n – alternatīvu skaits
n_{ij} – normalizētā vērtība (*TOPSIS*)
v_{ij} – svērtā normalizētā vērtība
d_i^+ – attālums līdz ideālajam risinājumam
d_i^- – attālums līdz antiideālajam risinājumam.
Q_a^d – kopējā siltumspēja nemainīgā tilpumā, J/g
m – parauga masa, g
$Q_{N,S}$ – siltuma korekcija, ņemot vērā slāpekļskābes veidošanos, J
Q_S – siltuma korekcija, ņemot vērā sērskābes veidošanos, J
H_0 – analizētās degvielas bruto siltumspēja, J/g
S^d – sēra saturs analizētajā paraugā (sausā veidā), %
$Q_{V,gr,d}$ – sausās masas bruto siltumspēja nemainīgā tilpumā, J/g
M_{ad} – vispārējā analīzes parauga mitruma saturs (pēc *ISO 18125*), masas %
$Q_{p,net,d}$ – sausās masas zemākā siltumspēja pie pastāvīga spiediena, J/g
H^d – ūdeņraža saturs analizētajā paraugā (sausā veidā), masas %
O^d – skābekļa saturs analizētajā paraugā (sausā veidā), masas %
N^d – slāpekļa saturs analizētajā paraugā (sausā veidā), masas %
$q_{p,net,ar}$ – parauga zemākā siltumspēja, kas saņemta pie pastāvīga spiediena, J/g
M_{ar} – kopējais mitruma saturs, masas %
P – patenta rādītājs: pieteikumi Eiropas Patentu valdē uz miljonu iedzīvotāju
c – iekšzemes bruto izdevumi pētniecībai un attīstībai pa nozarēm
NMMO – N-metilmorfolīna-N-oksīds
CAGR – gada pieauguma temps
CIS – Neatkarīgo Valstu Sadraudzība
DAISIE – svešzemju invazīvo sugu uzskaites nodrošināšana Eiropai (*Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe*)
NOBANIS – invazīvo svešzemju sugu Eiropas tīkls (*The European Network on Invasive Alien Species*)

$I_{N,ji}^{\pm}$ – dimensijas normalizētā vērtība indikatoram *i*

$I_{S,j}$ – svērts apakšindikators I_n, dimensijā *j*

W – mainīgā *i* svars dimensijā *j*

I_{CSI} – kompozītindekss alternatīvai *I*

M_a – kopējais tirgus pievilcības rādītājs

Z – aprēķinātais reitinga vērtējums

k – koeficients

f – faktoru skaits

B_{max} – maksimālais vērtējums

R – produktu konkurences priekšrocību relatīvais rādītājs

B – jaunu produktu rezultātu novērtēšana

B_{comp} – spēcīgāko konkurentu rezultātu novērtējums

M_{ad} – mitruma saturs analizējamajā paraugā, ko izmanto pelnu satura noteikšanai (pēc *ISO 18122*), masas %

m_1 – tukša trauka masa ar vāku, g

m_2 – trauka, vāka un testa porcijas masa pirms žāvēšanas, g

m_3 – trauka, vāka un testa porcijas masa pēc žāvēšanas, g

GISD – globālā invazīvo sugu datubāze

MedPAN – aizsargājamo jūras teritoriju tīkls Vidusjūrā (*network of Marine Protected Areas in the Mediterranean*)

EASIN – Eiropas svešzemju sugu informācijas tīkls (*European Alien Species Information Network*)

Sc – Solidago Canadensis

Hs – Heracleum Sosnowkyi

PPW – kartupeļu mizas atlikumi

CG – kafijas biezumi

A_d – pelnu saturs, masas %

IEVADS

Promocijas darba aktualitāte

Pēc straujās ekonomiskās attīstības, kas balstīta uz fosilajiem resursiem, ir acīmredzama resursu nepietiekamība. Pēc globālās ekonomiskās krīzes 2008. gadā palielinājās valstu atbildes darbības stingrāku kredītu tirgu noteikumu ieviešanai, kas noved pie sekojoša aizņēmumu izmaksu pieauguma, kas samazina kapitāla daudzumu, kas pieejams ieguldījumiem biotehnoloģiju pētniecībā un attīstībā, kas savukārt varētu izraisīt augsta riska uzņēmējdarbību un vēl vienu globālo ekonomisko krīzi. Tāpēc tas ir sekmējis virzību uz bioekonomiku un nepieciešamību pēc alternatīvās enerģijas un ilgtspējīgas lauksaimniecības pētniecības un infrastruktūras. Apvienojot resursu izsīkuma un klimata pārmaiņu mazināšanas mērķus bioekonomikai ir eksponenciāls pieaugums ceļā uz ilgtspējīgāku ekonomiku visā pasaulē. Zinātnisko pētnieku, politikas veidotāju, dažādu ieinteresēto personu un sabiedrības uzmanības centrā ir bioloģisko resursu izmantošana, kas ir globāla mēroga tendence. Tomēr bioekonomika ietver vairākus svarīgus aspektus, jo nav iespējams pilnībā aizstāt fosilos resursus ar bioresursiem, lai nodrošinātu esošā pieprasījuma patēriņu. Sākotnējie mērķi Eiropas bioekonomikas ilgtspējīgai attīstībai lielā mērā tika novirzīti bioenerģijas virzienā. Taču atjauninātā Eiropas bioekonomikas stratēģija ir ar uzsvaru vairs ne tikai uz bioenerģiju, bet arī uz bioloģiskiem produktiem ar augstu pievienoto vērtību.

Bioresursu ražošanai ir vairāki ierobežojumi, tāpēc viedā bioresursu atlases, ražošanas un apstrādes metodika būtu jāinicializē dažādos attīstības līmeņos.

Pāreja uz ilgtspējīgu bioekonomiku ar holistisku pieeju pasaules mērogā dotu labumu valsts bioekonomikas attīstības uzlabošanai, klimata pārmaiņu mazināšanai un inovāciju pārnesei.

Joprojām nav vienotas starptautiskas metodes bioekonomikas ilgtspējības līmeņa noteikšanai, mērīšanai un salīdzināšanai. Kompozītie indeksi, piemēram, ilgtspējīga attīstība, uzņēmuma ilgtspēja, lauku reģionu ilgtspējīga attīstība, tiek izmantoti dažādu sarežģītu parādību novērtēšanai. Viens no šādiem ar vides dimensiju saistītiem rādītājiem ir ekoinovāciju indekss, ko izmanto, lai aprakstītu ekoinovāciju progresu ES dalībvalstīs. Ekoinovāciju indeksu veido 16 indikatori, kas ir sagrupēti piecās galvenajās grupās: ekoinovāciju ieguldījumi, ekoinovāciju aktivitātes, ekoinovāciju rezultāti, resursu efektivitāte un sociālekonomiskie rezultāti. Ekoinovāciju progresu raksturo arī ekoinovāciju progresa ziņojums [1]. Tomēr nav pētījumu par bioekonomikas kompozīta indeksu. Tāpat kā ilgstpējības jēdziens, arī ilgtspējīga bioeknomika jānovērtē vairākos līmeņos: resursa, produkta, uzņēmuma, rūpniecības, nacionālajā un pasaules mērogā, balstoties uz galvenajiem ilgtspējības pīlāriem (vides, sociālo un ekonomisko).

Šis promocijas darbs ir izstrādāts saistībā ar projektu Latvijas Zinātnes padomes projektu Nr. lzp-2018 / 1-0426 “Bioresursa vērtības modelis (BVM)”.

Promocijas darba mērķis un uzdevumi

Promocijas darba mērķis ir izstrādāt integrējošu metodiku ilgtspējīgas bioekonomikas novērtēšanai, izmantojot bioresursu pārejas novērtējumus, lejupejošās un augšupējošās pieejas, transdisciplināru analīzi un nepietiekami izmantoto biomasas potenciālu. Darba galvenais ieguldījums izriet no integrētas daudzlīmeņu pieejas, kurā ņemti vērā tehniskie, sociālekonomiskie, vides un tirgus aspekti.

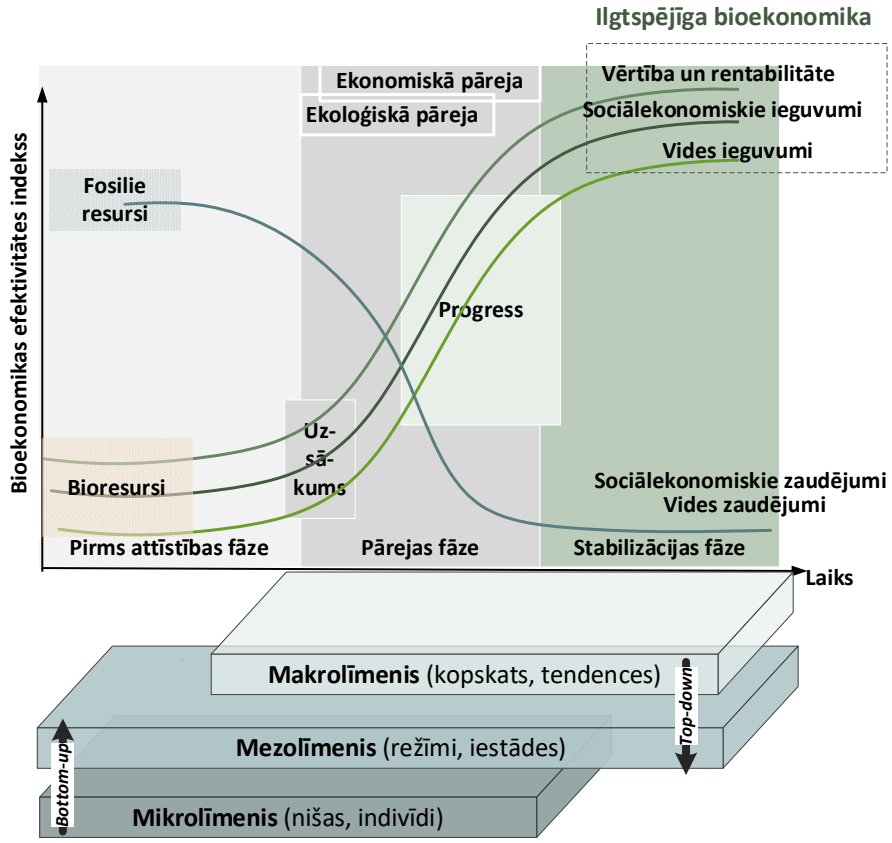
Darba mērķu sasniegšanai ir izvirzīti šādi uzdevumi:

1) novērtēt bioekonomikas izpratni un izveidot konsolidētu skatījumu uz bioekonomiku;
2) izvērtēt disciplinaritātes pieejas ilgtspējīgai bioekonomikai;
3) identificēt bioekonomiku ietekmējošos faktorus, to savstarpējās saites un ierosināt iespējamos saistību novērtējumus;
4) noteikt faktoru raksturlielumus;
5) izveidot faktoru saistību līmeņatzīmi;
6) izveidot bioekonomikas efektivitātes noteikšanas metodiku;
7) identificēt neizmantotos bioresursus un novērtēt to potenciālo vērtību efektīvai resursu pārejai, ierosinot jaunas vai esošās bioresursu vērtību ķēdes un to prioritātes;
8) nodrošināt inovāciju nodošanu ar tirgus un ekonomiskās analīzes sistēmu, lai noteiktu, vai inovatīvam bioloģiskam produktam vai tehnoloģijai ir potenciāls veiksmīgai komercializācijai;
9) validēt bioresursu potenciālu, veicot eksperimentālo analīzi.

Promocijas darba rezultāts ir bioekonomikas faktoru savstarpējo saistību novērtējums, ko turpmāk varētu izmantot kompozīta ilgtspējības indeksa izveidošanai un bioekonomikas efektivitātes indeksa izstrādei, kas palīdz noteikt, cik efektīvi bioekonomika attīstās nacionālā līmenī; vairāki nepietiekami izmantoti biomasas izmantošanas gadījumi Latvijai; tehnoloģiju un produktu jauninājumu komercializācijas ietvara izstrāde un starpdisciplinārs tirgus un ekonomiskais novērtējums gadījumiem, kas veikti sadarbībā ar dažādām ieinteresētajām personām un eksperimentāla analīze īpašam invazīvu sugu lietošanas gadījumam. Piedāvāts arī trīskāršu faktoru savstarpējās saiknes gadījums Eiropas Savienības valstīm: politika, pētniecība un inovācijas, un tehnoloģiju saikne. Rezultātā empīriskais modelis sniedz politikas, pētniecības un inovāciju un tehnoloģiju sasaistes līmeņatzīmes matemātisko aprakstu.

Pētījuma metodika

Pētījuma metodoloģija balstās uz trim savstarpēji savienotām daļām saskaņā ar ierosināto daudzlīmeņu pieeju bioresursu pāreju uz ilgtspējīgas bioekonomikas attīstību, izmantojot inovācijas un starpnozaru pieeju. Pētījuma metodoloģija ir iedalīta trīs galvenajos līmeņos, kas caurvij šo pāreju: makrolīmenis, kas nosaka globālo ekonomiskās attīstības tendenci (šajā darbā uzsvars tiek likts uz Eiropas līmeni); mezolīmenis, kas ir institucionālais līmenis; mikrolīmenis, kas nosaka konkrētu nišu, šajā gadījumā – specifiskus bioresursus un to potenciālu. Darbā izmantota faktoru analīze, indikatoru analīze, līmeņatzīmes, trīskāršo vijumu un daudzkritēriju analīzes metodes.



1. att. Bioresursu pārejas vispārīgs apraksts.

Mērķis un process ir redzams 1. attēlā. Galvenais uzsvars tiek likts uz bioresursu izmantošanas veicināšanu ilgtspējīgas bioekonomikas virzienā, kas rada vērtību un rentabilitāti, sociālekonomiskos ieguvumus un ieguvumus videi. Novērtējums, kas palīdz šai pārejai, un situācijas izpratne notiek trīs līmeņos.

Makrolīmenis (lejupejoša pieeja) ir vērsts uz bioekonomikas attīstības novērtējumu, pamatojoties uz faktoru analīzi, kā gadījuma izpēti līmeņatzīmes noteikšanai izmanto Eiropas Savienības trīs faktoru saistību ar indikatoru pieeju. Ir izveidots kompozītindekss kā bioekonomikas efektivitātes rādītājs starptautiskam salīdzinājumam.

Mezolīmenis koncentrējas uz pārejas posmu, izmantojot inovāciju nodošanas sistēmu, tirgus un ekonomisko analīzi un starpnozaru pieeju, ņemot vērā dažādās ieinteresēto personu prasības un viedokli.

Mikrolīmenis (augšupejoša pieeja) ir vērsta uz dažādu nepietiekami izmantotu bioresursu potenciālās vērtības un apsaimniekošanas sistēmas novērtēšanu. Šajā daļā tiek izmantota lēmumu analīze un eksperimentālā analīze.

Promocijas darba zinātniskā nozīme

Darbam ir liela zinātniska nozīme Latvijas un starptautiskajā kontekstā, jo bioresursu pārejas izpēte un analīze ir aktuāla bioekonomikas attīstības pētījumu joma. Šajā darbā ir izstrādātas un aprobētas trīs inovatīvas metodes. Pirmā metode paredzēta bioekonomikas efektivitātes mērīšanai, otro var izmantot inovāciju pārneses novērtēšanai, trešo – bioresursu

vērtības novērtēšanai. Šis darbs var kalpot par vadlīnijām turpmākiem zinātniskiem pētījumiem par bioekonomikas attīstību un bioresursu novērtējumiem bioresursu vērtības novērtēšanai ar holistiskas analīzes pieeju.

Promocijas darba praktiskā nozīme

Darbam ir liela praktiskā nozīme Latvijas un Eiropas kontekstā. Pētījuma rezultāti piedāvā jaunu daudzlīmeņu pieeju, kas var sniegt nozīmīgu ieguldījumu a) vairākām bioekonomikas ieinteresētajām personām valsts, nozares un starptautiskā līmenī; b) politikas veidotājiem efektīvākai bioekonomikas attīstības ceļa noteikšanai; c) reģionu līmenī – pašvaldībām, kuras cīnās ar invazīvo sugu apsaimniekošanu, piedāvājot jaunu pārvaldības plānu un bioresursu vērtības skatījumu; d) uzņēmējiem un citiem interesentiem,; e) sabiedrībai par efektīvu resursu izmantošanu; f) zinātnes un pētniecības kopienai, kas veic pētījumu par saistītām tēmām un var izmantot šī projekta zinātniskos atzinumus turpmākajos pētījumos lauksaimniecības un mežsaimniecības jomā.

Pētījuma aprobācija

Promocijas darba rezultāti atspoguļoti sešās zinātniskajās konferencēs, publicēti 19 zinātniskajos rakstos un divās monogrāfijās.

Zinātniskās konferences

1. International scientific conference “EUBCE 2020 28th European Biomass Conference & Exhibition”, with paper “Country level sustainability evaluation of bioeconomy” 2020, Marseille, France
2. International scientific conference “Biosystems Engineering 2019” with the paper “A holistic vision of bioeconomy: the concept of transdisciplinarity nexus towards sustainable development” 2019, Estonia, Tartu.
3. International scientific conference “Conference of Environmental and Climate technologies 2019” with the papers “New vision on invasive alien plant management system”, “Obtaining the factors affecting bioeconomy”, “Case Study of Aizkraukle Region in Latvia” and “Priorities determination of using bioresources. Case study of *Heracleum sosnowskyi*” 2019, Latvia, Riga
4. International scientific conference “Conference of Environmental and Climate technologies 2018” with the papers “Multi criteria analysis for products derived from agro-industrial by-products”, “Analytical framework for commercialization of the innovation: case of thermal packaging material” 2018, Latvia, Riga.
5. International scientific conference “Biosystems Engineering 2018” with the papers “The potential use of invasive plant species as solid biofuel by using binders”, “Evaluation of reed biomass use for manufacturing products, taking into account environmental protection requirements” 2018, Estonia, Tartu.

6. International scientific conference “Conference of Environmental and Climate technologies 2017” with the papers “Bioeconomy mapping indicators and methodology. Case study about forest sector in Latvia”, Market opportunities for cellulose products from combined renewable resources”, “Single cell protein production from waste biomass: comparison of various agricultural by-products”, “Invasive Species Application in Bioeconomy. Case Study Heracleum sosnowskyi Manden in Latvia”, “Carbon storage in wood products”, “Methodology for estimation of carbon dioxide storage in bioproducts” 2017, Latvia, Riga.

Zinātniskās publikācijas

1. **Zihare, L.,** Kubule A., Dolge K., Muizniece I., Blumberga D., “Country level sustainability evaluation of bioeconomy, 2020, EUBCE proceedings (iesniegta).
2. **Zihare L.,** Kubule A., Vamza I., Muizniece I., Blumberga D., Bioeconomy triple factor nexus through indicator analysis. New biotechnology, 2020 (iesniegta).
3. **Zihare L.,** Blumberga D. Bioeconomy investments: market considerations, ECT, 2020 (iespiešanā).
4. **Zihare L**., Muizniece I. and Blumberga D. A holistic vision of bioeconomy: the concept of transdisciplinarity nexus towards sustainable development, Agronomy research, 2019:17 (Scopus, WoS).
5. **Zihare L**., Muizniece I., Blumberga D. New vision on invasive alien plant management system *Environ.Clim.Technol.* vol. 23, no. 2, pp. 166–186, 2019 (Scopus, WoS).
6. **Zihare L.,** Gusca J., K.Spalvins, Blumberga D. Priorities determination of using bioresources. Case study of Heracleum sosnowskyi *Environ. Clim. Technol.*, vol. 23, no. 1, pp. 242–256, 2019.
7. Muizniece I., **Zihare L.**, Blumberga D., Obtaining the factors affecting bioeconomy, ECT, 2019, Vol. 23, No. 1, 277.–291. lpp. (Scopus, WoS).
8. Muizniece, I., **Zihare, L**., Pubule, J., Blumberga, D. Circular Economy and Bioeconomy Interaction Development as Future for Rural Regions. Case Study of Aizkraukle Region in Latvia. Environmental and Climate Technologies, 2019, vol. 23, no. 3, 129.–146. lpp. (Scopus, WoS).
9. **Zihare L,** Spalvins K, Blumberga D. Multi criteria analysis for products derived from agro-industrial by-products. *Energy Procedia* 2018; 147:452–7. (Scopus).
10. **Zihare L,** Soloha R, Blumberga D. The potential use of invasive plant species as solid biofuel by using binders. *Agron Res* 2018;16:923–34. (Scopus).
11. Muizniece I, Kazulis V, **Zihare L,** Lupkina L, Ivanovs K, Blumberga D. Evaluation of reed biomass use for manufacturing products, taking into account environmental protection requirements *Agron Res* 2018; 16. (Scopus, WoS).
12. **Zihare L,** Muizniece I, Spalvins K, Blumberga D. Analytical framework for commercialization of the innovation: case of thermal packaging material. *Energy Procedia* 2018; 147:374–81. (Scopus, WoS).

13. Blumberga D., Muizniece I., **Zihare L.,** Sniega L. Bioeconomy mapping indicators and methodology. Case study about forest sector in Latvia. *Energy Procedia* 2017; 128:363–7. (Scopus, WoS).
14. **Zihare L,** Blumberga D. Market opportunities for cellulose products from combined renewable resources. ***ECT***2017; 19:33–8. (Scopus,WoS).
15. **Zihare L,** Blumberga D. Insight into bioeconomy. Solidago canadensis as a valid resource. Brief review. *Energy Procedia* 2017; 128:275–80. (Scopus, WoS).
16. Spalvins K, **L.Zihare**, Blumberga D. Single cell protein production from waste biomass : comparison of various agricultural by-products. ***ECT*** 2017; 16:409–18. (Scopus, WoS).
17. Kazulis V, Muizniece I, **Zihare L,** Blumberga D. Carbon storage in wood products. *Energy Procedia* 2017; 128:558–63. (Scopus, WoS).
18. Kalnbalkite A, **Zihare L**, Blumberga D. Methodology for estimation of carbon dioxide storage in bioproducts. *Energy Procedia* 2017; 128:533–8. (Scopus, WoS).
19. **Zihare L,** Blumberga D. Invasive Species Application in Bioeconomy. Case Study Heracleum sosnowskyi Manden in Latvia. *Energy Procedia* 2016; 113:238–43. (Scopus, WoS).

