

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Enerģētikas un elektrotehnikas fakultāte
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Indra Muižniece
Doktora studiju programmas “Vides zinātne” doktorante

BIOTEHONOMIKAS ANALĪZES METODOLOĢIJA

Promocijas darba kopsavilkums

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

RTU Izdevniecība
Rīga 2018

Muižniece I. Biotehonomikas analīzes metodoloģija.
Promocijas darba kopsavilkums.
R.: RTU Izdevniecība, 2018. 33 lpp.

Iespiests saskaņā ar Vides aizsardzības un siltuma
sistēmu institūta 2018. gada 11. janvāra lēmumu,
protokols Nr. 90.

ISBN 978-9934-22-093-7 (print)

ISBN 978-9934-22-094-4 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS INŽENIERZINĀTŅU DOKTORA GRĀDA VIDES INŽENIERZINĀTNĒ IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda (*Dr. sc. ing.*) vides zinātnē iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2018. gada 2. jūlijā, plkst.10 Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē, Āzenes ielā 12/1, 115. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. habil. chem.* Māris Kļaviņš
Latvijas Universitāte

Profesors *Dr. sc. ing.* Ainis Lagzdīns
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Profesors *Dr. sc. (tech).* Timo Laukkanen
Aalto University

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājusi šo promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda Vides zinātnes nozares apakšnozarē “Vides inženierzinātne” iegūšanai. Promocijas darbs zinātniskā grāda iegūšanai nav iesniegts nevienā citā universitātē.

Indra Muižniece (paraksts)

Datums

Promocijas darbs ir izstrādāts latviešu valodā, tajā ir ievads, piecas nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 47 attēli, 14 tabulas, kopā 100 lappuses. Literatūras sarakstā ir 147 nosaukumi.

SATURA RĀDĪTĀJS

Darba aktualitāte	5
Darba mērķis un uzdevumi.....	8
Darba metodika	8
Darba zinātniskā nozīme	9
Darba praktiskā nozīme.....	9
Aprobācija	9
Darba struktūra un apjoms	12
1. PIRMAIS LĪMENIS – NACIONĀLAIS. BIOTEHONOMIKA LATVIJĀ	13
1.1. Latvijas biotehonomikas izvērtējums	13
1.2. Biotehonomika un inovācijas	14
2. OTRAIS LĪMENIS – NOZARES. BIOTEHONOMIKA MEŽSAIMNIECĪBĀ	15
2.1. Biotehonomikas ieviešanas iespējas mežsaimniecībā Latvijā.....	15
2.2. Mežizstrādes atlikumu izmantošana enerģētikai	17
2.3. Mazvērtīgās koksnes un mežizstrādes atlikumu izmantošana produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai	18
3. TREŠAIS LĪMENIS – RESURSU. NEPILNĪGI IZMANTOTI MEŽU RESURSI	23
4. CETURTAIS LĪMENIS – PRODUKTA. INOVATĪVS PRODUKTS – SKUJU SILTUMIZOLĀCIJAS MATERIĀLS.....	25
5. CEĻĀ UZ TRANSDISCIPLINĀRU BIOTEHONOMIKAS IZPRATNI	28
SECINĀJUMI.....	31
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	33



Šī darba izstrādi atbalstīja valsts pētījuma programma “Energoeфекtīvi un oglekļa mazietilpīgi risinājumi drošai, ilgtspējīgai un klimata mainību mazinošai energoapgādei (LATENERGI)”.

Darba aktualitāte

Latvija ir bagāta ar dažāda veida bioresursiem, toties lielos apjomos nav pieejami fosilie resursi. Bioresursi ir visi tie resursi, kas ir pieejami un iegūstami no ūdens, zemes, gaisa, kā arī tie, kas veidojas kā pārpalikumi ražošanas procesos un sadzīvē. Bioresursi ir atjaunojami dabas resursi, tomēr jāņem vērā, ka tie nav neizsmeljami, un tas, cik ilgi un cik lielu labumu no tiem mēs spēsim iegūt, ir atkarīgs no mūsu spējas ilgtspējīgi apsaimniekot šos resursus.

Attiecībā uz bioresursu izmantošanu pēdējo gadu laikā plaši izmantots bioekonomikas (*bioeconomy*) jēdziens, kas starptautiskās nozīmes skanējumu [1] ieguva līdz ar Eiropas Komisijas 2012. gada februārī pieņemto Bioekonomikas stratēģiju (*Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe*) [2]. Bioekonomikas koncepcijas ieviešana tautsaimniecībā ir veids, kā ilgtspējīgi apsaimniekot bioresursus un rast alternatīvu no fosilajiem resursiem ražotiem produktiem, izmantojot biomasu, tādējādi ne tikai veicinot ekonomisko un sociālo labklājību, bet arī samazinot tautsaimniecības radīto negatīvo ietekmi uz vidi un klimatu.

Eiropas Komisija ir noteikusi ilgtermiņa plānu attīstīt konkurētspējīgu, resursu efektīvu un zema oglekļa ekonomiku līdz 2050. gadam [3] un ietvērusi Zaļās ekonomikas koncepciju dažāda līmeņa ES politiskos dokumentos. Saskaņā ar Apvienoto nāciju Vides programmu (2011) zaļā ekonomika tiek definēta kā “zema oglekļa, resursu efektīva un uz sabiedrību vērsta”, kuras mērķis ir uzlabot cilvēku labklājību un sabiedrības vienlīdzību, tajā pašā laikā būtiski samazinot vides riskus un ekoloģiskos trūkumus [4]. Skatoties uz zaļās ekonomikas koncepciju plašāk, biotehnomika ir orientēta uz atjaunojamo izejmateriālu izmantošanu pētniecībai, attīstībai, inovācijām un industriālajām tehnoloģijām tādām nozarēs kā pārtikas, barības, papīra un celulozes, un biodegvielas ražošanai. Atšķirībā no zaļās ekonomikas, biotehnomika fokusējas uz jaunām izaugsmes iespējām gan tradicionālajās, gan jaunajās uz bioresursiem balstītajās nozarēs.

Galvenais akcents Eiropas bioekonomikas stratēģijā ir – zinātne, inovācijas, izglītība un apmācības, pārvaldība un dialogs ar sabiedrību (1. att.).



1. att. Eiropas Savienības bioekonomikas stratēģija.

Eiropa ir nonākusi pie secinājuma, ka, lai tiktu galā ar pieaugošo iedzīvotāju skaitu, resursu izsīkšanu, pastiprināto ietekmi uz vidi un klimatu, ir radikāli jāmaina pieeja bioresursu ražošanai, pārstrādei, patēriņam un likvidēšanai. Ar Bioekonomikas stratēģiju Eiropas Komisija cer brūgēt ceļu uz inovatīvāku, resursu ziņā efektīvāku un konkurētspējīgāku sabiedrību, kas spēj apvienot pārtikas nodrošinājumu un rūpnieciskos mērķus ar bioresursiem, vienlaikus nodrošinot vides aizsardzību. Attiecībā uz mežsaimniecību tiek uzsvērta tās būtiskā loma saistībā ne tikai ar materiālo resursu iegūšanu un izmantošanu produktu ražošanai un meža ekosistēmas sniegtajām nemateriālajām vērtībām, bet arī ar šīs nozares reālo ieguldījumu ekonomiskajā attīstībā, nodrošinot darba vietas [5].

Lai gan bioekonomikas termins tiek lietots aizvien plašāk, tajā skaitā arī zinātniskajā literatūrā, un iekļauts Eiropas līmeņa politikas dokumentos, joprojām var rasties priekšstats, ka bioekonomikas

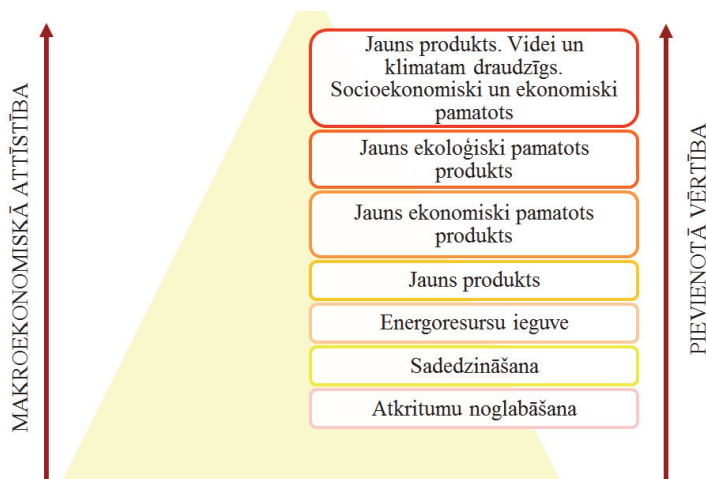
termins joprojām nav strikti definēts un tiek interpretēts pēc nepieciešamības. Kritiskākie viedokļi pat pauž, ka bioekonomika ir tikai jauns lozungs ar vecām idejām [1].

Bioekonomika ir uz zināšanām balstīta bioresursu izmantošana, pamatojoties uz inovatīviem bioloģiskajiem procesiem un principiem, lai ilgtspējīgā veidā nodrošinātu preces un pakalpojumus visās tautsaimniecības nozarēs [6].

Tiek atzīts, ka līdz šim Eiropā bioekonomikas jomā nekas īpaši daudz nav izdarīts un panākts. Biomasas izmantošanas daudzums ķīmikāliju un plastmasu izgatavošanā pēdējo 10 gadu laikā nav būtiski mainījies. Labi attīstījušies ir vienīgi bioenerģijas un biodegvielu sektori, pateicoties stingriem normatīvajiem aktiem, kas balstīti uz Enerģētikas direktīvu un Emisijas kvotu tirdzniecības sistēmu [7]. Daudzās valstīs tieši mazie un vidējie uzņēmumi ir galvenie inovatīvu bioekonomikas ideju attīstītāji. Tāpēc būtu nepieciešams, lai arī tie tiktu iesaistīti bioekonomikas politikas veidošanā [6].

Par noteicošo faktoru pārejai uz bioekonomiku tiek atzītas biorafinērijas sistēmu attīstība. Saistībā ar to strīdīgākais jautājums ir ar liela biomasas pieprasījums, lai panāktu izmaksu efektivitāti, kas rada ietekmi uz loģistiku, uzglabāšanu un izejvielu izmaksām [8].