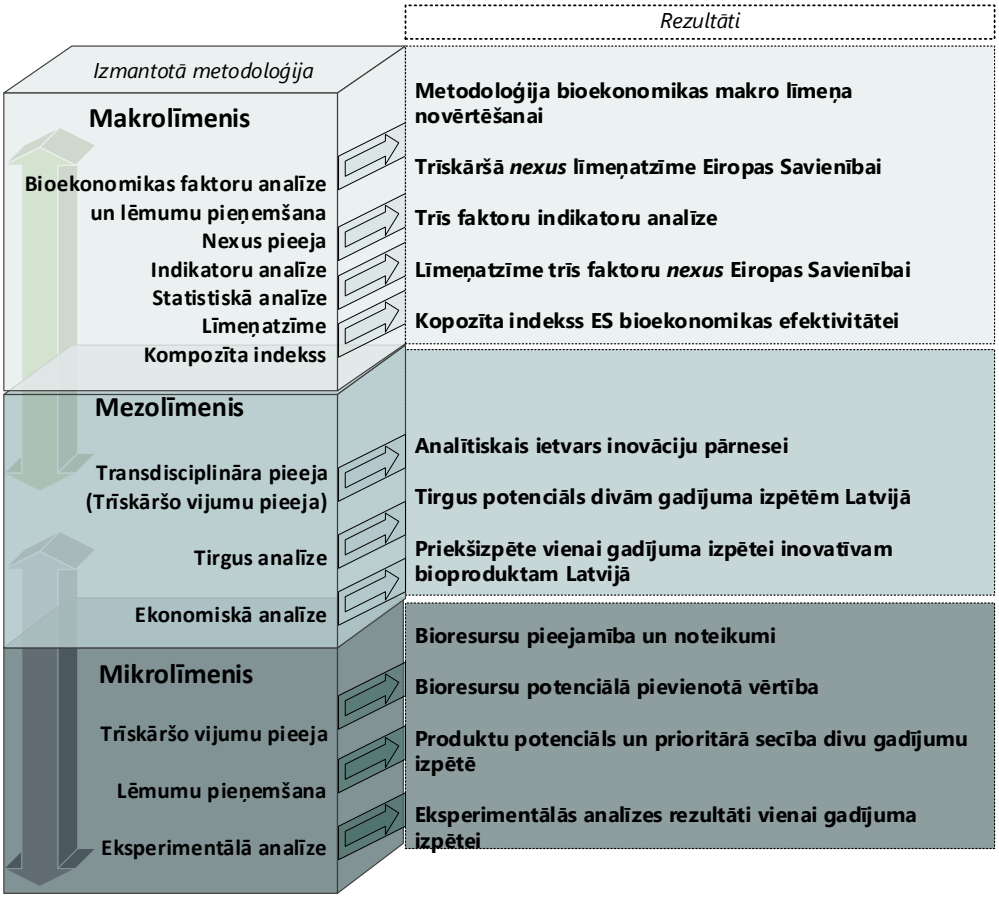
Monogrāfijas

1. Scientific monograph "Sustainable Energy Sources", Barisa, A., Blumberga, A., Grāvelsiņš, A., Rochas, C., Blumberga, D., Dace, E., Vigants, E., Romagnoli, F., Galindoms, G., Vigants, Ģ., Veidenbergs, I., Ziemele, J., Rošā, M., Sarmiņš, R., Kalniņš, S., Prodaņuks, T., Kirsanovs, V. **Laumas Zihares redaction**, RTU izdevniecība 2018. 146 lpp. ISBN 978-9934-22-017-3.
2. Scientific monograph Kamenders, A., Barisa, A., Blumberga, A., Rochas, C., Blumberga, D., Pakere, I., Dzene, I., Burmistre, I., Muižniece, I., Veidenbergs, I., Ziemele, J., Kļavenieks, K., Kašs, K., **Žihare, L**., Sniega, L., Žogla, L., Rošā, M., Kalniņš, S. Development of Energy Planning in the Local Municipalities of Latvia. Rīga: RTU Izdevniecība, 2020. 172 p. ISBN 978-9934-22-062-3.

1. IZPĒTES METODIKA

Ilgtspējība ir kļuvusi par globālu tendenci, kura teorētiski darbojas visās nozarēs un valstīs. Vēl viena plaši izplatīta tendence pēdējos gados ir pāreja uz zināšanām balstītu bioresursu izmantošanu ekonomikā augstākas pievienotās vērtības produktu ražošanai un sekojoša bioekonomikas attīstība, paturot prātā ilgtspējības mērķus [2].

Metodika sastāv no trīs līmeņu analīzes (1.1. att.): ir ieviesta makrolīmeņa analīzes metode, izmantojot starptautiskā mēroga bioekonomikas lejupejošo novērtējumu; mezolīmeņa novērtēšana, ja tiek piemērota transdisciplināra pieeja, jo novērtējumā tiek ņemtas vērā dažādas ieinteresēto personu intereses; mikrolīmeņa novērtējums, kurā tiek novērtēts īpaši neizmantots bioresursu potenciāls un prezentēta jauna invazīvu sugu pārvaldības sistēma.

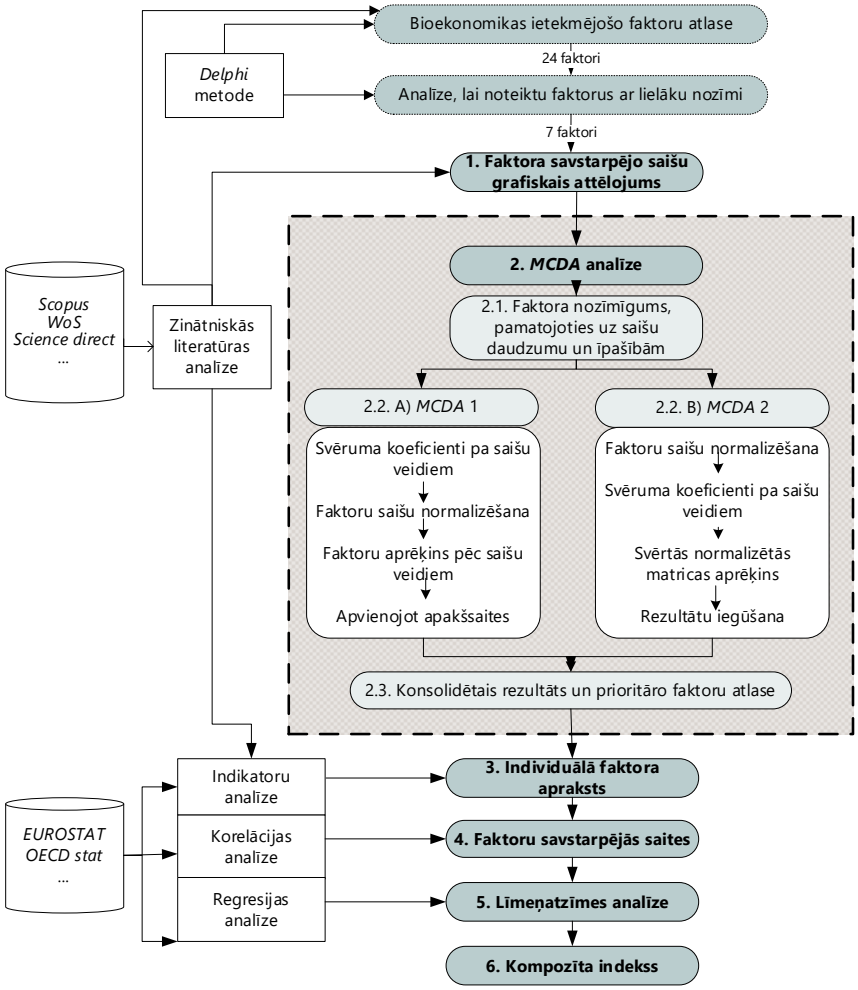


1.1. att. Promocijas darba vispārējā metodoloģija un rezultāti.

Promocijas darbā izmantotās metodikas galvenie rezultāti (1.1. att.): makrolīmeņa novērtēšanas metodika; galvenie identificētie faktori un trīskāršo faktoru saistība ar Eiropas Savienību; līmeņatzīme izteikta kā matemātiskās regresijas modelis, un izveidots kompozītindekss. Inovācijas pārnesei tiek izveidots analītiskais ietvars, veikts tirgus potenciāla novērtējums vairākiem gadījumiem un izveidota priekšizpēte agrīnās stadijas inovācijām. Ar bioresursu potenciālās pievienotās vērtības un eksperimentālās analīzes palīdzību ir izveidota un apstiprināta jauna invazīvo augu sugu apsaimniekošanas sistēma. Gadījuma izpēte agrorūpniecisko atlieku produktu potenciāla un prioritāšu noteikšana tiek piedāvāta

1.1. Makrolīmeņa novērtēšanas pētījuma metodoloģija

Makrolīmeņa novērtēšanas metodoloģija ir balstīta uz lejupejošu pieeju, lai gan tiek uzskatīts, ka bioekonomika jāvērtē ar augšupejošas pieejas analīzi, jābūt precīzam novērtējumam, kā parādīt bioekonomikas efektivitāti, izmērīt bioekonomiku starpvalstu mērogā. Tāpēc sākotnēji tiek veikta lejupejoša analīze, lai atrastu vājās vietas, kas jāpārvar, lai izmērītu bioekonomiku ar vienu – bioekonomikas efektivitātes – indeksu.



1.2. att. Makrolīmeņa metodoloģijas algoritms.

Makrolīmeņa novērtēšanas metodoloģija sastāv no pieciem posmiem un ir balstīta uz lejupejošu pieeju (1.2. att.).

Pirmais solis. Balstoties uz zinātniskās literatūras analīzi un izmantojot *Delphi* metodi, no 24 bioekonomiku ietekmējošo faktoru kopuma tiek izvēlēti septiņi primārie faktori un izveidots faktoru savstarpējo saišu grafisks attēlojums, nosakot, vai saikne ir tieša (attēlota ar taisnu līniju), vai netieša (attēlota ar pārtrauktu līniju), vai tā ir ietekmējoša, vai atkarīga saite (attēlota ar bultiņas virzienu). Netiešās saites nozīmē, ka savienojumā ir iesaistīti vairāk nekā divi faktori, tāpēc atvasinājums ir sasniegts, izmantojot citu faktoru vai kopā ar vairāk nekā diviem faktoriem.

Otrais solis. Daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas (*MCDA*) analīze šajā gadījumā tiek izmantota kā kvantitatīva pieeja to faktoru noteikšanai, kuriem ir vislielākā ietekme uz bioekonomikas attīstību. Šis ir provizorisks novērtējums un nenozīmē, ka citi faktori būtu jāizslēdz; šis novērtējums sniegs tikai vispārēju priekšstatu par to, kuri faktori visspēcīgāk ietekmē bioekonomiku. Kā zināms, dažādas pieejas dod ļoti atšķirīgus rezultātus [16], tāpēc, lai iegūtu labāku perspektīvu, vienam lēmumam ieteicams izmantot vismaz divas *MCDA* metodes. Tiek ierosināts konsolidētais rezultāts lēmumu pieņemšanai. Šajā pētījumā tiek izmantotas trīs *MCDA* pieejas: metode priekšroku secībai pēc līdzības ar ideālu risinājumu (*TOPSIS*) un analītiskās hierarhijas process (AHP), kas ir divas no visbiežāk izmantotajām *MCDA* metodēm ilgtspējīgas attīstības kontekstā. [2] un *PROMETHEE*.

MCDA tiek veikta, pamatojoties uz četriem kritērijiem: tiešās ietekmējošās saites; tiešās atkarīgās saites; netiešās ietekmējošās saites; netiešās atkarīgās saites. Septiņu faktoru (alternatīvu) vērtības ir balstītas uz aprakstīto saišu skaitu. Saišu svara pamatā ir pieņēmumi, t. i., abām metodēm tiek pieņemts, ka saites stiprums ir 2 : 1, kur tiešās saites (gan ietekmējošās, gan atkarīgās) ir divas reizes nozīmīgākas nekā netiešās saites (gan ietekmējošās, gan atkarīgās). Daudzkritēriju lēmumu analīzes metodes atšķiras un bieži dod nedaudz atšķirīgus rezultātus, tāpēc tiek izmantota jauna pieeja, izveidojot konsolidētu rezultātu starp divām metodēm. Ja šī metodika tiek izmantota citos pētījumos, nepieciešamības gadījumā var izmantot arī vairāk nekā divas *MCDA* metodes, kā arī var izmantot dažādas pieejas atbilstoši risināmās problēmas specifikai.

Trešais solis. Individuālo faktoru analīze. Lai iegūtu padziļinātu faktoru raksturojumu, katrs izvēlētais faktors tiek analizēts atsevišķi bioekonomikas kontekstā. Katrs no faktoriem tiek aprakstīts, izmantojot indikatoru analīzi, indikatori tiek sagrupēti kā vides, ekonomiskā, sociālā vai tehnoloģiskā aspekta indikatori.

Ceturtais solis. Saiknes pieejas piemērošana ar mērķi atrast veidu, kā izmērīt saites stiprumu, piemēram, pārklājoties rādītājiem, kas saistīti ar bioekonomiku ietekmējošajiem faktoriem, kas varētu sniegt ieskatu un korelāciju starp diviem vai vairākiem faktoriem.

Piektais solis. Atrast kritērijus, kas vislabāk raksturo saikni starp diviem faktoriem. Līmeņatzīme tiek izteikta kā matemātiskas regresijas modelis, kas raksturo saikni un tās stiprumu.

Sestais solis. Pēdējais solis ir kompozītindeksa izveidošana bioekonomikas efektivitātei.

1.1.1. Lēmuma pieņemšanas analīze

Lēmumu analīzi var izmantot visu līmeņu novērtējumos.

Lēmumu pieņemšana ir svarīgs solis visos līmeņa novērtējumos, tāpēc tos makrolīmenī izmanto faktoru saiknes analīzei, mikrolīmenī – biomasas izlīdzināšanai un produktu izvēlei atbilstoši prioritātēm. Darbā tiek izmantotas divas populārākās lēmumu analīzes metodes – *TOPSIS* un analītiskās hierarhijas process (AHP).

AHP

Makrolīmenī AHP tiek izmantots katram saišu tipam atsevišķi, lai iegūtu konsekventākus rezultātus.

Katram saites veidam rezultāti tiek normalizēti, un tiek iegūts prioritātes vektors. Pēc tam katras alternatīvas rezultāti tiek apkopoti, lai iegūtu galīgos rezultātus. AHP vērtības iegūst, dalot viena faktora saišu summu ar otra faktora saišu summu, lai noteiktu, kurš faktors ir svarīgāks par citiem. Tā ir galvenā atšķirība AHP aprēķinos, kur parasti izmanto svarīgumu, piemēram, pamatojoties uz pamata skalām no 1 līdz 9, taču šeit precīzas vērtības tiek aprēķinātas starp kritēriju pāriem.

Pāra salīdzinājums tiek veikts katram saites veidam atsevišķi, un viena svērtā alternatīvā vērtība tiek dalīta ar citu svērto alternatīvo vērtību, iegūstot AHP matricas nozīmīguma vērtību.

$$A_{im} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix}, \quad (1.1.)$$

kur matrica A – attēlo alternatīvu vērtējumus (relatīvo nozīmīgumu), n – vērtējamo alternatīvu skaits. Matrica A tiek veidota katram kritērijam atsevišķi, kur $i = 1, \dots, m$ (šajā gadījumā $i = 1, \dots, 4$).

Pēc pāra salīdzināšanas vērtības tiek normalizētas:

$$X_{ij} = \frac{A_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} A_{ij}}, \quad (1.2.)$$

kur X_{ij} – normalizēta vērtība, $i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$; A_{ij} – matricas elementi pārī (alternatīvas), $i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$.

Prioritātes vektora aprēķins:

$$W_{ij} = \frac{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}}{n}, \quad (1.3.)$$

kur W_{ij} – prioritātes vektors, $i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n$; n – alternatīvu skaits [97].

TOPSIS

TOPSIS analīzes metode [98], kuras pamatā ir Eiklīda attāluma novērtējums, dod ideālam risinājumam tuvu rezultātu. *TOPSIS* aprēķini atrodami autores iepriekšējos darbos [99]. Vēlamais rezultāts (ideāls risinājums) visiem kritērijiem ir maksimālais, bet antiideālais visiem kritērijiem ir minimālā summa. Kā minēts iepriekš, abām metodēm svars ir identisks.

Vērtību normalizēšana tika veikta standartizētā veidā:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}}, \quad (1.4.)$$

kur n_{ij} – normalizētā vērtība; $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$.

Svērto normalizēto lēmumu matricu aprēķina šādi:

$$v_{ij} = w_j n_{ij}, \quad (1.5.)$$

kur v_{ij} – svērtā normalizētā vērtība, $i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$. w_j ir j-tā kritērija svars, $\sum_{j=1}^{n} w_j = 1$.

Attālums no pozitīvā ideāla un negatīvā ideālā risinājuma:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(v_{ij} - v_j^+\right)^2}, i = 1, 2, \dots, m, \quad (1.6.)$$

kur d_i^+ ir attālums līdz ideālajam risinājumam.

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(v_{ij} - v_j^-\right)^2}, i = 1, 2, \dots, m, \quad (1.7.)$$

kur d_i^- ir attālums līdz antiideālajam risinājumam.

Pēdējā posmā tiek aprēķināts relatīvais tuvums pozitīvajam ideālajam risinājumam:

$$R_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+}, \quad (1.8.)$$

kur $0 \le R_i \le 1$, $i = 1, 2, \dots, m$.

1.1.2. Kompozīta ilgtspējības indeksa veidošana

1.1. tabula

Indikatoru grupēšana pēc to ietekmes uz kompozīta ilgstējības indeksu (CSI) [24]

Dimensija	Apakšdimensiju apzīmējums, *j*	Apakšindikatora pozitīvā ietekme	Apakšindikatora negatīvā ietekme
Ekonomiskā	1	$I^+_{\text{act},1i}$ $i = 1, \dots, n$	$I^-_{\text{act},1i}$ $i = 1, \dots, n$
Sociālā	2	$I^+_{\text{act},2i}$ $i = 1, \dots, n$	$I^-_{\text{act},2i}$ $i = 1, \dots, n$
Vides	3	$I^+_{\text{act},3i}$ $i = 1, \dots, n$	$I^-_{\text{act},3i}$ $i = 1, \dots, n$
Tehniskā	4	$I^+_{\text{act},4i}$ $i = 1, \dots, n$	$I^-_{\text{act},4i}$ $i = 1, \dots, n$
…	j_n	$I^+_{\text{act},ni}$ $i = 1, \dots, n$	$I^-_{\text{act},ni}$ $i = 1, \dots, n$

I_{act} ir indikatora faktiskā vērtība (neapstrādāti dati), I_{min} ir minimālā vērtība no konkrētā indikatora datu kopas, I_{max} ir maksimālā vērtība no konkrētā indikatora datu kopas. Apzīmējums *j* apzīmē konkrēto apakšdimensiju (*j* = 1 ir ekonomiskā dimensija; *j* = 2 ir sociālā dimensija, *j* = 3 ir vides dimensija; *j* = 4 ir tehniskā dimensija). Apzīmējums *i* apzīmē konkrētās apakšdimensijas specifiskā apakšindikatora nosaukumu.

$$I^+_{\text{N},ji} = \frac{I^+_{\text{act},ji} - I^+_{\text{min},i}}{I^+_{\text{max},i} - I^+_{\text{min},i}}, \quad (1.9.)$$

$$I^-_{\text{N},ji} = 1 - \frac{I^-_{\text{act},ji} - I^-_{\text{min},i}}{I^-_{\text{max},i} - I^-_{\text{min},i}}, \quad (1.10.)$$

kur $I^{\pm}_{\text{N},ji}$ – *j* dimensijas normalizētā vērtība indikatoram *i* (pozitīva + vai negatīva –).

Kad katram apakšindikatoram ir piešķirti svari, nākamais solis ir visu apakšindikatoru apkopošana katrā dimensijā. Aprēķins tiek veikts, izmantojot 1.11. vienādojumu, kur *W* apzīmē noteikto indikatora svaru, I_N ir iegūtā indikatora normalizētā vērtība.

$$I_{S,j} = \sum_i^n W_{ji} I_{N,ji}^{+} + \sum_i^n W_{ji} I_{N,i}^{-}, \qquad (1.11.)$$

kur $I_{S,j}$ – svērts apakšindikators I_N dimensijā *j*; *W* – mainīgā *i* svars dimensijā *j*.

Tad galīgo kompozīta ilgtspējības indeksu nosaka ar katras dimensijas uzkrāto summu ar atbilstošo svaru. Aprēķins tiek veikts saskaņā ar 1.12. vienādojumu.

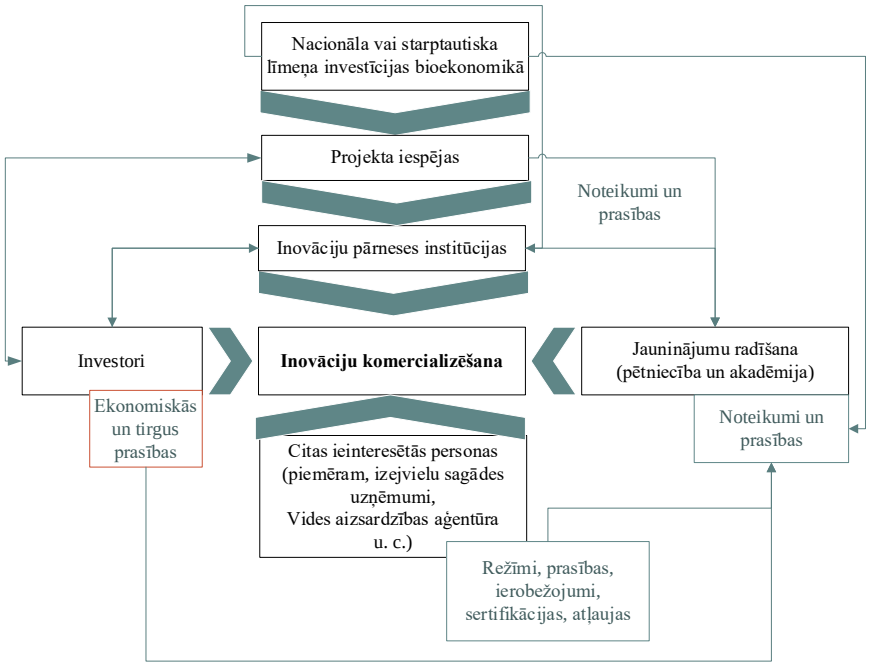
$$I_{CSI} = \sum_j^n W_j I_{S,j}, \qquad (1.12.)$$

kur I_{CSI} – kompozītindeks alternatīvai *I*.

Iegūtā visu dimensiju summa ir galīgais kompozītindekss (*CSI* indekss), ko var izmantot turpmākiem salīdzinājumiem pētījumos.

1.2. Mezolīmeņa novērtēšanas pētījumu metodoloģija

Kā jau tika minēts iepriekš, veiksmīgai pārejai uz ilgtspējīgu bioekonomiku notiek radikālas inovācijas, ko galvenokārt veicina universitātes un pētniecības iestādes.

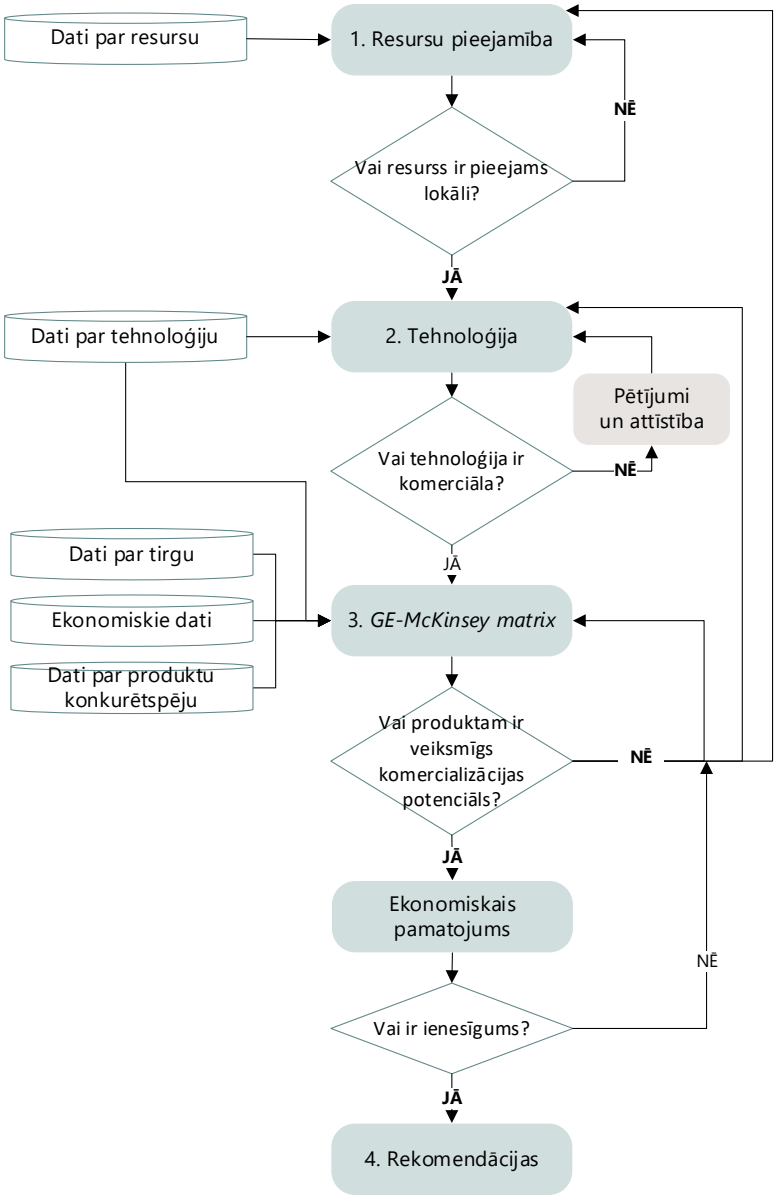


1.3. att. Vispārējs mezolīmeņa algoritms ar transdiciplināru pieeju (autores izveidots).