Rīgas Tehniskās universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta pētnieki piedāvā paplašināt bioekonomikas ideju, ieviešot jaunu terminu – biotehonomika (*biotechnomy*), kas, atšķirībā no jau plaši zināmās bioekonomikas, pievēršas ne tikai bioresursu racionālai un efektīvai izmantošanai inovatīvu produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai, bet arī bioresursu lietojuma tehnoloģiskajām problēmām [9, 10]. Lai precīzi definētu ilgtspējīgu bioresursu izmantošanu, būtu jālieto termins biotehonomika, jo tā ir uz zinātni balstīta vietējo resursu taupīga izmantošana, radot jaunus, tirgū pieprasītus, konkurētspējīgus produktus, kas ir saražoti ar inovatīvām un modernām biotehnoloģijām. Lai gan šobrīd literatūrā galvenokārt ir sastopams uzskats, ka šie termini ir ekvivalenti, tomēr to būtības analīze atsedz atšķirības. Tas ir saistīts ar angļu terminu *economy*, kas šajā gadījumā vairāk nozīmē resursu un līdzekļu taupīšanu un maz saskaras ar ekonomikas nozari. Biotehonomikas jēdziens visprecīzāk definē bioresursu izmantošanas aspektus, jo pievēršas tehnoloģiskajām problēmām, kas ir saistītas ar bioresursu ieguves un pārstrādes tehnoloģijām, kā arī ar jaunā produkta lietojumu un ekodizainu. Savukārt bioekonomika vairāk analizē bioresursu racionālas un efektīvas izmantošanas, kā arī taupīšanas aspektus.



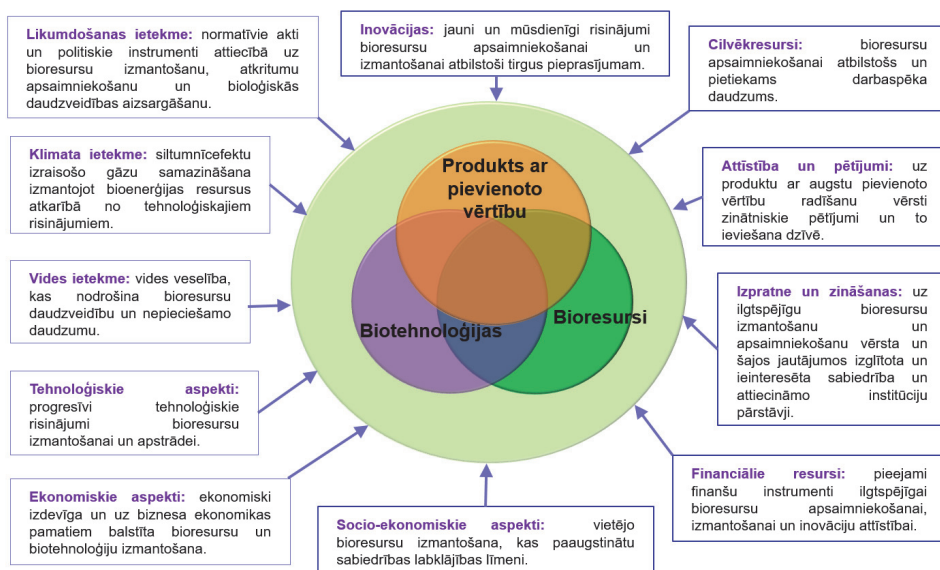
2. att. Biotehonomikas piramīda ar bioresursu izmantošanu jaunu produktu ražošanai [9].

Biotehonomika apvieno bioresursu ieguves tehnoloģijas un biotehnoloģiju lietojumu to apstrādei un pārstrādei, izmantojot inovatīvas un modernas tehnoloģijas, lai iegūtu jaunu produktu ar pievienotu vērtību. Biotehonomikas ideju visprecīzāk izskaidro piramīda, kuras pamatnē ir bioresursa visvienkāršākais lietojums: atkritumi, kas nonāk atkritumu glabātuvē (2. att.) [9].

Bioresursu izmantošana enerģētikā ir videi visnedraudzīgākais un ekonomiski visneizdevīgākais risinājums. Ja bioresursu izmanto kurtuvē degšanas procesā un iegūst siltumenerģiju, ko tālāk izmanto siltumapgādē, rūpniecībā, lauksaimniecībā un pakalpojumu sektorā, tad vienmēr paliek atklāts jautājums: vai šos bioresursus nav iespējams izmantot lietderīgāk. Bieži bioresursus, ko dedzina katlu kurtuvēs, ir iespējams izmantot arī citiem mērķiem, piemēram, ražojot gāzveida vai šķidro biodegvielu.

No jebkura bioresursa ir iespējams iegūt jaunu produktu. Tikai atklāti paliek jautājumi: kāds būs šī jaunā produkta lietojums; kāds būs tā pieprasījums tirgū; cik izmaksās tā ražošana; kā šī jaunā produkta ražošana ietekmēs vidi un klimata pārmaiņas, kādi būs tā socioekonomiskie rādītāji [9].

Biotehonomikas ilgtspējīga attīstība ir atkarīga ne tikai no nozaru struktūras un jauno bioproduktu īpašībām un iespējamā lietojuma, bet arī no specifiskiem priekšnosacījumiem un aspektiem: finanšu resursiem, cilvēkresursiem, klimata, vides, inženiertehniskajiem, ekonomiskajiem un socioekonomiskajiem aspektiem (3. att.). Ir jāveido biotehonomikas nozaru puduri, kurus apvienotu kādas kopīgas pazīmes, piemēram, produktu kopa, kurā būtu produkti ar augstu pievienoto vērtību no meža biomasas.



3. att. Biotehonomikas trīskāršie vijumi un tos ietekmējošie faktori [10].

Galvenie biotehonomikas nozaru attīstības priekšnosacījumi ir atkarīgi no tā, kādā virzienā attīstīsies bioresursu izmantošana. Ir ļoti svarīgi, lai visi iepriekš minētie aspekti balstītos uz šādiem principiem:

- inovatīvu un zinātniski pamatotu biotehnoloģiju ieviešanu;
- ekonomiski izdevīgu un uz biznesa ekonomikas pamatiem būvētu biotehnoloģiju izmantošanu;
- socioekonomiski pamatotu biotehnoloģiju attīstību, kuras palielina nodarbinātības līmeni un samazina importu;
- videi draudzīgu biotehnoloģiju izmantošanu, lietojot bioresursus, kuru ieguve ir ekoloģiski pamatota;
- siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanas koncepciju [9].

Ievērojot biotehonomikas principus Latvijas tautsaimniecībā un bioresursu izmantošanā produktu ražošanai, būtu iespējams gūt vēl lielāku ekonomisko, sociālo, vides un klimata ieguvumu. Šajā promocijas darbā tiek pievērsta padziļināta uzmanība Latvijas mežsaimniecības attīstības iespējām biotehonomikas kontekstā, izmantojot produktu ražošanai līdz šim nenovērtētos mežu resursus. Tāpēc aktuāli ir jautājumi – kādā stāvoklī Latvijas meža resursu izmantošana atrodas šobrīd un kāds ir virziens, kādā tai vajadzētu virzīties? Šajā promocijas darbā tiek meklēta atbilde uz šiem jautājumiem un piedāvāts viens no iespējamajiem veidiem kā ilgtspējīgi un biotehonomikas pamatprincipiem atbilstoši izmantot kādu no līdz šim nepilnīgi izmantotajiem mežu resursiem, ražojot inovatīvu produktu.

Darba mērķis un uzdevumi

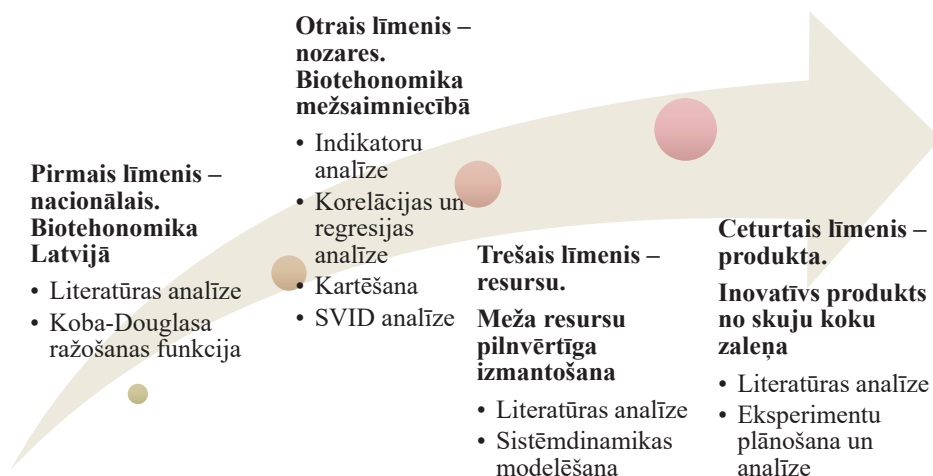
Promocijas darba mērķis ir izveidot biotehonomikas analīzes metodoloģiju un aprobēt to Latvijas mežsaimniecības nozarei, lai rastu tās attīstības perspektīvas biotehonomikas kontekstā un jaunu risinājumu līdz šim nepilnīgi izmantota mežu resursa izmantošanai produktu ražošanai.

Promocijas darba mērķa sasniegšanai izvirzīti pieci galvenie uzdevumi:

1. veikt Latvijas biotehonomikas analīzi;
2. izanalizēt biotehonomikas principu ievērošanas iespējas Latvijas mežsaimniecībā;
3. izvērtēt mazvērtīgās koksnes un mežizstrādes atlikumu ilgtspējīgas izmantošanas iespējas produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai;
4. veikt gadījuma izpēti un izvērtēt viena nepilnīgi izmantota mežu resursa izmantošanas iespējas, noteikt šī resursa pieejamību;
5. veikt gadījuma izpēti un radīt biotehonomikas koncepcijai atbilstošu inovatīvu produktu no mežizstrādes atlikumiem.

Darba metodika

Promocijas darbs balstīts uz teorētiskās biotehonomikas koncepcijas analīzi un iespēju izvērtējumu četros līmeņos: nacionālajā, nozares, resursu un produkta. Resursu līmenis ietvers biotehonomikas principu aprobāciju gadījuma izpētē, laboratorijas apstākļos radot un testējot no biomasas izgatavotu inovatīvu produktu. Tādēļ promocijas darba izstrādei izmantotas gan teorētiskās pētniecības metodes (literatūras un datu analīze, datu apstrāde un modelēšana), gan praktiskās pētniecības metodes (eksperimentu plānošana un veikšana) (4. att.).



4. att. Promocijas darbā izmantotās metodes.

Datu analīzei izmantota korelācijas un regresijas analīze, daudzkritēriju analīzes (*multi criteria analysis*) TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) metode, Koba-Duglasy (*Cobb-Douglas*) ražošanas funkcija, eksperimentu analīze. Informācijas un procesu izpratnei un analīzei izmantota literatūras analīze, sistēmdinamikas modelēšanas metode, kartēšana, indikatoru analīze un SVID (stiprās un vājās puses, iespējas un draudi) analīze. Metodes izmantotas gan atsevišķi, gan savstarpēji kombinējot un veidojot kompleksus metožu algoritmus.