Vispārīgais mezolīmeņa algoritms (1.3. att.) parāda transdisiplinaritātes nozīmi, kad radikālai inovācijas pārejai uz veiksmīgu komercializāciju būtu jāņem vērā vairāku ieinteresēto personu (institūciju) viedokļi, noteikumi un prasības, piemēram, ieguldītāju galvenā interese ir ekonomiskais pamatojums un tirgus iespējas, tā ir veiksmīgas produktu vai tehnoloģiju komercializācijas bāze. Inovācijas komercializāciju tagad veicina inovācijas pārneses

institūcijas, kas darbojas kā tilts starp investoriem (biznesa domāšana) un akadēmisko vidi (zinātniskā domāšana), izmantojot projektus, ko finansē ieinteresētās personas nacionālā un starptautiskā līmenī. . No vienas puses, tas ir ļoti noderīgi inovāciju komercializēšanai un divu atšķirīgi domājošu pušu apvienošanai, taču tam ir zināmas prasības un izaicinājumi, kā arī abu pušu uzticība Piemēram, ja prasība ir komercializēt tehnoloģiju vai produktu ar licences izmaksām, kas nav zemākas par 300 000 eiro, zinātniekiem varētu būt izaicinājums pielāgot šo produktu vai tehnoloģiju, lai ieņēmumi no tā nebūtu mazāki par veiktajiem ieguldījumiem.

Mezolīmeņa novērtēšanas metodika parādīta 1.4. attēlā. Transdisciplinārai analīzei mezolīmeņa novērtēšanā jāiekļauj zinātniskais viedoklis un ieinteresēto personu intereses.



1.4. att. Mezolīmeņa metodoloģijas algoritms.

Pirmais solis. Resursu pieejamība ir pirmais solis, lai veicinātu bioekonomikas attīstību. Resursiem jābūt vietējiem, neatkarīgiem no importa.

Otrais solis. Tehnoloģijai vajadzētu būt pieejamai komerciālā mērogā, arī tad, ja tā ir inovatīva tehnoloģija. Ja inovatīvā tehnoloģija vēl nav komercializēta, tā atgriežas pētniecības un attīstības (*R&D*) posmā.

Trešais solis. Lēmumu pieņemšanas matrica. Šajā gadījumā lēmumu pieņemšanas matrica ir *GE–McKinsey* matrica, kas izmantota tirgus novērtēšanai. Aprēķiniem ir apkopoti ekonomiskie dati un dati par tehnoloģijām, kā arī dati par produktu konkurētspēju un tirgu. Pēc rezultātu iegūšanas šie dati tiek ievietoti matricā lēmumu pieņemšanai. Aprēķina pozitīvs rezultāts ne vienmēr parāda faktisko situāciju; parasti ir nepieciešama matricas vizualizācija. Informācijas avoti par matricu sastāv no zinātniskām publikācijām, esošajiem datiem par ražotnēm un gada pārskatiem. Var apsvērt arī ekspertu atzinumu, neskaitot patērētāju aptaujas. Datu analīze tiek veikta, pamatojoties uz informācijas avotu datiem, un parādīta *GE–McKinsey Matrix* divās dimensijās – tirgus pievilcība un produktu konkurences priekšrocība. Galvenie dati tiek vākti no informācijas avotiem, piemēram, zinātnisko pētījumu dokumentiem vai attiecīgā uzņēmuma datu avotiem (izņemot patērētāju aptaujas).

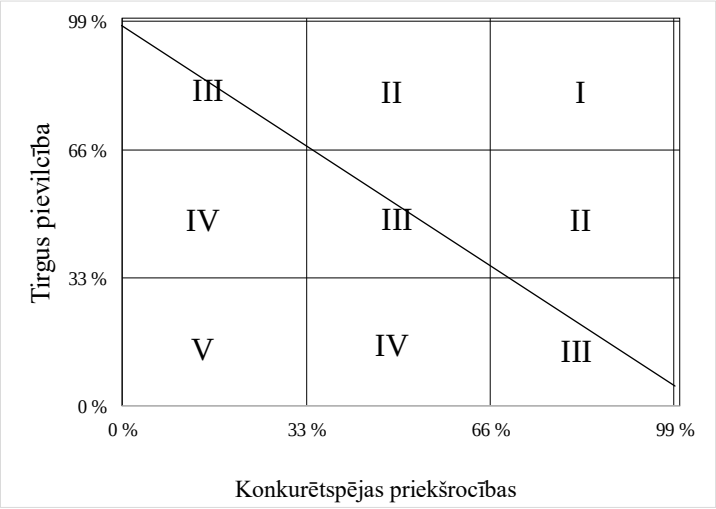
Ceturtais solis. Matricas rezultātu vizualizācija un rekomendācijas turpmākajam jaunu produktu ražošanas novērtējumam pašreizējā vietā vai valstī, kur ir pieejami vietējie resursi.

1.2.1. Tirgus potenciāla analīze *GE–McKinsey Matrix*

Lietotā metodika (*GE–McKinsey Matrix*) izmanto deviņus moduļus vai blokus, lai apzīmētu potenciālo jauno bioproduktu tirgus aspektus. Metodika (1.4. att.) ir izstrādāta un pārbaudīta trim tirgū esošiem produktiem.

GE–McKinsey Matrix metodika ir modificēta, iekļaujot apsvērumus un ierobežojumus, piemēram, vides aizsardzību, kas nepieciešami ražošanas procesā, un produkta ilgtspējību. Uzņēmuma konkurences situācijas vietā tas parāda konkrēta produkta konkurences pievilcību. Pēc rezultātu iegūšanas ir iespējams gūt ieskatu par produkta tirgus iespējām.

Līdzīgu analīzi var veikt, izmantojot *Boston Consulting Group* matricu, kas, iespējams, ir vislabāk zināmais šāds plānošanas ietvars. Tomēr *GE–McKinsey Matrix* ir jaunāks un nodrošina labāk attīstītu analīzi ar plašāku faktoru klāstu. Būtībā *GE–McKinsey* matrica ir izstrādāta, par pamatu ņemot *Boston Consulting Group* matricu, jo tika atzīts, ka tā nav pietiekami elastīga, kā arī tai bija sarežģītības problēmas [3]. *GE–McKinsey Matrix* tiek plaši izmantots produktu portfeļa pārvaldībai un konkurences scenāriju analīzei [4].



1.5. att. "Tirgus pievilcība – konkurētspējas priekšrocības" matrica jeb *GE–McKinsey Matrix* [3], [4].

1.5. attēlā parādīti izstrādājumi, kas atrodas virs diagonāles līnijas un ir lieliski izpildītāji ar augstu komercializācijas potenciālu; tie ir produkti, uz kuriem uzņēmumam ir jākoncentrējas. Produkti, kas atrodas zem līnijas, ir jāturpina analizēt un uzlabot vismaz līdz brīdim, kamēr tie parādās virs šīs līnijas. Pretējā gadījumā būtu jāsamazina vai dažos gadījumos jāpārtrauc to ražošana. Izstrādājumus var novērtēt arī pēc kvadranta, kurā tie atrodas. Pirmajā kvadrantā iekļautajā produktā ir vērts ieguldīt, neveicot papildu aprēķinus vai novērtējumu, un to var iezīmēt kā produktu līderi. Produktiem otrajā kvadrantā ir izaugsmes potenciāls, un, ja uzlabojumus var atrast un ieviest, uzņēmumam var būt ieteicams investēt tajos. Trešā kvadrantā esošie produkti atrodas pievilcīgos tirgos, taču pirms to ražošanas turpināšanas tie ir jānovērtē sīkāk, lai noskaidrotu, vai pastāv iespējas biorafinēšanai. Ceturtais kvadrants pārstāv vājus tirgus; tajos ieguldīt nav ieteicams. Piektā kvadranta produkti ražošanai nav ieteicami [3], [5].

Šīs matricas priekšrocība ir tā, ka tā ņem vērā plašāku faktoru klāstu nekā Bostonas grupas matrica un to ir vizuāli vieglāk saprast. *GE–McKinsey Matrix* ir plašākas dimensijas, jo tai ir deviņi lauki, 3 × 3 režģi. Salīdzinājumam Bostonas grupas matricai ir tikai 2 × 2 režģi [3], [6].

Tirgus pievilcību var aprēķināt šādi:

$$M_{\mathrm{a}} = \frac{Zk}{100}, \tag{1.13.}$$

kur M_{a} – kopējais tirgus pievilcības rādītājs; Z – aprēķinātais reitinga vērtējums;

$$k = \frac{100}{f \cdot B_{\max}}, \tag{1.14.}$$

kur k – koeficients; f – faktoru skaits; $B_{\max}$ – maksimālais vērtējums.

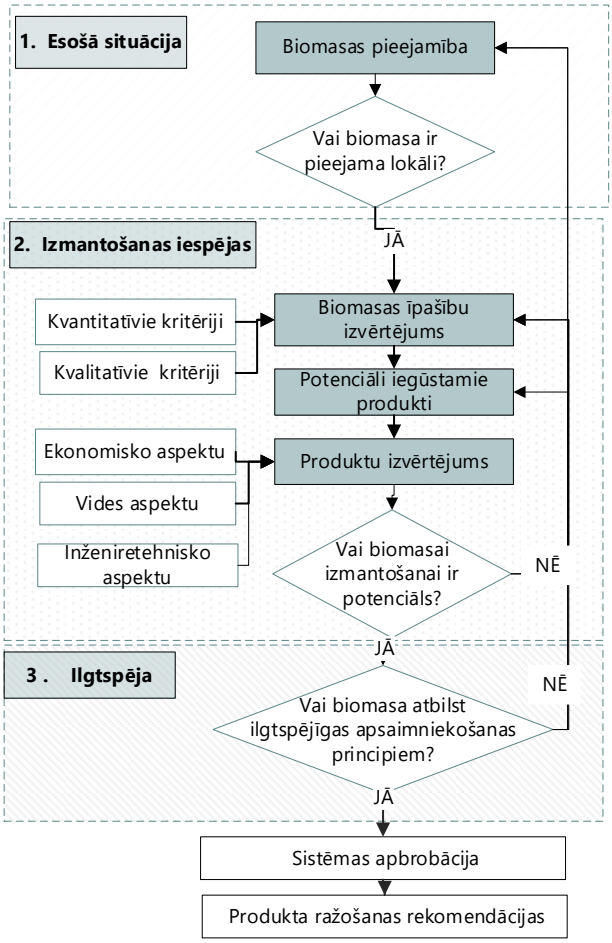
Relatīvās konkurences priekšrocības rādītāju aprēķina, salīdzinot produktu ar tā spēcīgāko konkurentu, un to izsaka ar vienādojumu:

$$R = \left(\frac{B}{B_{\mathrm{comp}}} - 1\right) 100, \%, \tag{1.15.}$$

kur R – produktu konkurences priekšrocību relatīvais rādītājs; B – jaunu produktu rezultātu novērtēšana; B_{comp} – spēcīgāko konkurentu rezultātu novērtējums.

1.3. Mikrolīmeņa novērtēšanas pētījuma metodoloģija

Mikrolīmeņa novērtēšanas metodoloģijas algoritms ir aprakstīts un parādīts 1.6. attēlā.



1.6. att. Mikrolīmeņa metodoloģijas algoritms.

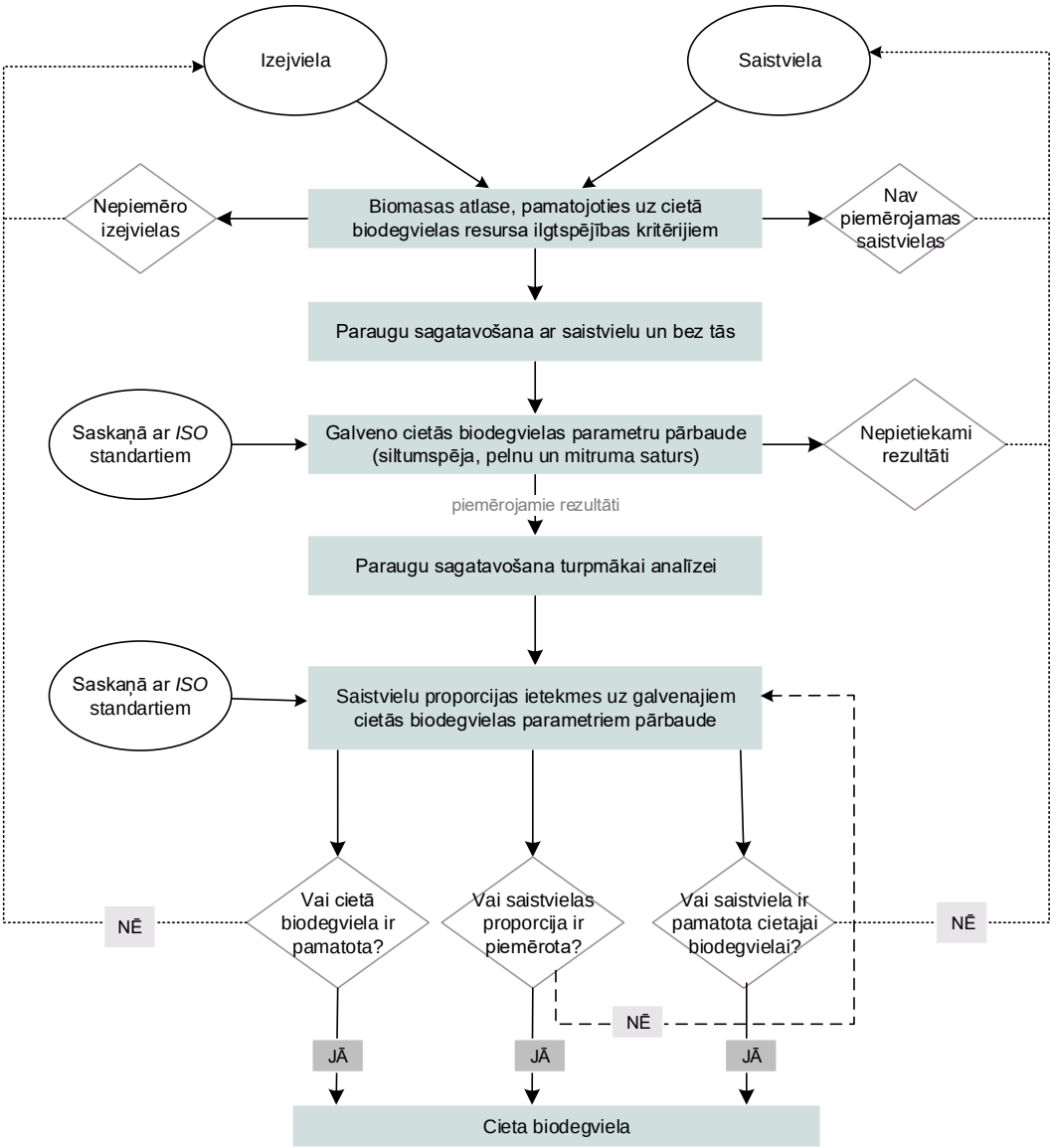
Mikrolīmeņa novērtējuma pamatā ir bioresursu lokālā pieejamība, potenciālās vērtības novērtēšana un prioritāšu izvēle kā lēmumu analīze. Eksperimentālā analīze tiek veikta cietās biodegvielas potenciāla noteikšanai.

Tika izmantota *MCDA* metode (*TOPSIS*), lai prioritizētu Latvijā neizmantojamos bioresursus atbilstoši to valorizācijas aspektam. Šajā gadījumā ideāls risinājums ir tās sugas, kurām ir prioritāte turpmākai ietekmes uz ekosistēmas pakalpojumiem novērtēšanai uz bioloģisko daudzveidību, sociālo un ekonomisko ietekmi (augsta, vidēji zema vai zema). Alternatīvas ir invazīvas vai potenciāli invazīvas svešzemju augu sugas, kas atklātas valstī.

1.3.1. Eksperimentālā analīze cietās biodegvielas potenciāla novērtēšanai

Metodika ir vērsta uz izejvielu izvēli, ko var izmantot kā cieto biodegvielu un ko neizmanto mežsaimniecībā, lauksaimniecībā, akvakultūrā un pārtikas rūpniecībā. Ilgtspējas kritēriji tiek noteikti, lai izvēlētos piemērotus materiālus un saistvielas, kā arī lai atrastu zemas izmaksas un, vēlams, atlikumu/ atkritumu bioresursus. Sākumā paraugi tiek sagatavoti ar saistvielām un bez tām. Katrā paraugā saistvielas tika izmantotas tādā pašā proporcijā. Galveno cietās biodegvielas

parametru (pelnu un mitruma saturs, siltumspēja) noteikšana ļauj novērtēt izejvielu, saistvielu un jaukto granulu kvalitāti. Turpmākai pārbaudei tiek izvēlēti materiāli ar augstāku siltumspēju, zemāku pelnu un mitruma saturu. Turpmākajā parauga sagatavošanā tiek izmantotas dažādas saistvielu proporcijas paraugiem (10 masas %, 30 masas % un 50 masas %). Pārbaudītie parametri ir tādi paši kā iepriekš. Ja siltumspēja palielinās, pelnu saturs paliek nemainīgs vai samazinās un mitruma saturs ir mazāks par 10 masas %, šādā gadījumā cieto biodegvielu un saistvielu klasificē kā pamatotu. Ja izmaiņas ir nozīmīgas un bez skaidras tendences, ir jātestē vairāk paraugu dažādās proporcijās, lai atrastu optimālo proporciju un rezultātus.



1.7. att. Algoritms jauna avota cietas biodegvielas validācijai.

1.7. attēlā parādīts metodikas algoritms resursu validēšanai kā cietai biodegvielai. Izvēlētie soļi un kritēriji ierobežo biomasas un biodegvielas izvēli. Metodoloģijas gadījuma izpēte tiek veikta ar invazīvām sugām.

Pēc izejvielu un saistvielu izvēles pēc ilgtspējības kritērijiem parauga sagatavošanai un turpmākai analīzei ir izvēlētas divas izejvielas un divas saistvielas.

Izejvielu un saistvielu izvēles ilgtspējības kritēriji cietajai biodegvielai:

- nekoksnes resurss;
- ar lauksaimniecību nesaistīts resurss;
- resurss, kas netiek izmantots akvakultūrā;
- nav nepieciešams mēslojums vai papildu ūdens;
- resurss, kas netiek izmantots pārtikas rūpniecībā;
- bioresursi (nevis fosilais kurināmais);
- citur neizmantoti atlikumi/atkritumi;
- Pieejamie/vietējie resursi (atbilst ģeogrāfiskajam stāvoklim un klimata zonai)
- lēts resurss;
- resurss netiek izmantots augstas pievienotās vērtības produktu ražošanai noteiktā vietā (valstī);
- pozitīva ietekme uz vidi un klimatu.

Galvenās biodegvielas īpašības tiek pārbaudītas saskaņā ar biodegvielas testēšanas *ISO* standartiem: pelnu saturu, mitruma saturu un siltumspēju.

Pelnu saturs tika aprēķināts pēc 1.16. vienādojuma:

$$A_{\mathrm{d}} = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100 \cdot \frac{100}{100 - M_{\mathrm{ad}}}, \qquad (1.16.)$$

kur m_1 – tukša trauka masa, g; m_2 – trauka masa plus testa porcija, g; m_3 – trauka masa ar pelniem, g; M_{ad} – mitruma saturs analizējamajā paraugā, ko izmanto pelnu satura noteikšanai, masas %.

Rezultātu aprēķina līdz divām zīmēm aiz komata, vidējā vērtība ziņojuma sagatavošanai tiek noapaļota ar precizitāti līdz 0,1 % [112].

Maksimālā pieļaujamā relatīvā atšķirība starp rezultātiem, kuru pelnu saturs ir lielāks par 1 %, ir 10 %.

Mitruma saturs

Paraugs tiek turēts hermētiskos plastmasas maisiņos (saskaņā ar *EN 14778*), nominālais augšējais izmērs tika samazināts zem 1 mm [113]. Mitruma saturs vispārējā analīzes paraugā ir noteikts saskaņā ar *ISO 18134-3*. Paraugu žāvē žāvēšanas skapī 105 °C temperatūrā. Trauki izgatavoti no nerūsējoša un karstumizturīga materiāla, kas pārklāts ar labi uzstādītu vāku [113].

Tika pieņemts, ka, gatavojot paraugu, paraugs nezaudē mitrumu. Testa porcijas masa bija diapazonā 0,8–1,1 g.

Pēc parauga sagatavošanas tukšu un tīru svēršanas trauku ar tā vāku žāvē (105 ± 2) °C un tad atdzesē līdz istabas temperatūrai eksikatorā. Tad testa paraugu ievieto žāvētos traukos un žāvē bez vāka (105° ± 2) °C vienu stundu.. Katru testa porciju žāvē trīs reizes, katrs paraugs tiek pārbaudīts trīs eksemplāros.

$$M_{\mathrm{ad}} = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \cdot 100, \qquad (1.17.)$$

kur m_1 – tukša trauka masa ar vāku, g; m_2 – trauka, vāka un testa porcijas masa pirms žāvēšanas, g; m_3 – trauka, vāka un testa porcijas masa pēc žāvēšanas, g.

Atkārtojamībai trīskāršu noteikšanu rezultāts neatšķīrās vairāk nekā par 0,2 % absolūtā mitruma [113].

Siltumspēja

Siltumspējas analīze tika veikta saskaņā ar *ISO 18125* standartu. Eksperiments tika veikts izoperiboliskā stāvoklī, atsauces temperatūra bija 30 °C [114].

Sausās masas bruto siltumspējas aprēķināšana (nemainīgā tilpumā):

$$Q_{\mathrm{a}}^{\mathrm{d}} = H_0 - \frac{Q_{\mathrm{N,S}} + Q_{\mathrm{S}}}{m}, \tag{1.18.}$$

kur $Q_{\mathrm{a}}^{\mathrm{d}}$ – kopējā siltumspēja nemainīgā tilpumā, J/g; m – parauga masa, g; $Q_{\mathrm{N,S}}$ – siltuma korekcija, ņemot vērā slāpekļskābes veidošanos, J; Q_{S} – siltuma korekcija, ņemot vērā sērskābes veidošanos, J; H_0 – analizētās degvielas bruto siltumspēja, J/g.

Biodegvielu, kas nav koksne, cietas biodegvielas atkārtojamības robeža ir 140 J/g [114].

$$Q_{\mathrm{S}} = 57 S^{\mathrm{d}} m_{\mathrm{s}}, \tag{1.19.}$$

kur S^{d} – sēra saturs analizētajā paraugā (sausā veidā), %.

$$Q_{V,\mathrm{dr,d}} = Q_{V,\mathrm{gr}} \frac{100}{100 - M_{\mathrm{ad}}}, \tag{1.20.}$$

kur $Q_{V,\mathrm{gr,d}}$ – sausās masas bruto siltumspēja nemainīgā tilpumā, J/g; M_{ad} – vispārējā analīzes parauga mitruma saturs, masas %.

$$Q_{p,\mathrm{net,d}} = Q_{V,\mathrm{gr,d}} - 212.2 H^{\mathrm{d}} - 0.8\left(O^{\mathrm{d}} + N^{\mathrm{d}}\right), \tag{1.21.}$$

kur $Q_{p,\mathrm{net,d}}$ – sausās masas zemākā siltumspēja pie pastāvīga spiediena, J/g; H^{d} – ūdeņraža saturs analizētajā paraugā (sausā veidā), masas %; O^{d} – skābekļa saturs analizētajā paraugā (sausā veidā), masas %; N^{d} – slāpekļa saturs analizētajā paraugā (sausā veidā), masas %.

$$q_{p,\mathrm{net,ar}} = q_{p,\mathrm{net,d}}\left(1 + 0.01 M_{\mathrm{ar}}\right) - 24.42 M_{\mathrm{ar}}, \tag{1.22.}$$

kur $q_{p,\mathrm{net,ar}}$ – parauga zemākā siltumspēja, kas saņemta pie pastāvīga spiediena, J/g; M_{ar} – kopējais mitruma saturs, masas %.