Promocijas darbs orientēts uz biotehonomiku mežsaimniecībā, bet lietoto metodiku iespējams pielāgot un izmantot arī citu ar biotehonomiku saistītu nozaru analīzei.

Darba zinātniskā nozīme

Promocijas darbā izstrādātā biotehonomikas analīzes metodoloģiju ietver sistemātisku pieeju tautsaimniecības attīstībai biotehonomikas kontekstā, ņemot vērā vides, klimata, ekonomiskos un sociālos aspektus. Tikai domājot par un risinot problēmjautājumus kā vienotu sistēmu, iespējams panākt ilgtspējīgāku rezultātu.

Promocijas darbā izstrādātā vairāku līmeņu metodoloģija ir aprobēta Latvijas situācijai – no biotehonomikas analīzes valsts līmenī līdz inovatīva, biotehonomikas principiem atbilstoša produkta izveidei.

Šis promocijas darbs ir zinātniski nozīmīgs, jo tajā ir:

- izstrādāta jauna metodoloģija biotehonomikas vērtēšanai tautsaimniecības kontekstā;
- izveidots sistēmdinamikas modelis, lai noteiktu pieejamos skuju koku zaleņa apjomus atkarībā no dažādiem Latvijas mežsaimniecības attīstības scenārijiem;
- izstrādāta jauna metodoloģija bioproducta komercializācijas potenciāla noteikšanai;
- izstrādāta jauna metodoloģija biotehonomikas teritoriālajai plānošanai;
- izgudrots inovatīvs produkts no nepilnīgi izmantotas biomasas atbilstoši biotehonomikas principiem, ko pierāda divi Latvijas Patentu valdē reģistrētie patenti;
- izstrādāta metodoloģija turpmākiem pētījumiem biotehonomikas transdisciplinārai izpētei.

Izstrādāto metodoloģiju kopas aprobācija un iegūtie rezultāti pierāda, ka tā ir korekta un to ir iespējams pielāgot un izmantot dažādās valstīs, tautsaimniecības nozarēs un bioresursu un bioproductu ilgtspējības analīzē biotehonomikas kontekstā.

Darba praktiskā nozīme

Promocijas darbā izstrādāto biotehonomikas analīzes metodiku iespējams pielāgot un izmantot citu nozaru vai bioresursu analīzē biotehonomikas kontekstā, lai turpinātu pētniecības darbu un rastu zinātniski pamatotus un praktiski pielietojamus risinājumus ilgtspējīgas attīstības veicināšanai valsts un nozaru līmenī.

Darbā iegūtos Latvijas biotehonomikas un mežsaimniecības nozares novērtējuma rezultātus biotehonomikas kontekstā var izmantot politikas veidotāji un lēmumu pieņēmēji, lai veicinātu ilgtspējīgu turpmāko mežsaimniecības un mežu resursu izmantošanas attīstību.

Ražotājiem un investoriem šis promocijas darbs varētu būt noderīgs, lai paraudzītos uz apkārt esošajiem resursiem un saskatītu iespējas tos izmantot ilgtspējīgāk un gūt lielāku ekonomisko labumu no vienas resursu plūsmas.

Promocijas darba laikā izstrādāto skuju siltumizolācijas materiālu un tā ražošanas tehnoloģiju iespējams attīstīt, lai atbilstoši biotehonomikas koncepcijai, uzsāktu tā ražošanu, ilgtspējīgi izmantojot mežizstrādes atlikumus produktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošanai, tādējādi iegūstot ekonomiskos, sociālos, vides un klimata ieguvumus valsts līmenī.

Aprobācija

Promocijas darba rezultāti ir prezentēti astoņās konferencēs, publicēti 17 zinātniskajās publikācijās un trīs monogrāfijās. Saistībā ar promocijas darbu Latvijas Republikas Patentu valdē reģistrēti divi patenti.

Publikācijas par promocijas darba tēmu

1. Muizniece, I., Blumberga, D., Kubule, A. Towards understanding the transdisciplinary approach of the bioeconomy nexus. Pieņemts publicēšanai žurnālā *Energy Procedia*, 2018 (izskatīšanā SCOPUS).
2. Blumberga, D., Muizniece, I. Methodology for determining potential of forest bioproduct commercialization. Pieņemts publicēšanai žurnālā *Environmental Development*, 2018 (izskatīšanā SCOPUS).
3. Muizniece, I., Gravelins, A., Brauners, I., Blumberga, A., Blumberga, D. Innovative bioproducts from forest biomass. Method of analysis. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 113, pp. 343–441 (indeksēts SCOPUS).

4. Blumberga, D., Muizniece, I., Zihare, L., Sniega, L. Bioeconomy mapping indicators and methodology. Case study about forest sector in Latvia. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 128, pp. 363–367 (indeksēts SCOPUS).
5. Muizniece, I., Blumberga, D. Wood resources for energy sector in Latvia. Is it a sustainable solution? *Energy Procedia*, 2017, Vol. 128, pp. 287–291 (indeksēts SCOPUS).
6. Muizniece, I., Timma, L., Blumberga, D. Biotechnology Innovations Development Barriers in Latvia. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 113, pp. 285–288 (indeksēts SCOPUS).
7. Blumberga, D., Indzere, Z., Muizniece, I., Blumberga, A., Bazbauers, G., Gravelsins, A. Why Bioeconomy is Actual for Latvia. Research Achievements in Institute of Energy Systems and Environment. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 113, pp. 460–465 (indeksēts SCOPUS).
8. Blumberga, D., Muizniece, I., Blumberga, A., Baranenko, D. Biotechnology Framework for Bioenergy Use. *Energy Procedia*, 2016, Vol. 95, pp. 76–80 (indeksēts SCOPUS).
9. Muizniece, I., Blumberga, D. Thermal conductivity of heat insulation material made from coniferous needles with potato starch binder. *Energy Procedia*, 2016, Vol. 95, pp. 324–329 (indeksēts SCOPUS).
10. Muizniece, I., Timma, L., Blumberga, A., Blumberga, D. The methodology for assessment of bioeconomy efficiency. *Energy Procedia*, 2016, Vol. 95, pp. 482–486 (indeksēts SCOPUS).
11. Muizniece, I., Dace, E., Blumberga, D. Dynamic Modeling of the Environmental and Economic Aspects of Bio-Resources from Agricultural and Forestry Wastes. *Procedia Earth and Planetary Science*, 2015, Vol. 15, pp. 806–812 (indeksēts SCOPUS).
12. Muizniece, I., Dace, E., Blumberga, D. Assessing the potential of coniferous greenery from logging residues in Latvia using a system dynamics model. *Environment. Technology. Resources*, 2015, Vol. II, pp. 219–224 (indeksēts SCOPUS).
13. Dace, E., Muizniece, I. Modeling greenhouse gas emissions from the forestry sector – the case of Latvia. *Agronomy Research*, 2015, Vol. 13 (2), pp. 464–476 (indeksēts SCOPUS).
14. Muizniece, I., Vilcane, L., Blumberga, D. Laboratory research of granular heat insulation material from coniferous forestry residue. *Agronomy Research*, 2015, Vol. 13 (2), pp. 690–699 (indeksēts SCOPUS).
15. Muizniece, I., Lauka, D., Blumberga, D. Thermal Conductivity of Freely Patterned Pine and Spruce Needles. *Energy Procedia*, 2015, Vol. 72, pp. 256–262 (indeksēts SCOPUS).
16. Muizniece, I., Blumberga, D., Ansons, A. The Use of Coniferous Greenery for Heat Insulation Material Production. *Energy Procedia*, 2015, Vol. 72, pp. 209–215 (indeksēts SCOPUS).
17. Muizniece, I., Blumberga, D. Assessment of the Amount of Coniferous Wood Waste in the Baltic States. *Energy Procedia*, 2015, Vol. 72, pp. 57–63 (indeksēts SCOPUS).

Citas publikācijas

18. Kazulis, V., Muizniece, I., Blumberga, D. Eco-design analysis for innovative bioproduct from forest biomass assessment. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 128, Vol. 368–372 (indeksēts SCOPUS).
19. Jansone, Z., Muizniece, I., Blumberga, D. Analysis of wood bark use opportunities. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 128, pp. 268–274 (indeksēts SCOPUS).
20. Gravelsins, A., Blumberga, A., Blumberga, D., Muizniece, I. Economic analysis of wood products: system dynamics approach. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 128, pp. 431–436 (indeksēts SCOPUS).
21. Gravelsins, A., Muizniece, I., Blumberga, A., Blumberga, D. Economic sustainability of pellet production in Latvia. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 142, pp. 521–537 (indeksēts SCOPUS).
22. Kazulis, V., Muizniece, I., Zihare, L., Blumberga, D., Carbon storage in wood products. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 128, pp. 558–563 (indeksēts SCOPUS).
23. Vaivare, A., Muizniece, I., Blumberga, D., Pranskevicius, M., Glazkova, O. Assessment of the thermo-physical properties of leaves. *Energy Procedia*, 2016, Vol. 95, pp. 551–558 (indeksēts SCOPUS).
24. Muizniece, I., Klavina, K. Logging residue fuel characteristic ash melting temperatures. *Energy Procedia*, 2016, Vol. 95, pp. 314–318 (indeksēts SCOPUS).

25. Muizniece, I., Klavina, K., Blumberga, D. The impact of torrefaction on coniferous forest residue fuel. *Energy Procedia*, 2016, Vol. 95, pp. 319–323 (indeksēts SCOPUS).
26. Dace, E., Muizniece, I., Blumberga, A., Kaczala, F. Searching for solutions to mitigate greenhouse gas emissions by agricultural policy decisions – application of system dynamics modeling for the case of Latvia. *Science of the Total Environment*, 2015, Vol. 527–528, pp. 80–90 (indeksēts SCOPUS).
27. Gusca, J., Fainzilbergs, M., Muizniece, I. Life Cycle Assessment of Landfill Mining Project. *Energy Procedia*, 2015, Vol. 72, pp. 322–328 (indeksēts SCOPUS).
28. Zvingule, L., Kalnins, S.N., Blumberga, D., Gusca, J., Bogdanova, M., Muizniece, I. Improved Project Management via Advancement in Evaluation Methodology of Regional Cooperation Environmental Projects. *Environmental and climate Technologies*, 2013, Vol. 11(1), pp. 57–67 (indeksēts SCOPUS).