2. REZULTĀTI

2.1. Bioekonomikas makrolīmeņa analīzes rezultāti

Pāreja uz ilgtspējīgu bioekonomiku ar pielāgotu pieeju paātrinātu tās attīstību un padarītu to mērķtiecīgāku. Joprojām nav vienotas starptautiskas metodes ilgtspējības līmeņa noteikšanai, mērīšanai un salīdzināšanai. Šī pētījuma mērķis ir izstrādāt metodoloģiju bioekonomiku ietekmējošo faktoru savstarpējo saistību novērtēšanai un līmeņatzīmes izveidošanai, izmantojot augšupēju pieeju. Galvenais rezultāts ir faktoru savstarpējo saistību novērtējums, ko varētu tālāk izmantot kompozīta ilgtspējas indeksa izveidošanai. Pētīts trīskāršu faktoru savstarpējās saiknes gadījums (*nexus*): politika, pētījumi, inovācijas, kā arī tehnoloģiju saikne Eiropas Savienības valstīm. Rezultātā empīriskais modelis sniedz politikas, pētniecības un inovāciju un tehnoloģiju sasaistes līmeņatzīmes matemātisko aprakstu.

Faktoru analīze

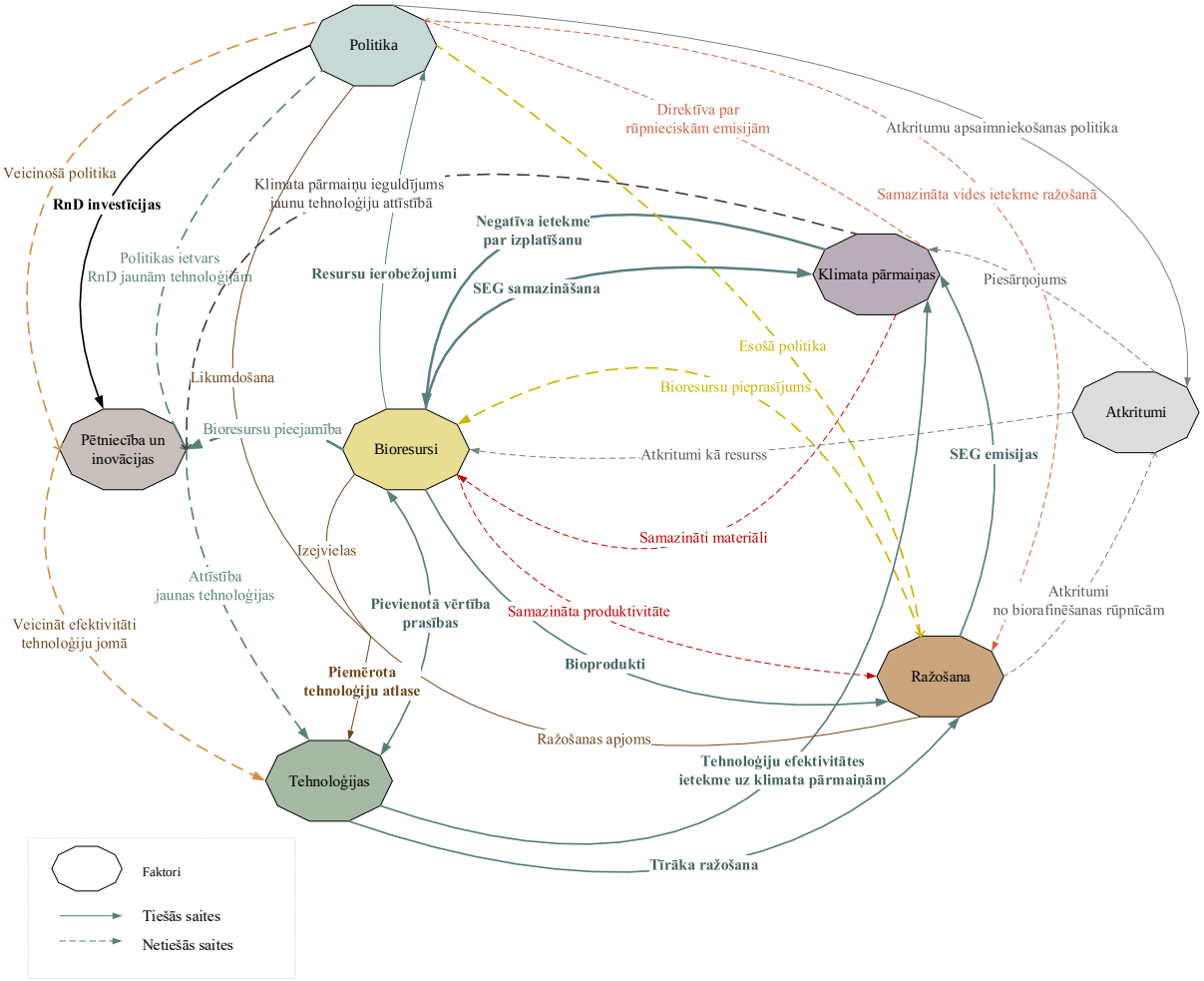
Iepriekšējos pētījumos kopumā tika iegūti 24 bioekonomiku ietekmējoši faktori. Pēc ekspertu novērtējumiem un *Delphi* metodes izmantošanas tika identificēti septiņi primārie bioekonomiku ietekmējošie faktori un to saikne (2.1. att.). Saiknes balstījās arī uz zinātnisko literatūru un tika apspriestas. Saiknes tiek aprakstītas kā tiešas vai netiešas, pamatojoties uz to, kā tās ietekmē faktorus. Turpmākajos pētījumos ieteicams izmantot trīskāršu vai četrkāršu faktoru saites novērtējumu, lai iegūtu vairāk ieskatu saites raksturlielumos, pamatojoties uz faktoriem, ko saite savieno.

Mūsdienu tehnoloģijas ietekmē vidi; energoefektivitātei ir viens no pamanāmākajiem efektiem [7]. Rūpniecībai bija jānoiet tāls ceļš – sākot no ogļu sadedzināšanas ar zemu efektivitāti 0,5 % [8] līdz aptuveni 90 % efektivitātei pēdējās desmitgadēs [9]. Turklāt tehnoloģijām ir milzīga loma rūpniecībā, ļaujot ražot bioproduktus no izejvielām, tādējādi izveidojot ciešu saikni starp bioresursiem, tehnoloģijām un bioproduktiem [10]. Īpašas tehnoloģijas izvēli ietekmē ražošanas apjoms un izmantotās izejvielas, kā arī reģionālā likumdošana [11].

Tehnoloģiju attīstībā liela loma ir politikai, jo stratēģiski stimuli pētniecībai un attīstībai rada uzlabotu tehnoloģiju ražošanas efektivitāti. Šo tehnoloģiju ieviešana jaunās un esošās ražotnēs varētu izraisīt pieaugošu pieprasījumu pēc biomasas izejvielām [12]. Spēkā esošo tiesību aktu dēļ ir sagaidāms, ka pieprasījums pēc biomasas izejvielām ražošanai patiešām pieaugs vietējā, ES un pat pasaules līmenī [13], samazinot ražošanas negatīvo ietekmi uz klimatu [14]. Tomēr biorafinēšana rada piesārņojumu gāzu, šķidru atkritumu un cietu vielu veidā [15].

Viens no daudzajiem klimata izmaiņu negatīvajiem aspektiem ir mainītā temperatūra un ūdens cikli [16], kā rezultātā mainās bioresursu izplatība reģionā [17]. Populārs piemērs šai negatīvajai ietekmei uz rūpniecību ir paredzamais kafijas pupiņu produktivitātes kritums [18].

Neskatoties uz to, ka klimata izmaiņas negatīvi ietekmē nozari, ir jāīsteno īpaša politika, kuras mērķis ir samazināt rūpniecības negatīvo ietekmi uz klimatu [19]. Šīs politikas mērķis ir atbalstīt jauninājumus, kas novērš rūpnieciskās emisijas, tostarp piesārņojumu [20].



2.1. att. Septiņu bioekonomikas faktoru savstarpējo saistību grafiskais attēlojums.

Dedzinot fosilo kurināmo, atmosfērā tiek izvadīts ogleklis, kas atdalīts pirms miljoniem gadu, tādējādi palielinot oglekļa daudzumu oglekļa aprites ciklā [8]. Lai palēninātu klimata pārmaiņas, fosilie resursi būtu pilnībā jāaizstāj ar bioresursiem [21]. No nozares puses tā būtu milzīga apņemšanās, jo pieprasījumu nosaka piedāvājums. Pieprasījums ne tikai nosaka pieejamo bioresursu daudzumu, bet arī stimulē jaunu videi draudzīgāku tehnoloģiju attīstību [22]. Atšķirībā no fosiliem resursiem, bioresursi ir atšķirīgi pēc sastāva, tāpēc ir nepieciešamas mainīgākas tehnoloģijas un elastīgāka pieeja rūpniecībā [13]. Turklāt dažādas biomasas rezultātā rodas dažādi produkti ar atšķirīgu vērtību tonnai izejvielu [12].

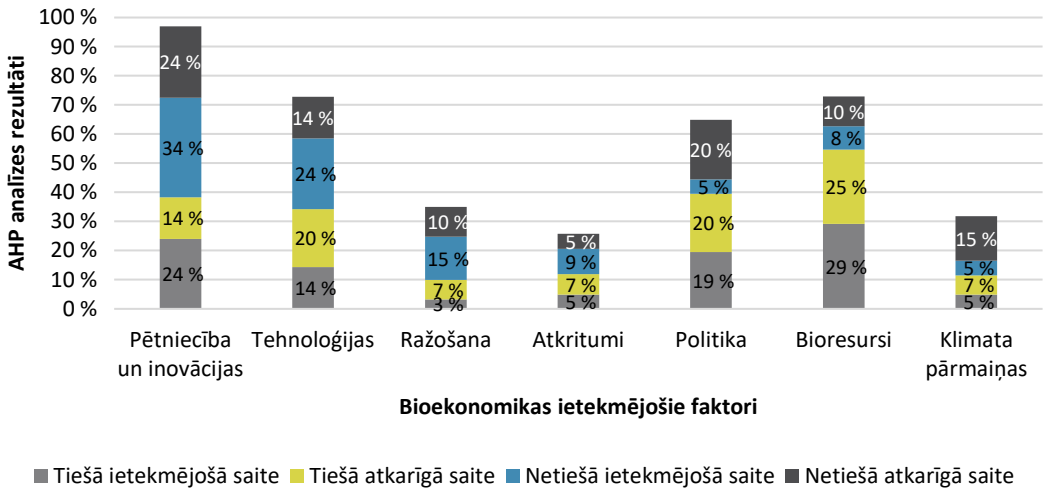
Atzīstot pētniecības un attīstības nozīmīgo lomu novatorisku tehnoloģiju attīstībā [12], ES piešķir ievērojamu daudzumu resursu, lai veicinātu pētniecību un biotehnoloģiju attīstību [13].

Galvenās saiknes, kas identificētas no grafiskā attēlojuma saitēm (2.1. att.), ir: politika – pētniecība un inovācijas – tehnoloģija; ražošana – atkritumi – klimata pārmaiņas; ražošana – atkritumi – bioresursi; politika – ražošana – bioresursi; tehnoloģija – ražošana – klimata pārmaiņas; klimata pārmaiņas – politika – izstrāde; politika – tehnoloģija – ražošana – bioresursi; klimata pārmaiņas – bioresursi – ražošana.

MCDA visiem septiņiem atlasītajiem bioekonomikas faktoriem tiek veikts ar AHP un *TOPSIS* metodēm. AHP un *TOPSIS* metodes ir divas no visbiežāk izmantotajām *MCDA* metodēm [23]. Matricu normalizē, izmantojot vektora normalizācijas metodi, un attiecīgi

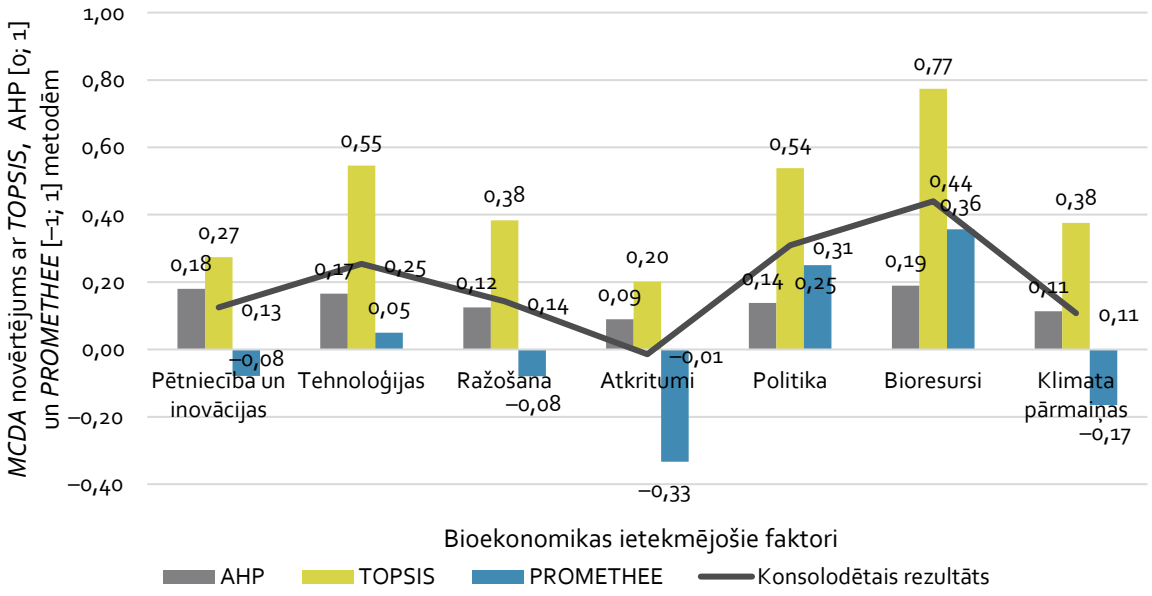
nosver. Attālumi līdz pozitīvajiem un negatīvajiem risinājumiem pēc Eiklīda attāluma palīdz sakārtot alternatīvas [24].

Pieņēmumi par saites veida stiprumu ir iekļauti abās analīzes metodēs (AHP un *TOPSIS*). Tiek uzskatīts, ka abas tiešās saites (tieša ietekmējošā un tiešā atkarīgā) ir divtik nozīmīgas nekā netiešās saites (netiešā ietekmēšana un netiešā atkarība). Tāpēc svari ir 1/3 (vai 0,33) tiešajām saitēm un 1/6 (vai 0,17) netiešajām saitēm.



2.2. att. Faktoru AHP rādītāji, pamatojoties uz saites veidu.

2.2. attēlā redzams, ka starp faktoriem ir vairāk netiešu saišu nekā tiešu saistību. Piemēram, pētniecībai un inovācijai lielākā AHP analīzes rezultāta daļa rodas netieši ietekmējošās saites, tāpēc to var saprast, jo šis faktors vairāk ir bioekonomikas attīstības instruments (virzītājspēks) un darbojas ciešā saistībā ar citiem faktoriem. Lielākais tiešo saišu īpatsvars ir bioresursiem, kas ir faktors, uz kuru balstās bioekonomika. Liela ietekme AHP analīzē ir arī politikas un tehnoloģiju faktoriem.



2.3. att. *MCDA* analīzes rezultāti septiņām savstarpējām bioekonomiku ietekmējošo faktoru saitēm pamatojoties uz to nozīmīgumu.

2.3. attēlā redzami trīs metožu galīgie rezultāti, kas atšķiras atkarībā no izmantotās pieejas. Pēc pāra salīdzināšanas (AHP) tika noteikts, ka vislielākā ietekme ir uz bioresursiem, pētniecību, inovācijām un tehnoloģijām, ko var apstiprināt ar bioekonomikas definīciju kā uz zināšanām balstītu un uz bioresursiem balstītu ekonomiku [25] un ka 2012. gadā tika noteikta biotehnoloģija kā prioritārs virzītājspēks bioekonomikas attīstībā [26]. *PROMETHEE* analīze rāda, ka lielāko ietekmi bioekonomikā sastāda bioresursu, politikas un tehnoloģijas faktori. Lai arī saskaņā ar *TOPSIS* analīzi bioresursiem ir visaugstākais vērtējums, svarīgi ir arī tehnoloģiskie un politikas faktori. Bioresursiem ir liela nozīme bioekonomikā, jo to pamatā ir biomasa un tās ilgtspējīga izmantošana. Tehnoloģiju faktors uzrāda augstu rezultātu, izrietot no divām metodēm, jo tas nodrošina resursu ilgtspējīgu izmantošanu, kā arī efektīvāku jauno tehnoloģiju un bioproduktu izmantošanu un attīstību. *TOPSIS* analīzē politika ir ar augstāku rezultātu (otrais augstākais vērtējums starp alternatīvām) nekā pētījumiem un inovācijām (sestais augstākais vērtējums), un AHP analīzes metodē – otrādi. Tomēr, ja ņem vērā šo faktoru savstarpējo saistību (2.1. att.), politikai ir netiešas saites ar pētniecības un inovācijām, kas rada tehnoloģiju faktoru. Tāpēc tiek ierosināts ņemt vērā konsolidētos rezultātus, izvēloties prioritātes turpmākam faktora analīzes un saišu izvēles novērtējumam.

Intervālu skalas *TOPSIS* analīzes rezultātiem svārstās no 0,2 (atkritumi) līdz 0,77 (bioresursi), un AHP analīzes rezultāti svārstās no 0,09 (atkritumi) līdz 0,18 (pētniecība un inovācijas), *PROMETHEE* no –0,33 (atkritumi) līdz 0,36 (bioresursi).

2.1.1. Trīs faktoru saiknes (*nexus*) novērtējums Eiropas Savienības bioekonomikā, izmantojot indikatoru analīzi

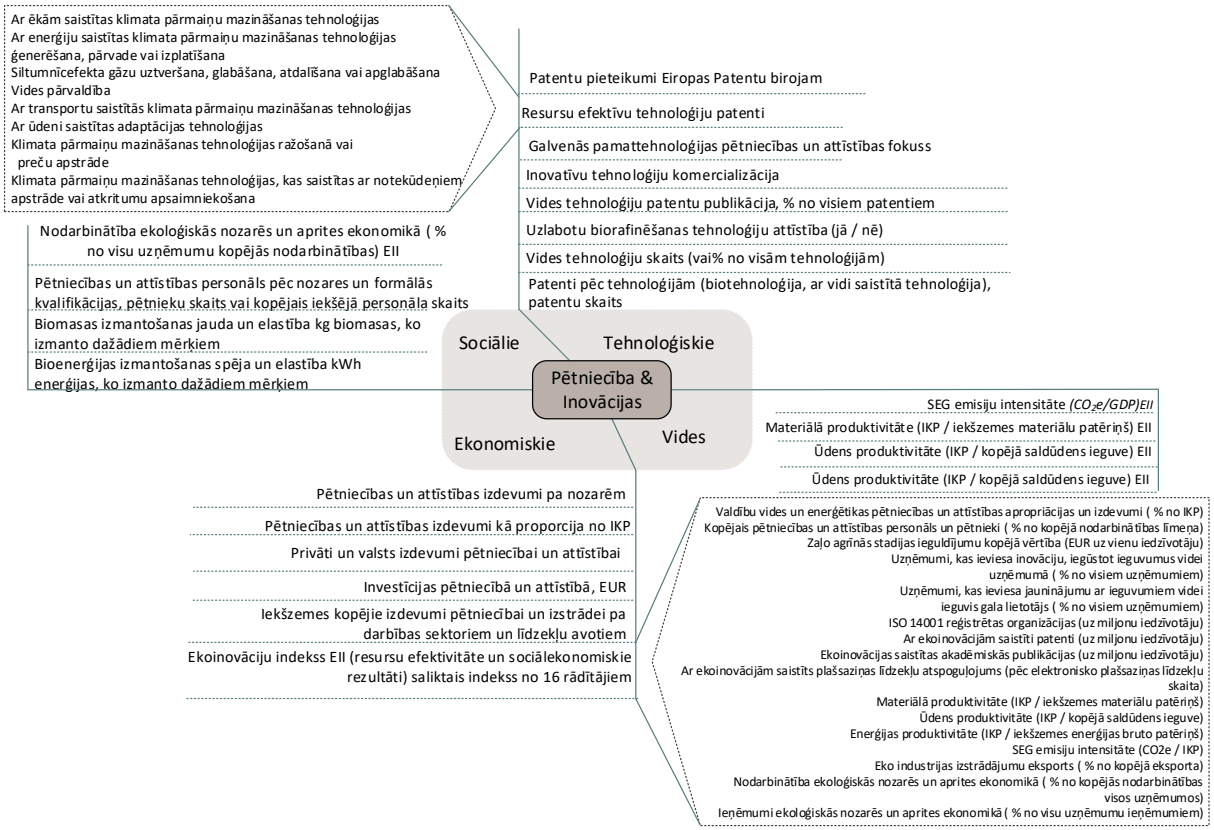
Pētniecības un inovācijas faktora raksturojums

Tehnoloģiju pārneses organizācijas ir veids, kā mazināt plaisu starp nozari un zinātni [27]. Bet valstīm un reģioniem, kas paļaujas uz starptautiskām inovācijas un tehnoloģijas pārneses organizācijām, lai sekmētu jaunu bioproduktu attīstību [17], būtu jāsekmē arī valdības atbalsts.

Ir divi veidi pārejai uz bioekonomikas inovācijām: papildu un pakāpeniskas inovācijas (izmantojot jaunus produktus un procesus) un daudzveidīgu, radikāli jaunu un graujošu inovāciju ieviešana [25], [28].

Efektīvai pārejai uz ilgtspējīgu bioekonomiku ir nepieciešami otrā veida jauninājumi. Tas nozīmē, ka būs nepieciešamas radikālas inovācijas, lai veiktu globālas pārmaiņas vēlamo mērķu sasniegšanā. Tas ietver pārveidotus biznesa modeļus, pārveidotas piegādes ķēdes, jaunu vērtību ķēžu izveidošanu, piemēram, jaunu ilgtspējīgu produktu un tehnoloģiju vajadzību, zināšanu un prasmju izstrādi ārpus esošām kompetences jomām. Universitātes un pētniecības iestādes ir stūrakmens šo radikālo jauninājumu ieviešanai [25], [28].

Inovācijas var aprakstīt pēc to veida [29], attīstības pakāpes, tehnoloģiskās gatavības līmeņa (*TRL*), graujošās vai radikāli jaunās pakāpes [25], [30], zināšanu bāzes sarežģītības līmeņa inovācijas attīstībai [25], dažādu inovāciju attīstības dalībnieku sadarbības pakāpes [28], politikas pamatnostādņu sarežģītības pakāpes (Eiropas Komisijas 2012. gada bioekonomikas stratēģija) un inovāciju attīstības nelinearitātes līmeņa. "*HORIZON 2020*" ir bijis viens no galvenajiem inovāciju veicināšanas instrumentiem bioekonomikā [25].



2.4. att. Indikatori, kas raksturo pētniecības un inovācijas faktoru bioekonomikas kontekstā.

2.4. attēlā redzami galvenie pētniecības un inovācijas faktora rādītāji, divi indikatori – patenti resursu efektīvas izmantošanas tehnoloģijās un Ekoinovācijas indekss (EII) – ir izskaidroti sīkāk, izmantojot apakšindikatorus.

Politikas faktoru raksturojums

Politika tiek definēta kā vispārējs darbību un pasākumu kopums, kas tiek plānots un noteikts augstākajā vadības līmenī un ietver apstiprinātu attieksmi un noteikumus, kas jāievēro, vadot organizācijas darbību [31]. Citā politikas definīcijā teikts, ka "politika ir paziņojums par nodomu mainīt uzvedību pozitīvā veidā, savukārt [politikas] instruments ir līdzeklis vai īpašs pasākums, lai šo nodomu īstenotu darbībā" [32], [33].

Politika ir viens no spēcīgākajiem un nozīmīgākajiem faktoriem, kas ietekmē ilgtspējīgas bioekonomikas ieviešanu. Bioekonomikas attīstība valstī ir atkarīga no tās politiskās sistēmas un vēlamajiem politikas instrumentiem [34]. Gan ES bioekonomikas stratēģijā (2012), gan tās atjauninātajā versijā (2018) [27] tiek uzsvērta politikas nozīme bioekonomikas attīstībā.

Politikas instrumentu vispārējie veidi ir: ierobežojoši un kontroles pasākumi; jauninājumu veicināšana; produktu cenu noteikšanas mehānismi; informatīvie pasākumi; dalībnieku iesaistīšana; ieguldījumu atbalstīšana [33].

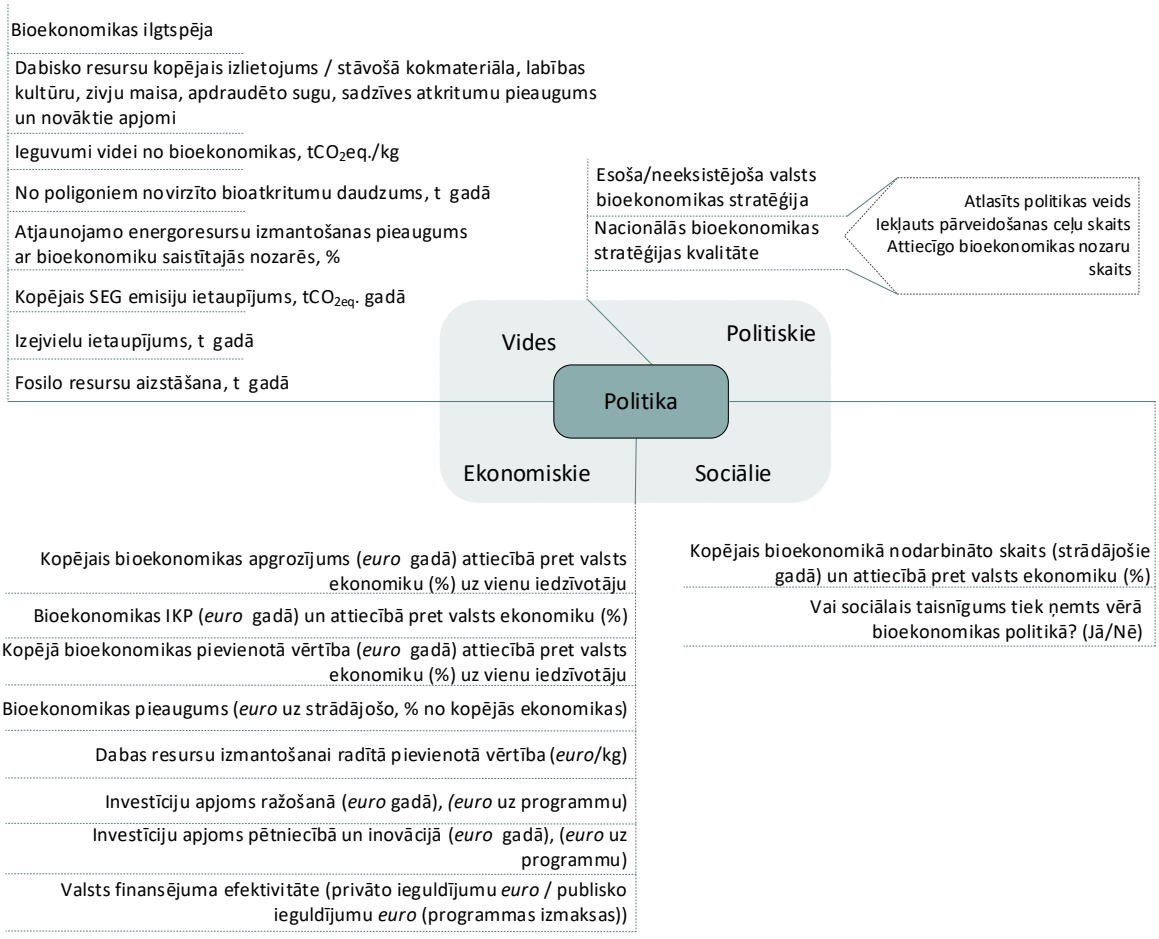
Politikas iejaukšanās var dot iespēju pāriet uz ilgtspējību un bioekonomiku, taču neviena politika nevar nodrošināt šādas pārejas pilnīgu sistēmisku īstenošanu [19]. Lai nodrošinātu bioekonomikas attīstību, ir nepieciešams dažādu politikas instrumentu apvienojums [12].

Politikas instrumentus, kas paredzēti bioekonomikas attīstības veicināšanai, parasti var iedalīt četrās grupās:

- likumīgas, t. i., nepieciešamās izmaiņas noteikumos un/vai kvalitātes standartos, lai atļautu un virzītu bioproduktu pārdošanu;
- atbalsts brīvprātīgām iniciatīvām un prasībām valsts sektoram saistībā ar bioloģisko atkritumu savākšanu;
- finansiālu stimulu nodrošinājums privātiem ieguldījumiem biorafinēšanas rūpnīcās (piemēram, zaļie sertifikāti vai tarifi par barības piegādi);
- valsts finansiāls atbalsts pētniecībai un attīstībai [12].

Atsaucoties uz pēdējām divām politikas instrumentu grupām, politika ir saistīta ar ražošanas, pētniecības un inovācijāu faktoriem, jo subsīdijas, ko paredz bioekonomiku veicinoša politika, parasti tiek vērstas uz rūpniecību vai pētniecību un inovācijām.

Nodrošinot darbības vērtējumu, ziņošanu un veicinot saziņu ar ieinteresētajām personām, politikas rādītāji palīdz nodrošināt konsekventu un pārredzamu ilgtspējības apsvēršanu sabiedriskajā politikā [35]. Rādītāji, ko var izmantot bioekonomikas politikas novērtēšanai, ir tie, kas raksturo bioekonomikas attīstību. 2.5. attēlā sniegts ar politikas faktoru saistītu rādītāju grafisks kopsavilkums. Labāks rādītāju sniegums ieviestās politikas rezultātā pierāda politikas efektivitāti, savukārt indikatora darbības rādītāju izmaiņu samazinājums vai pat neesamība norāda uz izmantotās politikas neefektivitāti.



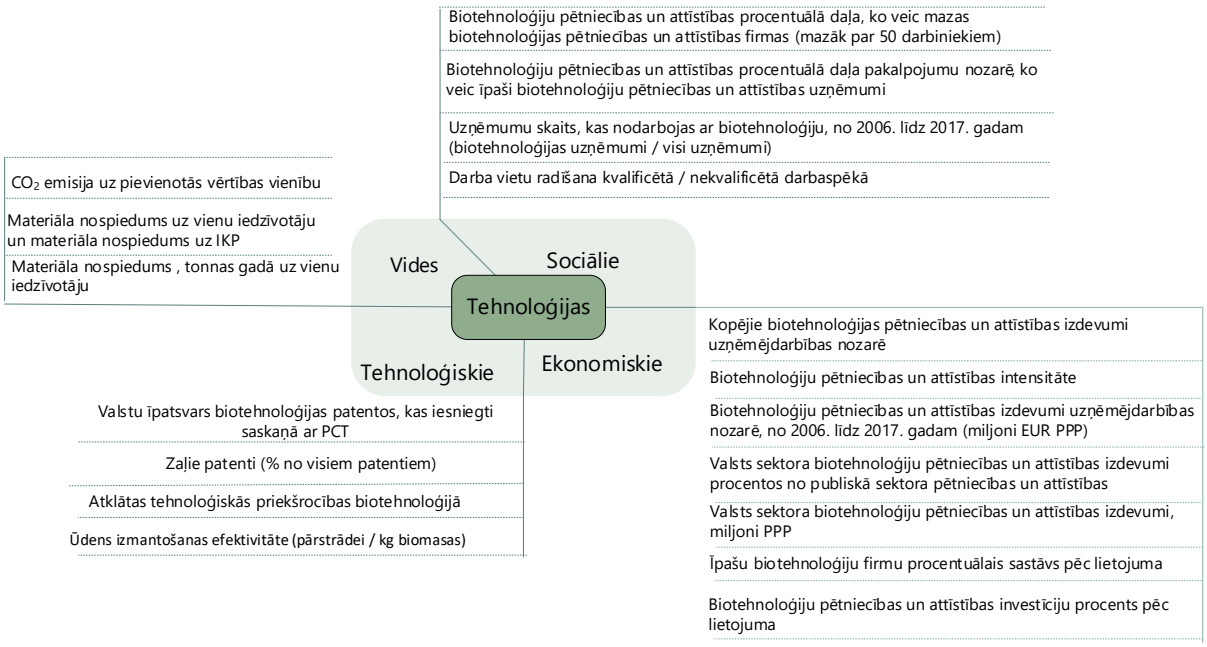
2.5. att. Indikatori, kas raksturo politikas faktoru bioekonomikas kontekstā.

Runājot par politikas instrumentu novērtējumu, jāņem vērā vēl viens aspekts – dažādas valstis var dot priekšroku dažādiem politikas pasākumiem. Tomēr politikas efektivitāte būtu jānovērtē, ņemot vērā izvēlēto rādītāju, nevis pamatojoties uz izmantoto instrumentu veidu [33], kā arī uz noteiktu politikas virzienu ilgmūžību [36].

Tehnoloģisko faktoru raksturojums

Tehnoloģijas ir viens no galvenajiem bioekonomikas pīlāriem. Tehnoloģijas mazina plaisu no inovācijām līdz ražošanai un no neizmantotas vai nepietiekami izmantotas biomasas līdz bioresursiem. Tehnoloģijas ietver ar vidi saistītas tehnoloģijas, kas ļauj mazināt klimata izmaiņas, biotehnoloģijas un esošos tehnoloģiju uzlabojumus, kas vai nu atrisina iespēju izmantot biomasu, ko citādi nevarētu savākt, vai arī palīdz uzlabot resursu izmantošanas efektivitāti.

Viens no lielākajiem tehnoloģiju faktora uzsvariem bioekonomikas kontekstā ir biotehnoloģijas. Apkopojot biotehnoloģiju definīciju sarakstu, *OECD* ir izveidojusi vienu statistisko biotehnoloģijas definīciju: "Zinātnes un tehnoloģijas lietošana dzīviem organismiem, kā arī to daļas, produktus un modeļus, lai mainītu dzīvus vai nedzīvus materiālus, lai iegūtu zināšanas, preces un pakalpojumus" [37]. Biotehnoloģijai ir svarīgs potenciāls ne tikai ekonomiskajā attīstībā, bet arī bioekonomikas attīstībā [38]. Biotehnoloģiju nevar attīstīt bez zināšanām, tāpēc pastāv cieša saikne ar izglītības un pētniecības iestādēm. Tehnoloģiju attīstības galvenais rezultāts ir patentu pieteikumi, lai panāktu tehnoloģiju komercializāciju, tāpēc ir jābūt korelācijai starp patentu ražošanas veicināšanu vietējā un starptautiskā līmenī [38].



2.6. att. Indikatori, kas raksturo tehnoloģiju faktoru bioekonomikas kontekstā [39], [40].

Tehnoloģiju rādītāji redzami 2.6. attēlā. Tie iegūti no *ESAO* statistikas kā galvenie tehnoloģiju (biotehnoloģijas) rādītāji. Aktīvo biotehnoloģiju firmu skaits Latvijā (ieskaitot medicīnas biotehnoloģiju, vides biotehnoloģiju, rūpniecisko biotehnoloģiju un lauksaimniecības biotehnoloģiju) atbilstoši datiem, kas ir pieejami *ESAO* datubāzē par diviem

gadiem (2016. un 2017. gadā), ir attiecīgi 9 un 12 [39]. Tas ir mazākais daudzums salīdzinājumā ar citām valstīm, par kurām ir iesniegti dati. Tomēr, lai redzētu faktisko situāciju, ir jāpiemēro normalizācija.

2.1.2. Trīs faktoru saiknes (*nexus*) līmeņatzīme: politikas, pētniecības un inovācijas un tehnoloģijas

Efektīva politikas sistēma ir obligāta, lai nodrošinātu jauninājumus un jaunu tehnoloģiju un ražošanas metožu attīstību. Avotos [12] un [19] teikts, ka ieguldījumiem pētniecībā un attīstībā ir izšķiroša nozīme inovatīvu tehnoloģiju attīstībā. Avotā [12] arī teikts, ka zināšanas par tehnoloģijām un iekārtām, kā arī biomasas loģistikas organizēšana ir nepieciešamas bioloģiski balstītu risinājumu izstrādei.

Maes and Van Passel [12] izskaidro politikas, jauninājumu, tehnoloģiju, ražošanas un bioresursu faktoru dinamiskās attiecības. Stimulācijas politika, kas stimulē pētniecību un attīstību, veicinātu uzlabotu tehnoloģiju ražošanas efektivitāti. Tas savukārt radītu šo tehnoloģiju uzstādīšanu esošajās un jaunajās ražotnēs. Secīgi pieaugtu biomasas izejvielu vajadzības. Resursu ierobežojumi faktiski ir viena no galvenajām bažām [12].

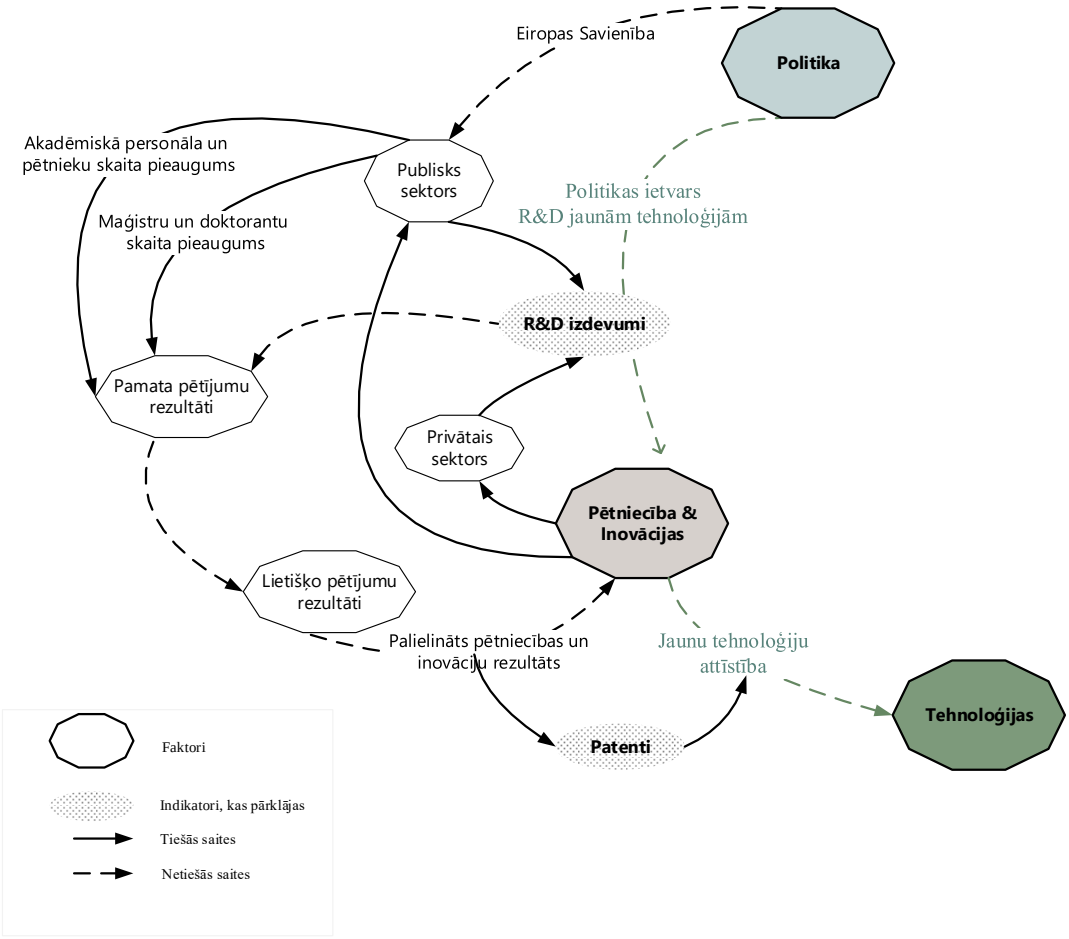
Viens indikators, kas aptver gan politikas, gan pētniecības un inovācijas faktorus, ir investīcijas pētniecībā un attīstībā. Valstis līdz 2030. gadam ir apņēmušās ievērojami palielināt valsts un privātos pētniecības un attīstības izdevumus un pētnieku skaitu kā daļu no ilgtspējīgas attīstības mērķiem [41]. Sīkāk *R&D* izdevumu dinamiskās cilpas, kā arī inovāciju izplatīšanas un tehnoloģiju pielāgošanas dinamika ir aprakstītas *M. Uriona Maldonado* (*et al.*) rakstā [42]. Vides politika ietekmē tehnoloģiskos jauninājumus. Tas var izpausties ar nodokļu pasākumiem vai kvotu saistībām, kas ietekmē patentu darbību [43]. Dati par patentiem palīdz izpētīt ekoinovācijas un ierosinājumus turpmākai politikai. Resursu (ievades) rādītāji ir pētniecības un attīstības izdevumi un personāls (attiecībā uz zināšanu iegūšanu), intensīvas izpētes un attīstības preces vai izdevumi par licencēm. Pētniecības un attīstības rezultātu izejas rādītāji ir patenti. Patentu datus biežāk izmanto kā izlaides rādītāju un galveno inovāciju rādītāju [43]. Politikas ietvarā jāmeklē optimāls risinājums inovāciju līmenim un virzienam. Tirgū balstīti instrumenti var ietekmēt ekonomikas tehnoloģisko trajektoriju. Subsīdijas vides pētniecības un attīstības atbalstam var izmantot kā subsīdijas vai nodokļu atlaides [44].

Saikne starp politiku un pētniecību un inovācijām notiek, izmantojot jauno tehnoloģiju politikas ietvarus, un to var izmērīt kā pētniecības un attīstības izdevumus (publiskais sektors (valdība) vēl vairāk savieno pētniecību un inovācijas ar tehnoloģiju, kā jaunu tehnoloģiju izstrāde, kuru var izmērīt ar patentu pieteikumiem) (2.7. att.). Padziļināti novērtējot saiknes (*nexus*), saprotams, ka ir arī citi papildu faktori, kas nodrošina šo saišu esamību, nekā parādīts 2.1. attēlā.

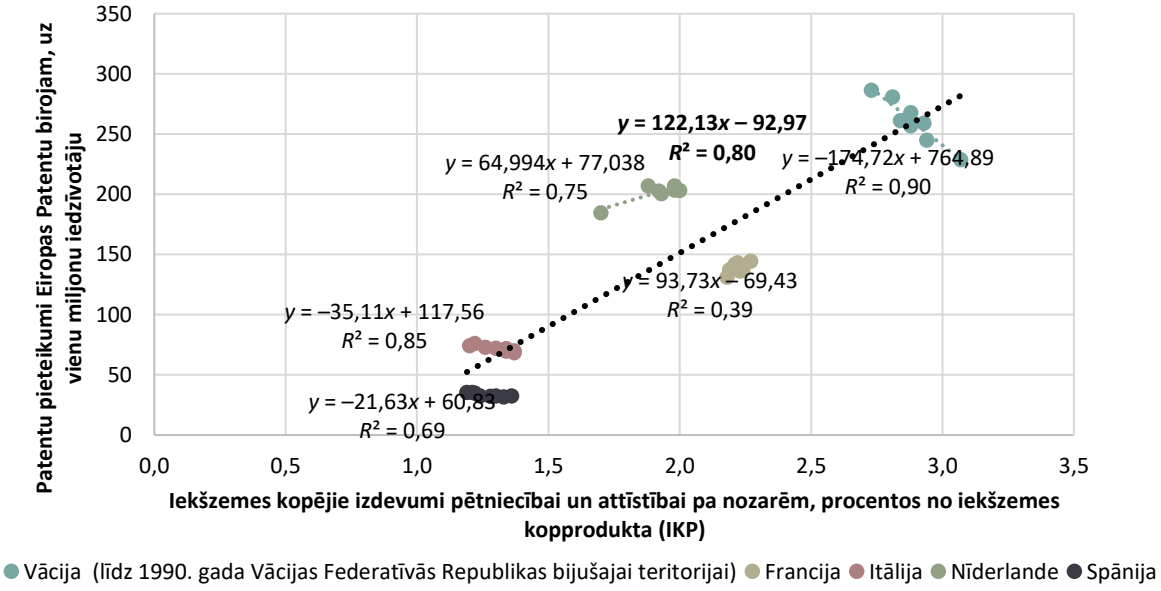
Šīs saiknes indikators sakrīt arilgtspējīgas attīstības 9. mērķi (*SDG9*) [45], tāpēc tiek uzskatīts par spēcīgu saikni virzībā uz bioekonomikas ilgtspējīgu attīstību.

Līmeņatzīmes analīze ir viena no efektīvām analīzes metodēm bioekonomikas rādītāju aprakstīšanai valsts līmenī. Šajā gadījumā tiek analizēts katras Eiropas Savienības valsts pašreizējais sniegums un salīdzināts ar vadošo ES valstu praksi, lai adaptētu vai uzlabotu esošo politiku, virzoties uz ilgtspējīgu bioekonomikas attīstību. Trīs faktoru savstarpējā saistībā divi rādītāji, kas izvēlēti viena iespējamā saiknes līmeņatzīmes novērtēšanai, ir pētniecības un

attīstības izdevumi (kas raksturo saikni starp politiku un pētniecību un attīstību) un patentu pieteikumu skaits (kas raksturo saikni starp pētniecību un attīstību un tehnoloģiju).



2.7. att. Trīs faktoru *nexus*: politika, pētniecība un inovācijas, un tehnoloģija.



2.8. att. Politikas, pētniecības, inovācijas un tehnoloģiju saites līmeņatzīme.

Trīs faktoru saiknes (*nexus*) līmeņatzīmei tiek atlasītas labākās valstis, kas pārsniedz vidējo rādītāju Eiropas Savienības 28 valstīs patentu pieteikumos Eiropas Patentu valdei (*SDG_9_40*; *Eurostat*), kas attiecināti uz iekšzemes kopējiem izdevumiem pētniecībai un attīstībai pa nozarēm (*SDG_09_10*; *Eurostat*). Šajās valstīs (Vācija, Francija, Itālija, Nīderlande un Spānija) datu korelācija ir laba gan valstu iekšienē, gan starpvalstu līmenī (2.8. att.), nodrošinot Eiropas Savienībai labākās prakses līmeņatzīmi un spēcīgu korelācija (R = 0,8).

Empīriskajā modelī (2.1. vienād.) sniegts politikas, pētniecības un inovācijas un tehnoloģiju saiknes līmeņatzīmes matemātiskais apraksts:

$$P = 122.13c - 92.97, \qquad (2.1.)$$

kur P – patenta rādītājs: pieteikumi Eiropas Patentu valdē uz miljonu iedzīvotāju; c – iekšējie bruto izdevumi pētniecībai un attīstībai pa nozarēm.

Izmantojot šo empīrisko modeli, katra valsts, pamatojoties uz līmeņatzīmi, var aprēķināt savu situāciju.