Monogrāfijas

1. Barisa, A., Blumberga, A., Blumberga, D., Grāvelsiņš, A., Gušča, J., Lauka, D., Kārklīņa, I., Muizniece, I., Pakere, I., Priedniece, V., Romagnoli, F., Roša, M., Seļivanovs, J., Soloha, R., Veidenbergs, I., Vīgants, E., Vīgants, G., Ziemeļe J. *Energosistēmu analīze un modelēšana*. Zinātniskā monogrāfija. Rīga: RTU Izdevniecība, 2018, 144 lpp. ISBN 978-9934-22-037-1.
2. Kamenders, A., Barisa, A., Blumberga, A., Rochas, C., Blumberga, D., Pakere, I., Dzene, I., Burmiste, I., Muizniece, I., Veidenbergs, I., Ziemeļe, J., Kļavenieks, K., Kašs, K., Žihare, L., Sniega, L., Žogla, L., Roša, M., Kalniņš, S.N. *Energoaplānošanas attīstības tendences Latvijas pašvaldībās*. Zinātniskā monogrāfija. Rīga: RTU Izdevniecība, 2017, 172 lpp.
3. Blumberga, D., Barisa, A., Kubule, A., Kļaviņa, K., Lauka, D., Muizniece, I., Blumberga, A., Timma, L. *Biotehonomika*. Mācību grāmata. Rīga: RTU Izdevniecība, 2016, 338 lpp. ISBN 978-9934-10-789-4.

Konferences

1. Blumberga D., Muizniece I., Zihare L., Sniega L. Bioeconomy mapping indicators and methodology. Case study about forest sector in Latvia. *Conference of Environmental and Climate technologies*, Riga, Latvia, 10.05.2017.
2. Muizniece I., Blumberga D. Wood resources for energy sector in Latvia. Is it a sustainable solution? *Conference of Environmental and Climate technologies*, Riga, Latvia, 10.05.2017.
3. Muizniece I., Gravelins A., Brauners I., Blumberga A., Blumberga D. Innovative Bioproducts from Forest Biomass. Method of Analysis. *Conference of Environmental and Climate technologies*, Riga, Latvia, 13.10.2016.
4. Muizniece I., Timma L., Blumberga D. *Biotechnomy Innovations Development Barriers in Latvia*. Method of Analysis. Conference of Environmental and Climate technologies, Riga, Latvia, 13.10.2016.
5. Muizniece I., Blumberga D. Thermal conductivity of heat insulation material made from coniferous needles with potato starch binder. *Conference of Environmental and Climate technologies*, Riga, Latvia, 15.10.2015.
6. Muizniece I., Vilcane L., Blumberga D. Laboratory research of granular heat insulation material from coniferous forestry residue. *6th International Conference "Biosystems Engineering 2015"*, 07.05.2015, Tartu, Estonia
7. Muizniece I., Dace L., Blumberga D. Thermal conductivity of freely patterned pine and spruce needles. *Vides zinātne un izglītība Latvijā un Eiropā*, Rīga, Latvijas vides zinātnes un izglītības padome, 24.10.2014.
8. Muizniece I., Blumberga D., Ansona A. The use of coniferous greenery for heat insulation material production. *Vides zinātne un izglītība Latvijā un Eiropā*, Rīga, Latvijas vides zinātnes un izglītības padome, 24.10.2014.
9. Muizniece I., Blumberga D. (2014) Analysis of Coniferous Wood Waste in Baltic States. *Conference of Environmental and Climate technologies*, Riga, Latvia, 17.10.2014.
10. Muizniece I., Blumberga D. (2014) Granulometric composition influence on coniferous needle thermal conductivity. *Conference of Environmental and Climate technologies*, Riga, Latvia, 17.10.2014.

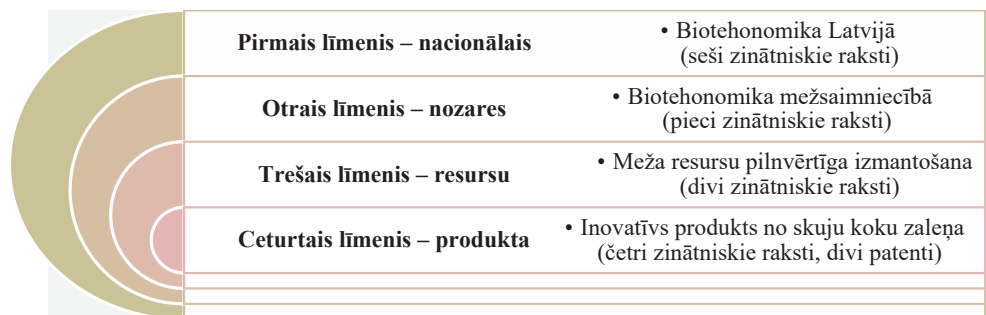
11. Muizniece I., Blumberga D. The analysis of alternative use of low valuable forest exploitation remainders. *54. starptautiskā zinātniskā konference*, Rīga, RTU, 2013
12. Muizniece I., Blumberga D. Mazvērtīgo mežizstrādes atlikumu izmantošanas alternatīvu analīze. *54. RTU studentu zinātniskā un tehniskā konference*, Rīga, RTU, 2013

Patenti

1. Indra Muižniece, Dagnija Blumberga (2014) Kokskaidu siltumizolācijas materiāls; īpašnieks: Rīgas Tehniskā universitāte; Nr. 14792; 20.03.2014.
2. Indra Muižniece, Dagnija Blumberga, Dace Lauka, Andra Blumberga (2016) Granulēts kokskaidu siltumizolācijas materiāls; īpašnieks: Rīgas Tehniskā universitāte; Nr. 15124; 20.01.2017.