2.1.3. Bioekonomikas efektivitātes indekss

Datu ierobežojumi attiecībā uz bioekonomikas novērtējumu ir saistīti arī ar to, ka ar bioekonomiku saistītie pievienotās vērtības, apgrozījuma un nodarbinātības rādītāji ir pieejami tikai konkrētā datubāzē [46], ko izveidojis ES Kopīgais pētniecības centrs, bet nav oficiālas specifiskas bioekonomikas datubāzes nacionālajā un Eiropas statistikā. Tomēr jaunākie dati šajā datubāzē ir par 2015. gadu, tāpēc nav iespējas attīstīt bioekonomikas efektivitātes indeksu pēdējiem gadiem, par kuriem rādītāji ir pieejami no citām datubāzēm. Indeksam, kas redzams 2.9. attēlā, tika izmantotas vidējās rādītāju vērtības laikposmā no 2011. līdz 2015. gadam, jo tika noteikts, ka dažu rādītāju (īpaši biotehnoloģijas patentu) gada dati ir ļoti mainīgi.

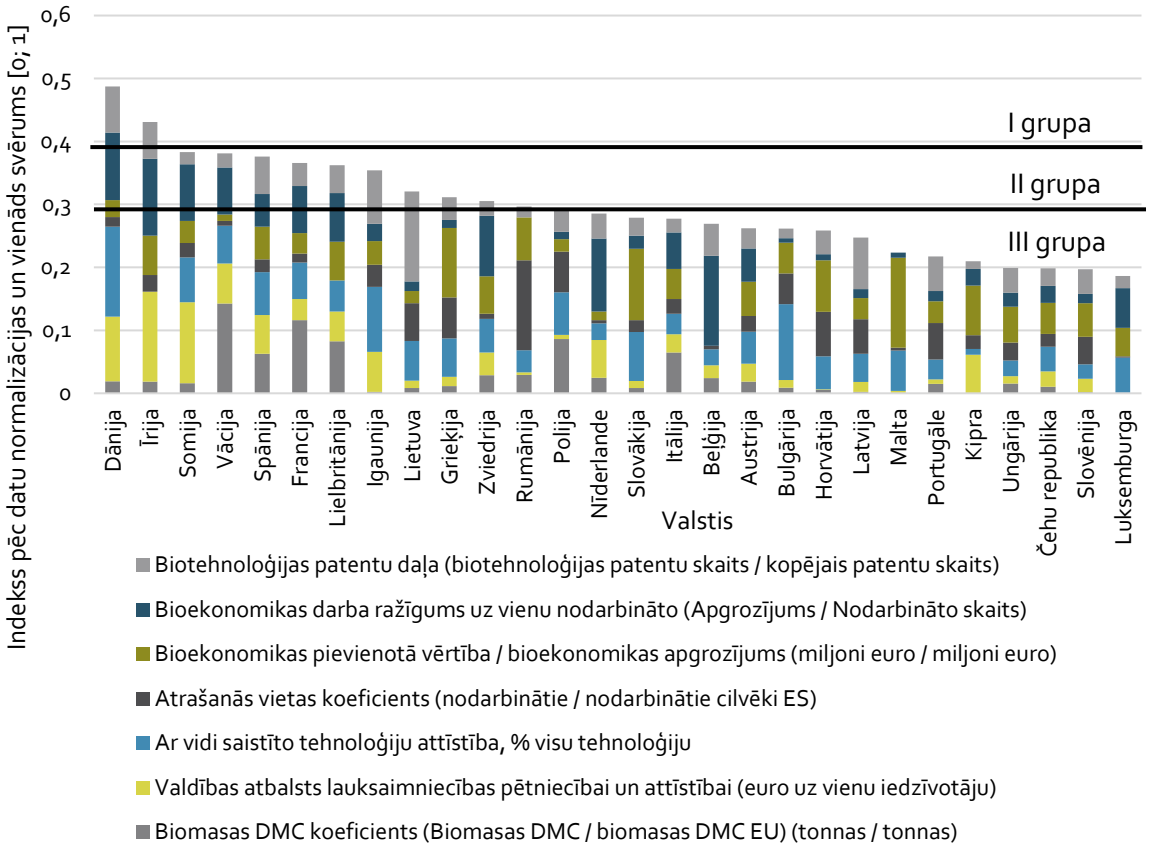
Rezultāti tika iegūti, izstrādājot *MS Excel* balstītu aprēķinu modeli. Visiem septiņiem rādītājiem piemēro vienādu svaru. Piedāvātā bioekonomikas efektivitātes indeksa rezultāti ES28 valstīm ir redzami 2.8. attēlā.

Aprēķinā izmantotas valstu vidējās vērtības laika posmā no 2011. līdz 2015. gadam (2.9. att.). Veidojot tabulu, izmantoti septiņi rādītāji un agroekonomikas modelēšanas portāla *DataM, OECD* un *Eurostat* dati.

No visām novērtētajām valstīm Dānijā, Īrijā un Somijā ir augstākais bioekonomikas efektivitātes indekss, savukārt Čehijas Republikā, Slovēnijā un Luksemburgā ir viszemākais indeksa vērtējums. Indeksa rādītāji starp augstākajiem (0,49) un zemākajām (0,19) valstīm atšķiras par 0,30. Analizējot šīs valstis, tiek izmantoti trīs līmeņi (grupas) bioekonomikas efektivitātes indeksam ar līmeņatzīmēm 0,29 un 0,39. Pirmajā grupā ir tikai Dānija un Īrija, otrajā grupā ir 11 valstis un trešajā – 15 valstis.

Indeksa attēlojums, kas redzams 2.9. attēlā, norāda, kuriem no rādītājiem ir lielāka vai mazāka ietekme uz katras valsts kopējo bioekonomikas efektivitātes novērtējumu. Piemēram, Dānijā un Īrijā lielu daļu no viņu novērtējuma iegūst no trim augstākajām pozīcijām – patentu īpatsvara, bioekonomikas darba produktivitātes un valdības ieguldījumiem pētniecībā un attīstībā lauksaimniecības nozarē. Dānijā vēl viena spēcīga pozīcija ir vides tehnoloģiju attīstība. Valdības atbalsta daļa pētniecībā un attīstībā lauksaimniecības nozarē ir visaugstākā

tikai trijās lielākajās valstīs. Bioekonomikas darba produktivitātes rādītāju vislielākā ietekme uz kopējo punktu skaitu ir Beļģijai, tai seko Īrija un Nīderlande. Tas varētu būt saistīts ar faktu, ka katra valsts ir izvēlējusies savu īpašo ceļu bioekonomikas attīstībā. Tas nenozīmē, ka kādas valsts stratēģija ir nepareiza. Bioekonomikas efektivitātes indekss ļauj lēmumu pieņēmējiem noteikt katras valsts visietekmīgākos rādītājus, lai koncentrētos uz valstu snieguma stiprināšanu, un tas varētu palīdzēt bioekonomikas stratēģijas izstrādē.



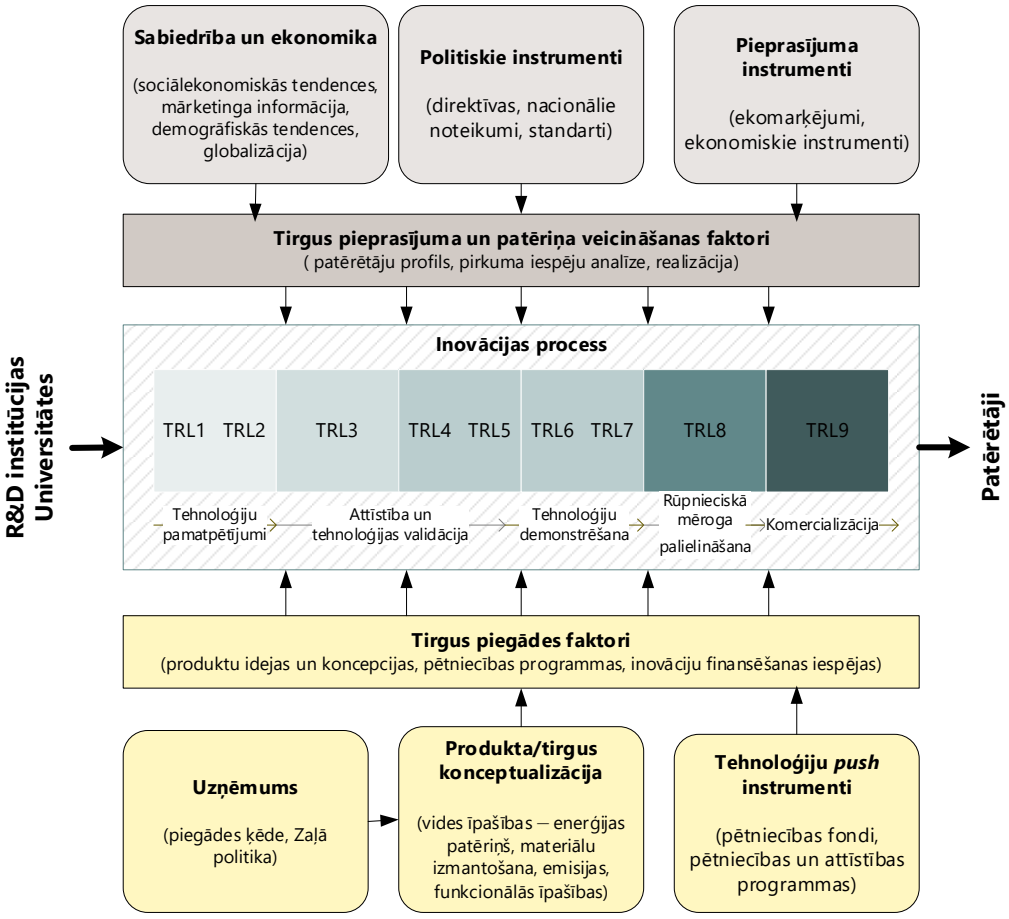
2.9. att. ES bioekonomikas efektivitātes indekss (2011–2015).

2.2. Mezolīmenis: inovāciju pārnese, tirgus un ekonomiskā analīze

Lielākā komercializācijas plaisa ir zināšanu atšķirība starp zinātniekiem un rūpniecību, izaicinājums ir saistīt tirgus vajadzības ar jauniem pētījumiem un rūpniecību (2.10. att.). Enerģijas un produktu patēriņš palielinās pieaugošā iedzīvotāju skaita un labklājības līmeņa dēļ, un tā rezultātā resursi netiek izmantoti ilgtspējīgi, palielinās fosilo resursu izmantošana produktu ražošanā, un tam ir negatīva ietekme uz klimatu un vidi. Izolācijas iepakojuma nozare ir energoietilpīgs ražošanas process, kas galvenokārt ir atkarīgs no fosiliem resursiem, kas dabā nesadalās, radot papildu slodzi videi. Enerģijas patēriņu un ietekmi uz vidi var mazināt, ieviešot uz biobāzes izgatavotus produktus ar jauniem tehnoloģiskiem risinājumiem. Jaunu bioproduktu un tehnoloģiju, kas ienāk tirgū, galvenā problēma nav efektīva komercializācijas stratēģija un augstās produktu izmaksas, kas nespēj konkurēt ar fosiliem produktiem.



2.10. att. Zināšanu virzītāju trīskāršie vijumi bioekonomikā, izmantojot tehnoloģiju pārnesi.



2.11. att. Analītiskais ietvars potenciālo inovāciju novērtēšanai komercializācijā.

Analītiskā sistēma potenciālo inovāciju [47] novērtēšanai komercializācijā ir modificēta, galveno uzsvaru liekot uz priekšizpētes novērtējumu agrīnās attīstības stadijās, lai gan tas ir nepieciešams visos tehnoloģiskās gatavības līmeņu (*TRL*) posmos. Kā redzams 2.11. attēlā, agrīnā attīstības stadijā – no *TRL*3 līdz *TRL*5 – jāveic pirmā ekoinovāciju priekšizpēte. Pamattehnoloģijas posmā (*TRL*1, *TRL*2) var veikt tirgus analīzi, taču šajā posmā nebūs pieejami pietiekami dati ekonomiskai analīzei.

2.2.1. Bioekonomikas investīcijas: tirgus apsvērumi

Bioekonomikas ieviešana mežsaimniecības nozarē ir ļāvusi meklēt jaunus bioproduktus ar augstu pievienoto vērtību, ko var ražot, izmantojot koksnes biomasas atlikumus koksnes ieguves laikā. Jebkurai jaunu bioproduktu ieviešanai jābūt pamatotai no ekonomiskā, sociālekonomiskā un tehnoloģiskā viedokļa. Veiksmīgai komercializēšanai viens no svarīgākajiem apsvērumiem ir šādu produktu tirgus potenciāls.

Gadījuma izpēte trīs produktiem: liocelam, bioeļļai un ksilitolam

Gadījuma izpēte ir izstrādāta trim esošajiem produktiem – liocelam (tekstilizstrādājumiem no koka), bioeļļai un ksilitolam (saldinātājam). Pēc rezultātu iegūšanas ir jānosaka produkta spēja ienākt tirgū kā primāram produktam vai kā biorafinēšanas rūpnīcas pievienotajai vērtībai vai vispār neienākt tirgū.

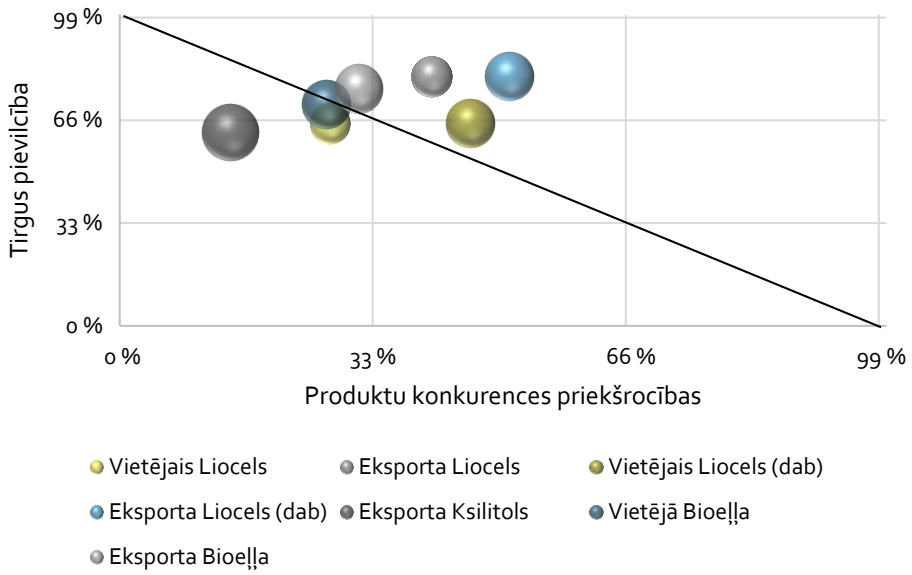
Lielākajā daļā situāciju ir novērtēti vismaz trīs konkurenti. Savukārt bioeļļas gadījumā ir tikai viens vai divi, kā redzams 2.1. tabulā, jo novērtēšana balstās uz tiešu bioeļļas izmantošanu, izslēdzot tādu produktu izmantošanu, ko var turpmāk iegūt no bioeļļas. Konkurenti tiek izvēlēti, pamatojoties uz produktu nevis resursiem. Sorbīts un maltitols ir izvēlēti par konkurentiem ksilītam, abi ir zemas intensitātes saldinātāji, līdzīgi kā ksilitols.

2.1. tabula

Kopējie svērtie punkti par konkurences priekšrocībām

	Kopējais svērtais rezultāts	
	Vietējais tirgus	Eksporta tirgus
Liocels (visa tekstila segments)	3,95	4,15
1. kokvilna	2,65	2,85
2. sintētika (PP)	3,10	2,95
3. vilna	2,45	2,75
Liocels (dabīgais segments)	4,30	4,3
1. kokvilna	2,55	2,70
2. lins	2,85	2,85
3. vilna	2,95	2,75
Bioeļļa	4,00	4,20
1. dabasgāze	3,15	3,20
2. mazuts	–	1,30
Ksilitols	–	4,35
1. sorbitols	–	3,80
2. maltitols	–	3,25

2.1. tabulā parādīts kopējais svērtais punktu skaits produktiem un to konkurentiem. Visu veidu tekstilizstrādājumu segmentā spēcīgākais konkurents ir sintētiskās šķiedras gan vietējā, gan eksporta tirgū. Dabiskajā segmentā (segmentā, kurā ietilpst tikai dabiskās šķiedras) vilna ir spēcīgākais konkurents vietējā tirgū, lins – spēcīgākais eksporta tirgū. Spēcīgākais konkurents bioeļļai ir dabasgāze. Ksilitolam tas ir sorbīts.

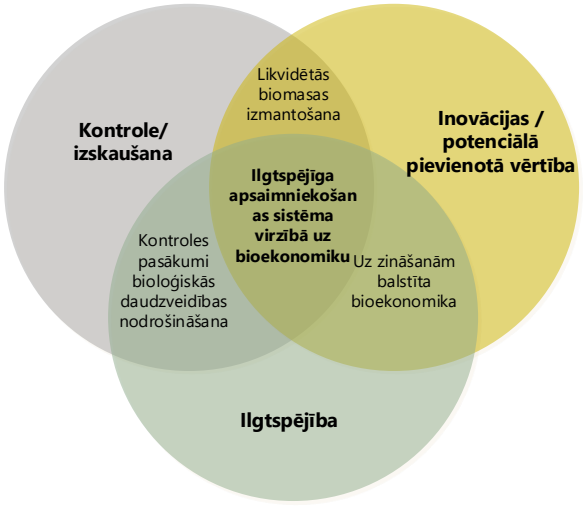


2.12. att. *GE–McKinsey* matricas rezultāti.

Liocela rezultāti (2.12. att.) ir šādi: liocela vietējā tirgus pievilcība ir 65 %; tā konkurences priekšrocība – 27 %; tā eksporta tirgus pievilcība – 80 % un konkurences priekšrocība 41%. Liocels uzrāda labākus rezultātus nekā konkurence dabiskajā segmentā – liocela vietējā tirgus pievilcība dabiskajā segmentā ir 65 % un konkurences priekšrocība – 46 %; liocela dabiskā segmenta eksporta tirgus pievilcība ir 80 %, konkurences priekšrocība – 51 %. Rezultāti bioeļļai rāda, ka tās konkurences priekšrocības ir zemas: 27 % vietējam tirgum un 31 % starptautiskajam tirgum. Vietējā tirgū tā pievilcība sasniedz 71 %, starptautiskajā tirgū – 76 %. Runājot par ksilītu, tiek uzskatīts, ka tā spēcīgākais konkurents ir sorbīts. Relatīvās konkurences priekšrocības starptautiskajos tirgos ir tikai 14 %; savukārt starp zemas intensitātes saldinātājiem tā pievilcība tirgū ir 62 %.

2.3. Mikrolīmenis: jauns redzējums par invazīvo svešzemju augu apsaimniekošanas sistēmu

Zinātniskā literatūra jau norāda uz šīs problēmas zinātnisko potenciālu, jo zinātniski pamatotu metožu lietošana ļauj ne tikai atrast inovatīvus un videi draudzīgus tehnoloģiskos risinājumus invazīvo augu izmantošanai ražošanā, bet arī noteikt komercializācijas un valorizācijas potenciālu, ietekmi uz vidi un klimatu visā produkta dzīves ciklā, resursu pieejamību un alternatīvo resursu izmantošanas iespējas, kas ir ļoti svarīgi invazīvo augu gadījumā. Tāpēc kā pirmo soli pētījumos par invazīvās svešzemju augu biomasas vērtības palielināšanu tiek izmantota *MCDA*, lai klasificētu un noteiktu prioritātes dažādām invazīvo augu sugām (IAS), lai tālāk izvēlētos tās sugas, kurām jāveic padziļināts valorizācijas novērtējums. Galvenās bažas par IAS izmantošanu kā potenciālu biomasas avotu ir audzēšanas risks. Būtu jāizveido politiski instrumenti, lai izslēgtu šo risku, tāpēc viens no ļoti svarīgiem aspektiem produktu ražošanā ir atrast neinvazīvu augu aizstājēju biomasu, lai nodrošinātu ilgtspējīgu ražošanu.



2.13. att. Invazīvo svešzemju augu (*IAP*) vadības sistēmas galvenie stūrakmeņi.

IAS apsaimniekošanas sistēmas galvenie stūrakmeņi ir redzami 2.13. attēlā. Invazīvo augu izmantošana produktu ražošanā paver iespējas ne tikai bioekonomikas attīstībai un ar to saistīto labumu iegūšanai, bet arī rada jaunu bioresursu krājumu, nekonkurējot ar lauksaimniecības kultūrām, kas paredzētas pārtikas ražošanai. Tajā pašā laikā produkta ražošanai vajadzētu būt mērķim atrast risinājumus, ko vēlāk var izmantot citu bioresursu izmantošanai, tādējādi samazinot invazīvo augu apzinātas audzēšanas risku.

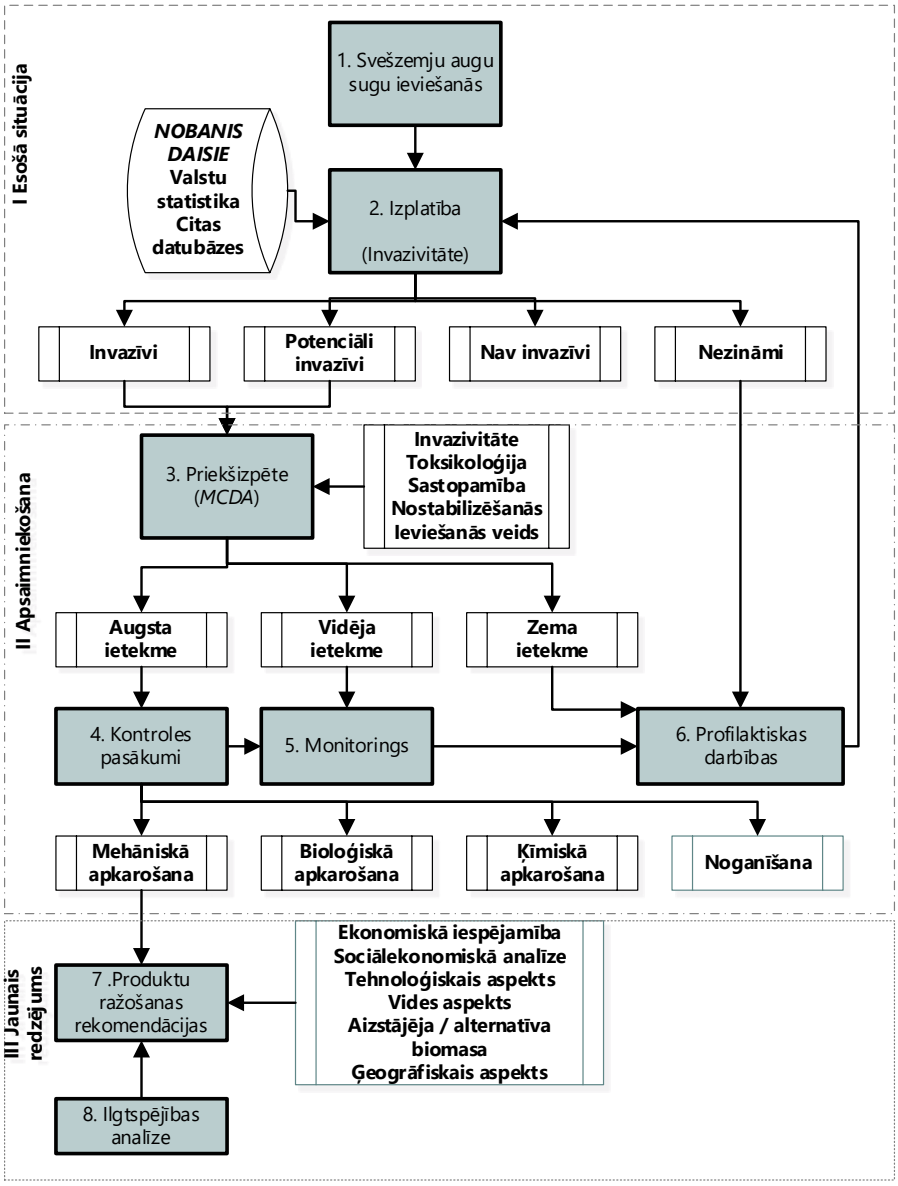
Piedāvātā metodika (2.14. att.) balstīta uz esošo apsaimniekošanas plānu ar jaunu redzējumu, kurā invazīvās augu sugas pēc mehāniskās kontroles rada potenciālu biomasu produktu ražošanai, tomēr ir jābūt skaidram biomasas pieejamības novērtējumam, kam būtu ekonomiskā dzīvotspēja, kā arī jānovērtē ilgtspējība un iespējamā aizstāšana ar citu neinvazīvu augu biomasu.

I Pašreizējā situācija ir labi izpētīta starptautiskā un nacionālā līmenī, ir izveidotas vairākas datubāzes, ko var izmantot datu atlasē: *DAISIE* (*Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe*) [187], *NOBANIS* (*The European Network on Invasive Alien Species*) [188], *GISD* (*Global invasive species database*) [189], *CABI* [190], *MedPAN* (*Network of Marine Protected Areas in the Mediterranean*) [191] un *SEBI-2010* [192]. Tos var atrast *EASIN* sugu kartētājā [94], kas piedāvā Eiropai datus par vidi, ietekmi, sugu stāvokli, taksonomiju un ceļiem. Balstoties uz pašreizējo situāciju, viens no vissvarīgākajiem rādītājiem ir invazivitāte. Ne visas svešzemju sugas ir invazīvas, tāpēc agrīnai atklāšanai un izskaušanai jāizvēlas invazīvās un potenciāli invazīvās sugas.

II Apsaimniekošana sistēma *IAS* vadībai dažādās valstīs ir atšķirīga. Katrā valstī, kā arī Eiropas līmenī ir izstrādāti nacionālie vadības plāni. Varētu būt iespējama daudzkritēriju lēmumu analīze (*MCDA*), lai izveidotu kopēju sistēmu invazīvu sugu izvēlei valsts līmenī. Ir veikti vairāki indikatoru pētījumi, kas būtu jāizvēlas, taču kopēja sistēma būtu būtisks un iespējams veids, ko izmantot katrai valstij kā iepriekšēju novērtējumu, kur turpmākai analīzei var izvēlēties prioritārās sugas. Šāda kritēriju izvēle joprojām tiek izstrādāta Latvijā. Jau ir ieviesti kontroles pasākumi, uzraudzība un novēršanas darbības.

Lai par prioritārām atzītu invazīvās svešzemju augu sugas, kas sastopamas Latvijā, atbilstoši to valorizācijas aspektam, tika izmantota *MCDA* metode (*TOPSIS*). Šajā gadījumā

ideālais risinājums ir tās sugas, kurām ir augstāka prioritāte turpmākai novērtēšanai: ietekmes uz ekosistēmas pakalpojumiem novērtēšanai uz bioloģisko daudzveidību; sociālās un ekonomiskās ietekmes novērtēšanai (augsta, vidēji zema vai zema). Alternatīvas ir 157 invazīvas vai potenciāli invazīvas svešzemju augu sugas, kas atklātas valstī (Latvijā).



2.14. att. Jauns redzējums par invazīvo svešzemju augu apsaimniekošanas sistēmu.

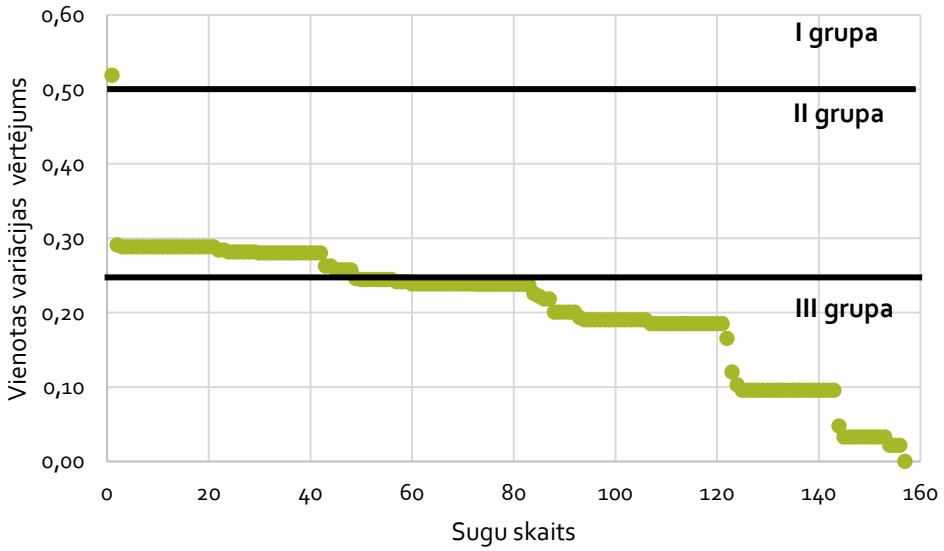
III Jauns redzējums. Jaunais redzējums dod ieguldījumu ekonomiskajā un sociālajā līmenī, novērtējums jau aprakstīts iepriekšējos pētījumos [89], [194]–[196]. *IAP* kā biomasai, kas paredzēta ražošanai, jāizsniedz likumīgai atļauja, lai nodrošinātu, ka produkcija tiek virzīta uz invazīvo augu sugu apkarošanu, un tā varētu būt blakusprodukcija no citas biomasas ar tādu pašu kvalitāti. Bioekonomikas ziņā vajadzētu būt augstākam pievienotās vērtības produktam, taču ir nepieciešams novērtējums. Tā varētu būt daudzkritēriju lēmumu analīze, kā aprakstīts iepriekšējos pētījumos. IAS kā potenciāls biomasas avots varētu pāriet no mehāniskās apkarošanas, jo tas nodrošina IAS kā (atlikuma) resursu.

Pētījuma rezultāti tiek prezentēti, veicot Latvijas gadījuma izpēti. Vispirms tiek raksturota pašreizējā situācija Latvijā attiecībā uz invazīvām augu sugām, sākot no reģistrētām svešzemju augu sugām līdz to invazivitātei, izplatībai un stabilizācijai. Latvijā no 636 svešzemju augu sugām 210 nav invazīvas, par 269 sugām trūkst informācijas par to invazīvo raksturu, tomēr vairums no tām izplatās reti, tāpēc nopietnām bažām nevajadzētu būt. Invazīvās un potenciāli invazīvās sugas būtu vairāk jāpēta, jo vairums no tām jau ir ieviesušās. Izvēlētie kritēriji tiek izmantoti, analizējot gan invazīvās, gan potenciāli invazīvās sugas.

Novērtējums *MCDA*

Pēc svešzemju sugu un to invazivitātes sākotnējās analīzes tika veikta *MCDA* invazīvām un potenciāli invazīvām sugām, kopā tika analizētas 157 sugas. *MCDA* analīzes mērķis ir noteikt prioritātes invazīvajām svešzemju augu sugām, kas sastopamas Latvijā, atbilstoši to valorizācijas aspektam.

MCDA TOPSIS rezultāti (2.15. att.) parāda līdzību dažos rezultātos, kas nozīmē, ka var būt apvienotas grupas sugām, kurām ir vienādi variācijas koeficienti.



2.15. att. *MCDA TOPSIS* vienotās variācijas koeficienti analizētajā *IAP*.

Rezultāti ir iedalīti trīs līmeņos, pēc kuriem varētu noteikt prioritāšu izvēli turpmākiem pētījumiem. Pirmajā līmenī, kam ir visaugstākais vērtējums, ir *IAP* sugas *Heracleum Sosnowskyi M.*, šajā gadījumā visnozīmīgākais kritērijs ir toksikoloģija, jo šīs sugas sulas apdraud cilvēku veselību. II grupā ir 48 sugas, kurām novērtējuma vērtējums ir augstāks par 0,25, un ko varētu analizēt, lai veiktu potenciālo monitoringu un riska novērtējumu par ietekmi uz bioloģisko daudzveidību un valorizācijas iespējām. Lai arī lielākā daļa analizēto sugu ietilpst III grupā ar viszemāko prioritāti, tomēr dažu III grupas sugu rādītājs ir ļoti tuvu līmeņatzīmei. Tāpēc varētu ieteikt sīkāk izpētīt apmēram vēl 80 sugu, kurām ir augstāki rādītāji, jo īpaši tāpēc, ka dažām sugām, kurām ir rezultāts 0,244, vērtēšanas rangs bija augsts, jo tās ir nostabilizējušās (3 punkti), invazīvas (2 punkti) un ļoti bieži izplatīts (4 punkti) un apzināts un neapzināts ieceļošanas veids (vērtējums 1,5), šādas sugas ir, piemēram, *Bellis perennis*. No otras puses,

sugām, kuru rezultāts ir 0,281, vērtējums bija nedaudz zemāks, jo tās ir izveidotas (3 punkti), invazīvas (2 punkti), bieži izplatītas (3 punkti), kā arī tām ir apzināts un neapzināts ienākšanas veids (vērtējums 1,5), piemēram, *Solidago Canadensis*.

Piemēroti bioresursu aizstājēji

Viens no aspektiem, kas jāņem vērā, ir piemērots bioresursu aizstājējs, lai nodrošinātu produkta ražošanu, novēršot invazīvo svešzemju audzēšanas risku. Invazīvie svešzemju augi lielākoties ir salīdzināmi ar lignocelulozes atlikumiem, un pēc to sastāva tiek izvēlēti atbilstošie produkti, ko iespējams iegūt. Izstrādājumu izvēles pamatā ir biorafinēšanas platformas (2.16. A att.).

Biorefinērijas platformas	Celuloze
	Eļļas
	Lignīns
	C6 cukuri
	C5&C6 cukuri
	Ūdeņradis
	Proteīni
	Pulpa
	Šķiedra
	Biogāze
	Elektrība
	Pirolītiski šķidrumi

A

Lignocelulozes biomasas pielietojums	Dzīvnieku barība
	Enzīmi
	Biodegvielas
	Celuloze&papīrs
	Šķiedra
	Ķīmija
	Kompozītmateriāli

B

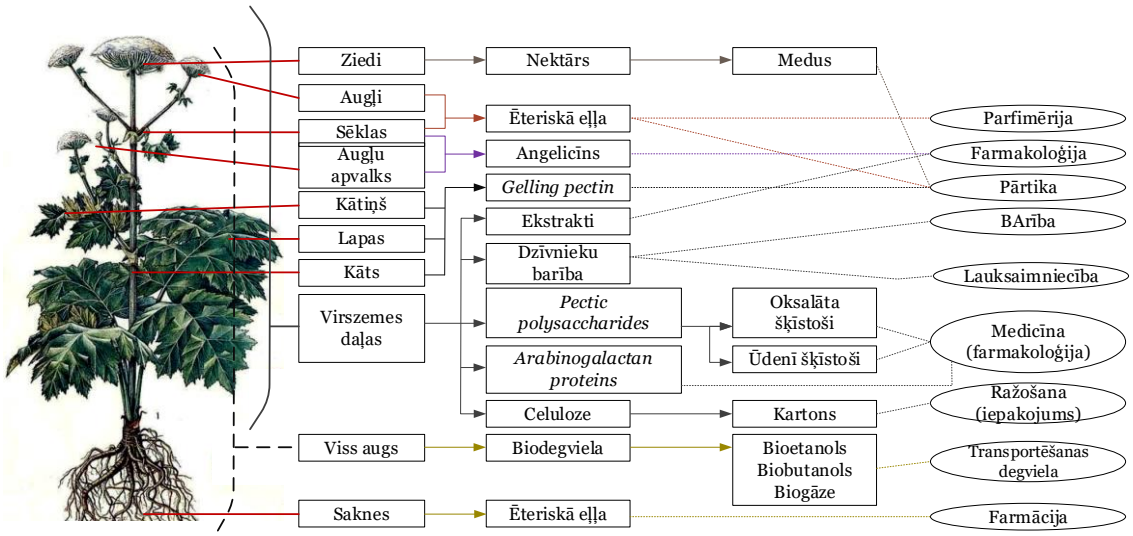
2.16. att. A) Biorafinēšanas platformas; B) lignocelulozes biomasas (šajā gadījumā – lauksaimniecības atlikumu) izmantošana.

Galaprodukta ražošanas pamatā ir lignocelulozes biomasas lietojums (2.16. B att.), tāpēc piemērots bioresursa aizstājējs, kam nav nepieciešama kultivēšana, būtu lignocelulozes biomasa kā lauksaimniecības atlikumi, piemēram, salmi, kāti, vālītes, kātiņi, izspaidas utt. Lignocelulozes materiāli ir viens no visbagātākajiem un dabiski pieejamākajiem bioresursiem [203], nepārtrauktie pētījumi rāda nepieciešamību rast labāko risinājumu produktu ražošanai, pamatojoties uz lauksaimniecības atlikumiem [204]–[206], kas pierāda, ka pieejamais biomasas aizstājējs ir brīvi pieejams un drošs, un tas varētu pārliecināt ieinteresētās puses par tehnoloģijas ilgtermiņa rentabilitāti.

MCDA TOPSIS analīze kā iepriekšējs novērtējums jāpārbauda, izmantojot vairāk nekā vienas valsts statistiku, lai pierādītu tā efektivitāti. *MCDA* rezultātus var izmantot kā iepriekšēju novērtējumu valsts līmenī, lai monitoringam noteiktu prioritārās sugas. Rezultāti rāda, ka jaunais sistēmas redzējums apstiprina esošo sistēmu (tā suga, kurai ir visaugstākais vērtējums, jau ir regulēta) un rada papildu pasākumus, kas varētu uzlabot ieguvumus sociālajā, ekonomiskajā un vides jomā un dot ieguldījumu politikas veidotājiem, zemes īpašniekiem, kuriem ir ar IAS invadētās platības un pašvaldībām.

Invazīvās sugas vērtība

Bioekonomikas ieviešana noved pie jaunu bioloģiskās lauksaimniecības produktu ar augstu pievienoto vērtību meklēšanu, kurus var iegūt no vietējiem dabas resursiem un kuri vēl nav izmantoti vai tiek izmantoti ar zemu pievienoto vērtību. Viena no tām ir invazīvās augu sugas. Tendence ir ierobežot vai likvidēt invazīvās sugas no apkārtējās vides, tāpēc tās var apzīmēt kā atlikumus. Viens no bioekonomikas principiem ir atlikumu pārvēršana vērtīgos produktos vai enerģijā. Eiropas Savienības galvenais mērķis ir izmantot bioresursus augstas vērtības produktu ražošanai [13].



2.17. att. Produktu klasifikācija atbilstoši izmantojamā resursa daļām.

Produktu ražošanai var izmantot visas *H. sosnowskyi* auga daļas. Kā redzams 24. attēlā, no ziediem ir iespējams iegūt medu, ko var izmantot pārtikas rūpniecībā [238]. No augļiem un sēklām ir iespējams iegūt ēteriskās eļļas, ko var izmantot parfimērijā, pārtikā un farmācijā [239], [240]. No sēklām un augļu čaumalām ir iespējams iegūt furanokumarīnu – organisku ķīmisku savienojumu, kas iegūts no augiem, angelicīnu, ko var izmantot farmācijā [241]. Pektīnu no stumbra, lapām un kātiem var izmantot pārtikā kā biezinātāju, piemēram, kā želatīnu [90]. No auga virsmas var iegūt dažādus ekstraktus, kuriem kopumā *Heracleum L.* ģints ir raksturīgas pretmikrobu, pretdrudža, imunitāti stimulējošas, pretsāpju un vazodilatatoru īpašības, un tos var izmantot fermentu un psoriāzes ārstēšanai [242]. Skābbarību var pagatavot lopbarībai no zaļās masas vai zaļo zāli izmantot svaigu ganīšanai liellopiem vai aitām [243]. No latvāņiem ir iespējams iegūt bioinokulantu, ko var izmantot lauksaimniecībā kā augšanas stimulatoru un bioloģisko kontroles līdzekli, piemēram, pret tomātu stublāju un sakņu puvi [244]. Ir pieejami pētījumi par polisaharīdu ražošanu no latvāņu pektīniem [242], [245] un arabinogalaktāna proteīniem [246], ko var izmantot pārtikas un farmācijas rūpniecībā. Latvāņus var izmantot celulozes, kā arī kartona ražošanai [247]. Biodegvielu var iegūt arī no visa auga. Ir pieejami pētījumi par bioetanola, biobutanola [248], [249] un biogāzes ražošanu [250]. Farmaceitiskās ēteriskās eļļas var iegūt no saknēm un augļiem [251].

2.3.1. Eksperimentālās analīzes rezultāti: cietās biodegvielas potenciāls

Novērtēšana veikta, eksperimentāli nosakot divu invazīvo augu sugu biodegvielas parametrus. Jauno lietojumu meklēšanai IAS izmantošanai kā cietām biodegvielas granulām ir priekšrocība, jo nebūtu nepieciešamas papildu investīcijas jaunas ražotnes celtniecībai. Kā saistvielas tika izvēlētas divas vietējo resursu maz izmantotas, bet literatūrā apskatītas saistvielas – kartupeļu mizas un kafijas biezumi.

Parauga sagatavošana

Izejvielas ir ievāktas Rīgā. *H. sosnowskyi* ir ievākts oktobra beigās (2017), *S. canadensis* – augusta beigās (2017). Augu materiālus sākotnēji iepriekš žāvē laboratorijā apkārtējās vides apstākļos, pēc tam 18 stundas 105 °C temperatūrā žāvē žāvētājā. Pēc tam paraugus dzirnaviņās (*Vibrotehnik PM120*) samaļ daļiņās, kuru diametrs ir mazāks par 1 mm. Lai pārliecinātos, ka daļiņu izmērs ir mazāks par 1 mm, dzirnavās ir siets ar 1 mm lielu apertūras izmēru.

Saistvielas nedēļu tika žāvētas istabas temperatūrā. Izlietotās kafijas biezumu izmērs jau bija <1 mm. To pārbaudīja, izmantojot sietu *Retsch AS 400* ar 1 mm sieta izmēru. Tomēr kartupeļu mizas atkritumi tika samalti dzirnavās.

Pirmie astoņi paraugi tika sagatavoti šādi: tīrs *S. canadensis* (*Sc*), tīrs *H. sosnowskyi* (*Hs*), tikai kafijas biezumi (*CG*), tikai kartupeļu mizas (*PPW*) un *Sc* ar 6 masas % *CG*, *Sc* ar 6 masas % *PPW*, *Hs* ar 6 masas % *CG* un *Hs* ar 6 masas % *PPW*.

Visi paraugi tika sagatavoti saskaņā ar *ISO* (Starptautiskās standartizācijas organizācijas) standartu *ISO 14780*. Biodegvielas paraugs tika nospiests granulu presē, lai iegūtu kompaktu un blīvu testa paraugu, kas sver 1,0 g ± 0,2 g.

Galvenās biodegvielas īpašības tika pārbaudītas saskaņā ar biodegvielas testēšanas *ISO* standartiem: pelnu saturu, mitruma saturu un siltumspēju.

Pēc paraugu atlases turpmākai analīzei tika izgatavoti jauni paraugi, izvēloties perspektīvāko materiālu, kas pirmajā kārtā uzrādīja labākos rezultātus (augstāka siltumietilpība vienai no sugām un saistviela, kas palielina parauga siltumietilpību), kas attiecīgi saturēja 10 masas %, 30 masas % vai 50 masas % saistvielu.

Rezultāti

Analīzes laikā ir noteikti mitruma satura (masas %), pelnu satura (masas %) un siltumspējas (MJ/kg) rezultāti. Lai iegūtu ticamus siltumspējas rezultātus, katram paraugam ir jānosaka un jāaprēķina ķīmiskais sastāvs. Visus rezultātus koriģē ar oglekļa (C), ūdeņraža (H), slāpekļa (N) un sēra (S) ķīmiskā sastāva vērtībām.

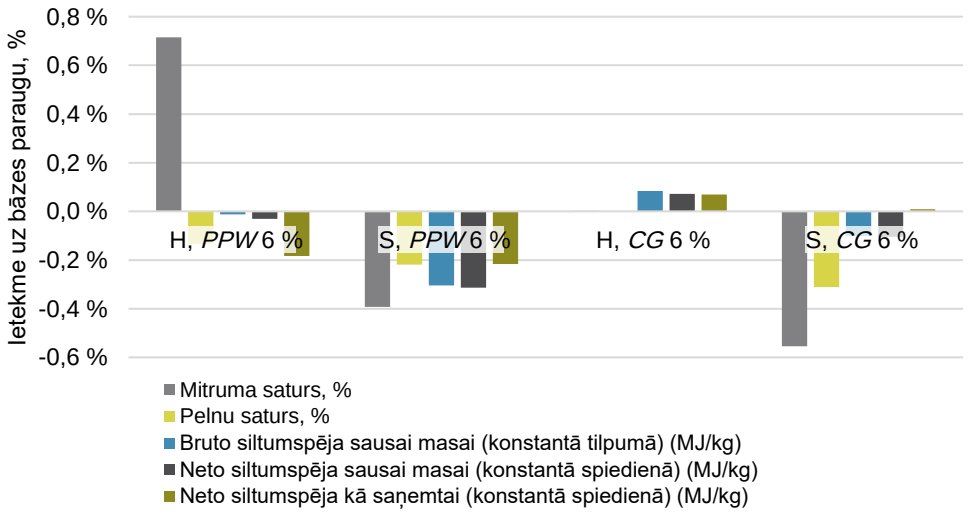
2.2. tabula

Paraugu ķīmiskais sastāvs

	CG	*PPW*	S	H	S, *PPW* 6 masas%	S, *CG* 6 masas %	H, *PPW* 6 masas %	H, *CG* 6 masas %
	52,95	43,90	44,80	46,52	44,75	45,29	46,36	46,91
H	6,76	7,20	6,46	5,79	6,50	6,48	5,87	5,84
N	2,10	0,80	0,37	0,59	0,40	0,47	0,60	0,68
S	0,12	0,10	0,20	0,00	0,19	0,19	0,01	0,01

kur: *Sc*, *PPW* 6 masas % – *S. canadensis* (94 masas %) kopā ar 6 masas % kartupeļu mizām; *Sc*, *CG* 6 masas % – *S. canadensis* (94 masas %) kopā ar 6 masas % kafijas biezumiem; *Hs*, *PPW* 6 masas % – *H. sosnowskyi* (94 masas %) kopā ar 6 masas % kartupeļu mizām; *Hs*, *CG* 6 masas % – *H. sosnowskyi* (94 masas %) kopā ar 6 masas % kafijas biezumiem.

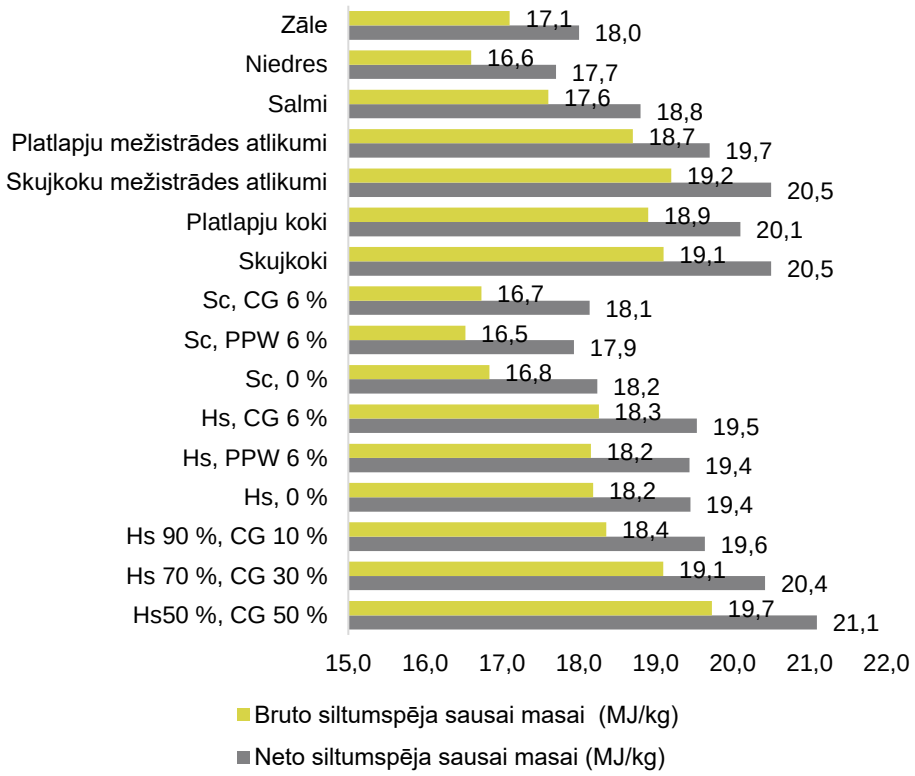
Tīru materiālu – kafijas biezumu (*CG*) [261], kartupeļu mizas atkritumu (*PPW*) [262] un *S. canadensis* (*Sc*) [232] – ķīmiskais sastāvs (C, H, N, S) ir ņemts no literatūras, *H. sosnovskyi* (*Hs*) – no eksperimentālās analīzes ar hromatogrāfu, jauktie paraugi tika aprēķināti atbilstoši sajauktajām proporcijām (2.2. tabula). Paraugi, kas tika pārbaudīti pēc piemērota materiāla un saistvielas izvēles: *H. sosnovskis* un attiecīgi izlietotās kafijas biezumi. Proporcijas ir šādas: *Hs* 90 masas % : *CG* 10 masas %, *Hs* 70 masas % : *CG* 30 masas % un *Hs* 50 masas % : *CG* 50 masas % un attiecīgi aprēķināts sastāvs. Saskaņā ar *EN plus* granulu kvalitātes prasībām koksnes granulu kvalitātes klasēm cietā biodegvielas kvalitātei N un S daudzums ir ļoti svarīgs. Augstākais pieļaujamais N daudzums ir 1,0 masas %, S – 0,05 masas % [263]. Ja mērķis ir konkurēt vai sasniegt tādas pašas īpašības kā koksnei, tad *CG* saistvielu var pievienot ne vairāk par 30 masas % *CG*.



2.18. att. Biodegvielas parametru izmaiņas atkarībā no saistvielas veida.

2.18. attēlā redzamas izmaiņas biodegvielas parametros attiecībā uz tīra materiāla paraugu (nav pievienota saistviela). *H. sosnowskyi* un *PPW* (H, *PPW* 6 masas %) paraugā uzrādīts

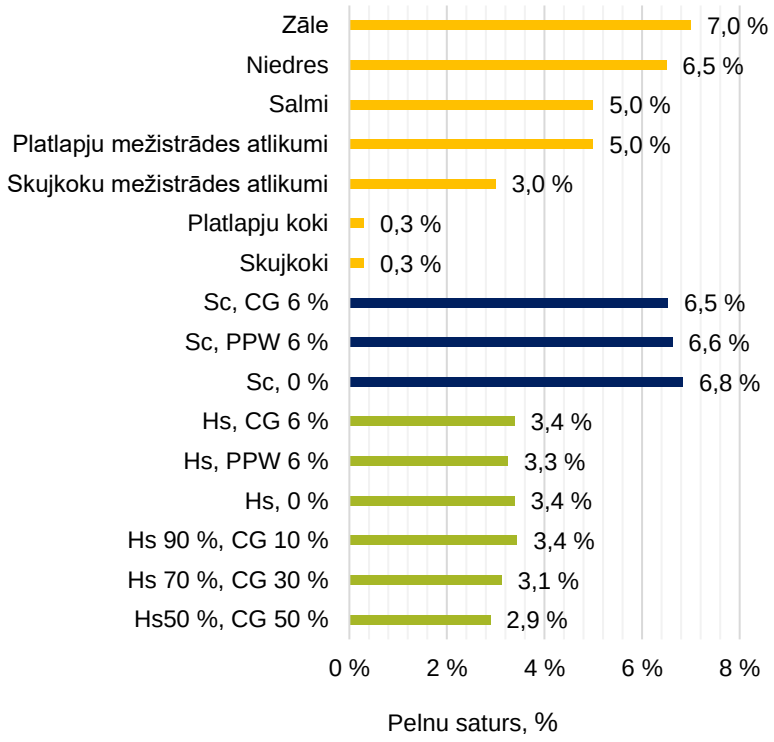
mitruma satura pieaugums, neliels pelnu satura un siltumspējas samazinājums. *S. canadensis* ar abām saistvielām (*PPW* un *CG*) uzrāda visu parametru samazināšanos. Tikai *H. sosnowskyi* ar *CG* saistvielu uzrāda siltumspējas palielināšanos, svarīgas mitruma un pelnu satura izmaiņas nav notikušas. Tāpēc turpmākai pārbaudei tika izvēlēti *H. sosnowskyi* un *CG*, izmantojot dažādas saistvielas proporcijas. Starp abām saistvielām un to ietekmi uz biomasas parametriem līdzības nav, piemēram, *PPW* saistviela samazina vienas biomasas mitrumu, bet citas – palielina. Tāpēc ir vēlami turpmāki eksperimenti ar cita veida biomasu.



2.19. att. Siltumspējas salīdzinājums starp esošajiem cietajiem biomasas kurināmajiem un pārbaudītajiem paraugiem.

Lai noteiktu pārbaudītā parauga kvalitāti, tika veikts salīdzinājums ar citām esošajām cietajām biomasas degvielām. Tipiskās vērtības ir ņemtas no standarta *ISO 17225-1: 2014*. Galvenās vērtības, kas ņemtas salīdzināšanai, ir zāle, neapstrādāta niedru zāle (vasaras raža), svaigi salmu materiāli no kviešiem, rudzi, mieži, koksnes ieguves atlikumi, skujkoku un platlapu koksne.

Visu *Solidago* paraugu rezultāti (2.19. att.) atbilst niedru un zāles siltumspējai ar saistvielām un bez tām, taču *Heracleum* ir konkurētspējīgs ar platlapju mežizstrādes atlikumiem. Turklāt jauktie paraugi ir pat salīdzināmi ar skujkoku mežizstrādes atlikumiem, platlapu koksni un skujkoku koksni. Vislabākie rezultāti ir *Heracleum* paraugam ar 50 masas % kafijas biezumu. Lai noteiktu optimālo proporciju, ir jāņem vērā pelnu saturs.



2.20. att. Pelnu satura salīdzinājums starp esošajām cietajām biomasas degvielām un pārbaudītajiem paraugiem.

2.20. attēlā redzamas esošo cietās biomasas degvielu un pārbaudīto paraugu pelnu satura vērtības. Esošās cietās biomasas kurināmā tipiskās vērtības ir ņemtas no standarta *ISO 17225-1: 2014*. Zemākais pelnu saturs ir neapstrādātam koksnes materiālam (platlapu un skujkoku). Materiāli, kas nav koksne, nevar konkurēt ar neapstrādātiem koksnes materiāliem. Mežizstrādes atlieku vidējais pelnu saturs ir 3–5 masas %, kas ir līdzīgs *Heracleum* pelnu saturam. Pelnu saturs *Solidago* jauktajos paraugos ir līdzīgs niedrēm, tīrā *Solidago* rezultāti ir līdzīgi zālei.

Metodiku var uzlabot, atlasē pievienojot vairāk biodegvielai raksturīgo parametru, ja tā ir efektīva, salīdzinot ar citām cietajām biodegvielām. Optimālais kafijas maluma saistvielas procentuālais daudzums nav lielāks par 30 %, jo mitruma saturs ievērojami palielinās. Palielinot mitruma saturu lielākās proporcijās ar kafijas biezumiem, to varētu samazināt, žāvējot krāsnī.

Kopumā eksperimentālā analīze izrādījās labāka *H sosnowskyi* granulām ar kafijas malšanas saistvielu. Siltumspēja un pelnu saturs var konkurēt ar koksni. Tāpēc šo bioresursu ir iespējams izmantot kā efektīvu enerģijas avotu. No šiem secinājumiem var redzēt, ka *H. sosnowskyi* lietošana ar kafijas malšanas saistvielu ir pilnībā apstiprināta un ieteicams to izmantot rūpniecisko granulu ražošanas uzņēmumos. Tomēr no enerģijas bilances un ekonomikas viedokļa ir vēlams veikt turpmāku analīzi. Nepārprotami ir nepieciešami turpmāki rūpniecisko granulu izturības un tilpuma blīvuma pētījumi.

SECINĀJUMI

1. No galvenās daudzlīmeņu metodoloģijas var secināt, ka bioekonomika jānovērtē, izmantojot augšupejošu pieeju, izmantojot mikro- un mezolīmeņa novērtējumus, ieskaitot transdisciplināru pieeju, sadarbojoties ar sabiedrību (ieinteresētajām personām), bet augšupejošā pieeja var palīdzēt noteikt pareizo ceļu valsts līmeņa novērtēšanai, lai atrastu trūkumus bioresursu pārejai uz ilgtspējīgu bioekonomiku.
2. Bioekonomikas efektivitātes indekss ļauj salīdzināt bioekonomikas attīstību starptautiskā līmenī. Šajā analīzē nav izcelta īpaša tendence starp bioekonomikas attīstības ceļiem ES 28 valstīs, taču kopējais novērtējums norāda, ka divas visaugstāk vērtētās valstis ir Dānija un Īrija, galvenokārt pateicoties lielajām investīcijām lauksaimniecības pētniecībā un attīstībā un augstajai darbaspēka produktivitātei bioekonomikā. Bioekonomikas efektivitātes indekss ļauj lēmumu pieņēmējiem noteikt katras valsts visietekmīgākos rādītājus, lai koncentrētos uz valstu snieguma stiprināšanu un palīdzētu bioekonomikas stratēģijas izstrādē vai uzlabošanā.
3. Bioekonomikas makrolīmeņa novērtējuma galvenais trūkums ir nepietiekami dati, bioekonomikas datu kopām ir izveidotas vairākas labas datubāzes, diemžēl dati ir tikai līdz 2015.–2016. gadam, tāpēc situāciju pilnībā nevar noteikt, jo trūkst galveno izaugsmes gadu dati.
4. Kompozīta indeksa priekšrocības ietver pētāmās parādības daudzdimensionālā rakstura aprakstīšanu ar viendimensionālu, indeksu, kuru var viegli interpretēt. Turklāt kompozītindeksus ir vieglāk interpretēt nekā rādītāju tablo; tos var izmantot, lai sekotu parādības attīstībai laikā, tie var iekļaut vairāk informācijas, ja pastāv lieluma ierobežojumi. Trūkumi tomēr ietver arī iespējamu nepareizas interpretācijas izmantošanu.
5. Izmantojot izstrādāto mezolīmeņa sistēmu, ir iespējams gūt ieskatu inovāciju attīstības potenciālā komercializācijā. Tirgus faktori skaidri parāda situāciju jau attīstības sākumposmā, un ekonomiskais novērtējums ir pirmais posms inovācijas validācijā. Šīs darbības ieteicams atkārtot nākamajos attīstības posmos, kad tehnoloģiskās sagatavotības līmenis ir augstāks un var veikt precīzāku novērtējumu. Ir arī svarīgi atkārtot ekonomisko un tirgus novērtējumu, lai noteiktu, kurā ražošanas procesa posmā ir visaugstākās izmaksas, un samazināt šo posmu vai mainīt izejmateriālu inovāciju attīstības laikā. Šo metodiku apstiprina termoiepakojuma materiāls, un ir skaidrs redzējums, kuri procesi jāuzlabo nākamajos attīstības posmos.
6. Daudzkritēriju analīze dod iespēju meklēt invazīvo sugu izmantošanu, lai risinātu lauksaimniecības zemes izmantošanas aktuālās problēmas. No invazīviem augiem ir iespējams ražot dažādus tautsaimniecībai nozīmīgus produktus. Invazīvu sugu izmantošana produktos radītu gan ekonomiskus, gan vides ieguvumus, taču ir jāizstrādā sertifikācijas shēma, lai izslēgtu iespēju no apzinātas augu audzēšanas un jārod aizstājējaugs (neinvazīvs), kas nodrošinātu produktu ilgtermiņa ražošanu
7. Daudzkritēriju metodoloģijas lietojums ļauj atrast *Heracleum sosnowskyi* kā bioresursu izmantošanas prioritātes bioproduktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai. Balstoties

uz daudzkritēriju analīzes rezultātiem, vislabākajam potenciālam ir trīs farmaceitiski produkti: polisaharīdi, angelicīns un ēteriskā eļļa.

8. Valstīm ar meža resursiem galvenā uzmanība jāpievērš papīrmalkas pievienotajai vērtībai kā vienai no iespējām ieguldīt tekstilrūpniecībā (šķiedru ražošanā), jo ir lielāks potenciāls ne tikai pievienot vērtību bioresursiem, bet arī biorafinēšanas un enerģijas ražošanas iespējas vai inovāciju attīstībai no mežistrādes atlikumiem, kā, piemēram, skuju termoiepakojuma attīstībai
9. No eksperimentāliem pētījumiem tiek secināts, ka invazīvo augu sugu bioresursu potenciāls, kā arī cietās biodegvielas potenciāls ir ieteicams, ja īpašības ir tuvākas koksnei nekā augiem, kā tas ir *Heracleum sosnowskyi* gadījumā, bet ne *Solidago Canadensis* gadījumā. Turpmākā attīstība būtu jākoncentrē uz pievienoto vērtību produktu validēšanai, piemēram, šķiedru vai ķīmisko vielu un biorafinēšanas jomā.
10. No eksperimentālās gadījuma izpētes, analizējot visus parametrus, optimālais mitruma saturs, pelnu saturs un siltumspēja ir *H. sosnowskyi* ar 30 masas % *CG* saistvielu, no šī eksperimenta parādījās vēl vienas atlikuma plūsmas potenciālais izmantojums, tas ir kafijas biezumu izmantošana kā efektīva granulu saistviela ar augstu siltumspēju, kas līdztekus varētu atrisināt kafijas atlikumu problēmu ar potenciālu turpmākiem pētījumiem.

LITERATŪRAS AVOTI

[1] European Commission, “The Eco-innovation scoreboard and the Eco-innovation index”.

[2] A. Kandakoglu, A. Frini, and S. Ben Amor, “Multicriteria decision making for sustainable development: A systematic review,” *J. Multi-Criteria Decis. Anal.*, vol. 26, no. 5–6, pp. 202–251, 2019, doi: 10.1002/mcda.1682.

[3] N. R. Decuseara, “Using The General Electric / Mckinsey Matrix In The Process Of Selecting The Central And East European Markets,” *Manag. Strateg. J.*, vol. 19, no. 1, pp. 59–66, 2013, [Online]. Available: http://ideas.repec.org/a/brc/journl/v19y2013i1p59-66.html.

[4] C. Amatulli, T. Caputo, and G. Guido, “Strategic Analysis through the General Electric/McKinsey Matrix: An Application to the Italian Fashion Industry,” *Int. J. Bus. Manag.*, vol. 6, no. 5, pp. 61–75, 2011, doi: 10.5539/ijbm.v6n5p61.

[5] 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.

[6] Value Based Management, “Summary of the McKinsey matrix. Abstract,” 2016. http://www.valuebasedmanagement.net/methods_ge_mckinsey.html (accessed Jan. 04, 2017).

[7] M. . Salar-García, A. de Ramón-Fernández, V. M. Ortiz-Martínez, D. Ruiz-Fernández, and I. Ieropoulos, “Towards the optimisation of ceramic-based microbial fuel cells: A three-factor three-level response surface analysis design,” *Biochem. Eng. J.*, vol. 144, pp. 119–124, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.BEJ.2019.01.015.

[8] E. A. Wrigley, “Energy and the English industrial revolution,” *Energy English Ind. Revolut.*, pp. 1–272, 2015, doi: 10.5860/choice.48-4603.

[9] David Pimentel, *Handbook of Energy Utilization In Agriculture*. 2018.

[10] I. Lewandowski, *Bioeconomy: Shaping the transition to a sustainable, biobased economy*. 2017.

[11] European Comission, “BREF.” https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/ (accessed Feb. 11, 2020).

[12] D. Maes and S. Van Passel, “Effective bioeconomy policies for the uptake of innovative technologies under resource constraints,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 120, no. October 2018, pp. 91–106, 2019, doi: 10.1016/j.biombioe.2018.11.008.

[13] European Commission, “The Bioeconomy Strategy. A sustainable bioeconomy for Europe: strengthening the connection between economy, society and the environment,” 2018. https://ec.europa.eu/knowledge4policy/node/33004_lv (accessed Feb. 11, 2020).

[14] K. Handayani, Y. Krozer, and T. Filatova, “From fossil fuels to renewables: An analysis of long-term scenarios considering technological learning,” *Energy Policy*, vol. 127, pp. 134–146, Apr. 2019, doi: 10.1016/J.ENPOL.2018.11.045.

[15] R. Lin, Y. Man, C. K. M. Lee, P. Ji, and J. Ren, “Sustainability prioritization framework of biorefinery: A novel multi-criteria decision-making model under uncertainty based on an improved interval goal programming method,” *J. Clean. Prod.*, vol. 251, p. 119729, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119729.

[16] C. A. Gibson, J. L. Meyer, N. L. Poff, L. E. Hay, and A. Georgakakos, “Flow regime alterations under changing climate in two river basins: Implications for freshwater ecosystems,” *River Res. Appl.*, vol. 21, no. 8, pp. 849–864, 2005, doi: 10.1002/rra.855.

[17] S. Haarich, *Bioeconomy development in EU regions – Mapping of EU Member States’ / regions’ Research and Innovation plans & Strategies for Smart Specialisation (RIS3) on Bioeconomy*, no. February. European Commission, 2017.

[18] C. Bunn, P. Läderach, O. Ovalle Rivera, and D. Kirschke, “A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee,” *Clim. Change*, vol. 129, no. 1–2, pp. 89–101, 2015, doi: 10.1007/s10584-014-1306-x.

[19] L. Ladu, E. Imbert, R. Quitzow, and P. Morone, “The role of the policy mix in the transition toward a circular forest bioeconomy,” *For. Policy Econ.*, vol. 110, no. May 2019, p. 101937, 2020, doi: 10.1016/j.forpol.2019.05.023.

[20] European Union, “Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control),” 2010. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010L0075 (accessed Feb. 11, 2020).

[21] N. Gaurav, S. Sivasankari, G. Kiran, A. Ninawe, and J. Selvin, “Utilization of bioresources for sustainable biofuels: A Review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 73, pp. 205–214, June 2017, doi: 10.1016/J.RSER.2017.01.070.

[22] F. Engelmann, “Use of biotechnologies for the conservation of plant biodiversity,” *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Plant*, vol. 47, no. 1. Springer, pp. 5–16, Feb. 03, 2011, doi: 10.1007/s11627-010-9327-2.

[23] S. H. Zyoud and D. Fuchs-Hanusch, “A bibliometric-based survey on AHP and TOPSIS techniques,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 78, pp. 158–181, 2017, doi: 10.1016/j.eswa.2017.02.016.

[24] H.-S. Shih, H.-J. Shyur, and E. S. Lee, “An extension of TOPSIS for group decision making,” *Math. Comput. Model.*, vol. 45, no. 7–8, pp. 801–813, Apr. 2007, doi: 10.1016/J.MCM.2006.03.023.

[25] B. Golembiewski, N. Sick, and S. Bröring, “The emerging research landscape on bioeconomy: What has been done so far and what is essential from a technology and innovation management perspective?,” *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, vol. 29. Elsevier Ltd, pp. 308–317, May 01, 2015, doi: 10.1016/j.ifset.2015.03.006.

[26] M. J. Ahn, “High technology in emerging markets Building biotechnology clusters , capabilities and competitiveness in India,” no. April, 2012, doi: 10.1108/17574321211207953.

[27] L. Zihare, I. Muizniece, K. Spalvins, and D. Blumberga, “Analytical framework for commercialization of the innovation: case of thermal packaging material,” *Energy Procedia*, vol. 147, pp. 374–381, 2018, doi: 10.1016/j.egypro.2018.07.106.

[28] M. Boehlje and S. Bröring, “The increasing multifunctionality of agricultural raw materials: Three dilemmas for innovation and adoption,” *Int. Food Agribus. Manag. Rev.*, vol. 14, no. 2, pp. 1–16, 2011.

[29] T. H. E. Measurement, O. F. Scientific, P. Guidelines, F. O. R. Collecting, I. Technological, and I. Data, “Oslo manual. Proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data,” *Oslo manual. Propos. Guidel. Collect. Interpret. Technol. Innov. data*, 1997.

[30] F. Boons, C. Montalvo, J. Quist, and M. Wagner, “Sustainable innovation, business models and economic performance: An overview,” *J. Clean. Prod.*, vol. 45, pp. 1–8, 2013, doi: 10.1016/j.jclepro.2012.08.013.

[31] UNDP, “European Union dictionary of terms,” 2004. http://termini.lza.lv/term.php?term=policy&lang=EN (accessed Feb. 11, 2020).

[32] H. L. P. Mees, J. Dijk, D. van Soest, P. P. J. Driessen, M. H. F. M. W. van Rijswick, and H. Runhaar, “A method for the deliberate and deliberative selection of policy instrument mixes for climate change adaptation,” *Ecol. Soc.*, vol. 19, no. 2, Jun. 2014, doi: 10.5751/ES-06639-190258.

[33] K.Jacob;, D.Mangalagiu;, and P.King, “Approach to Assessment of Policy Effectiveness,” in *Policies, Goals, Objectives and Environmental Governance: An Assessment of their effectivess Downloaded*, vol. 21, no. 1, Cambridge University Press, 2020, pp. 273–281.

[34] T. Dietz, J. Börner, J. J. Förster, and J. Von Braun, “Governance of the Bioeconomy : A Global Comparative Study of National Bioeconomy Strategies,” 2018, doi: 10.3390/su10093190.

[35] T. B. Ramos, I. Alves, R. Subtil, and J. Joanaz de Melo, “Environmental performance policy indicators for the public sector: The case of the defence sector,” *J. Environ. Manage.*, vol. 82, no. 4, pp. 410–432, Mar. 2007, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2005.12.020.

[36] OECD, “The Bioeconomy to 2030: designing a policy agenda,” 2009.

[37] S. Friedrichs and B. va. Beuzekom, “Revised Proposal for the Revision of the Statistical Definitions of Biotechnology and Nanotechnology,” *OECD*, pp. 1–22, 2018.

[38] A. Barragán-Ocaña, H. Gómez-Viquez, H. Merritt, and R. Oliver-Espinoza, “Promotion of technological development and determination of biotechnology trends in five selected Latin American countries: An analysis based on PCT patent applications,” *Electron. J. Biotechnol.*, vol. 37, pp. 41–46, Jan. 2019, doi: 10.1016/J.EJBT.2018.10.004.

[39] OECD, “Key biotechnology indicators .” https://www.oecd.org/innovation/inno/keybiotechnologyindicators.htm (accessed Feb. 13, 2020).

[40] “Green patents – OECD.” https://www.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/green-patents.htm (accessed Feb. 18, 2020).

[41] UNESCO, “How much does your country invest in R&D?” http://uis.unesco.org/apps/visualisations/research-and-development-spending/ (accessed Feb. 18, 2020).
[42] M. Uriona Maldonado, S. Grobbelaar, M. M. Uriona, and S. S. Grobbelaar, “System Dynamics modelling in the Innovation Systems literature,” *15th Globelics Int. Conf.*, vol. Conference, no. June, p. 32, 2017, [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/319545608.
[43] OECD, *Environmental Policy, Technological Innovation and Patents*. 2008.
[44] OECD, “OECD Studies on Environmental Innovation.” https://www.oecd-ilibrary.org/environment/oecd-studies-on-environmental-innovation_20743483 (accessed Feb. 11, 2020).
[45] T. Ronzon and A. I. Sanjuán, “Friends or foes? A compatibility assessment of bioeconomy-related Sustainable Development Goals for European policy coherence,” *J. Clean. Prod.*, vol. 254, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.119832.
[46] T. Ronzon, S. Piotrowski, R. M’barek, M. Carus, and S. Tamošiūnas, “Jobs and Wealth in the EU Bioeconomy (JRC - Bioeconomics),” *Eur. Comm. Jt. Res. Cent. (JRC).*, 2018.
[47] European Commission Directorate, “General Environment The Potential of Market Pull Instruments for Promoting Innovation in Environmental Characteristics Final Report February,” 2009.