Darba struktūra un apjoms

Lai īstenotu promocijas darbā izvirzīto mērķi un uzdevumus, promocijas darba struktūra tika veidota četros biotehonomikas līmeņos: nacionālais, nozares, resursu un produktu (5. att.). Tādējādi – soli pa solim izvērtējot biotehonomikas ieviešanas iespējas no valsts līmeņa līdz pat reāla produkta ražošanai.



5. att. Promocijas darba struktūra.

Otrajā – nozares līmenī promocijas darbā analizēta viena no bioekonomikas nozarēm – mežsaimniecība. Veikts Latvijas mežsaimniecības un mežizstrādes izvērtējums un analizētas iespējas mazvērtīgo koksni un mežizstrādes atlikumus izmantot dažādu produktu ražošanai atbilstoši biotehonomikas principiem. Trešajā – resursu līmenī pievērsta padziļināta uzmanība vienam no mežu resursiem – skuju koku zalenim, kas ir nepilnīgi izmantots, plaši pieejams un nenovērtēts resurss Latvijā. Veicot literatūras analīzi, identificēti produkti, kuru ražošanai izmanto vai pēta iespējas izmantot skuju koku zaleņi. Ar sistēmdinamikas modelēšanas palīdzību noteikti skuju koku zaleņa resursu pieejamība tagad un nākotnē, atkarībā no dažādiem Latvijas mežsaimniecības attīstības scenārijiem. Ceturtajā – produkta līmenī veikta gadījuma izpēte inovatīva produkta no skuju koku zaleņa izveidei. Šajā promocijas darba posmā veikta eksperimentālā izpēte skuju siltumizolācijas materiāla izveidei un izvērtēta šāda produkta komercializācijas potenciāls.

Promocijas darba noslēgumā (5. nodaļa) izteikti priekšlikumi, kā vajadzētu veikt turpmākos pētījumus, lai attīstītu biotehonomiku, skatoties uz šo jautājumu kā transdisciplināru dažādu nozaru krustpunktu, ko ietekmē vienota faktoru sistēma.

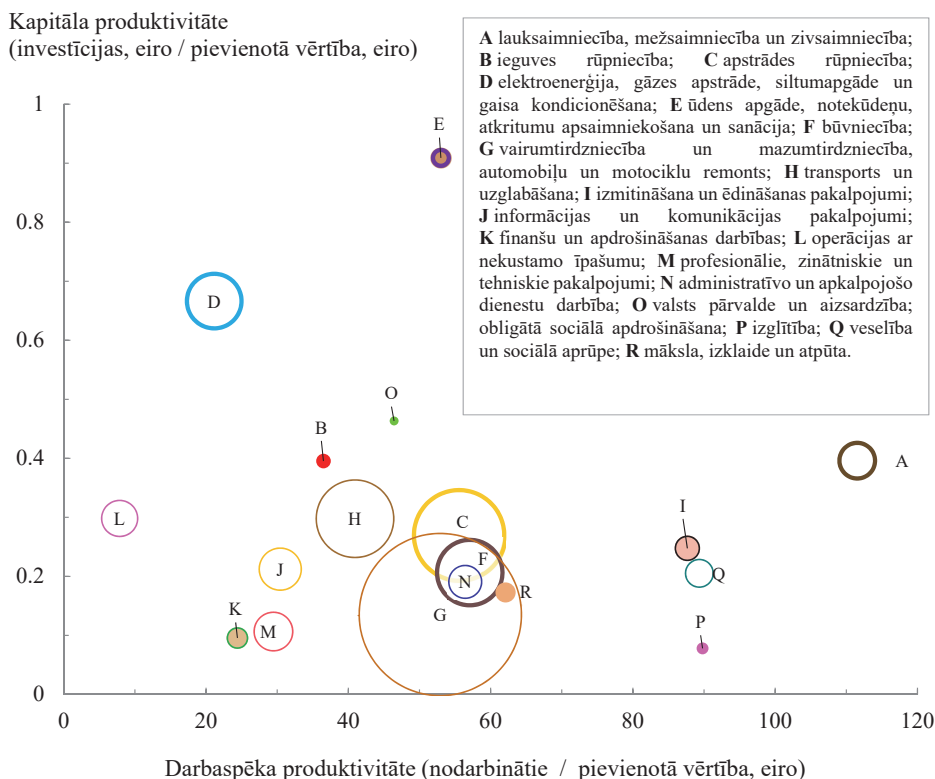
Katrā no darba posmiem izmantotas vairākas pētniecības metodes un to savstarpējās kombinācijas, ko gan atsevišķi pa posmiem, gan kombinējot vairākus posmus kopā, – iespējams pielāgot un aprobēt citu valstu, tautsaimniecības nozaru un bioresursu biotehonomikas perspektīvajam attīstības izvērtējumam.

Promocijas darbā ir 100 lappuses, 47 attēli, 14 tabulas, 14 matemātiskās formulas un literatūras saraksts ar 147 literatūras avotiem.

1. PIRMAIS LĪMENIS – NACIONĀLAIS. BIOTEHONOMIKA LATVIJĀ

1.1. Latvijas biotehonomikas izvērtējums

Promocijas darbā tika veikts Latvijas tautsaimniecības nozaru izvērtējums, lai noteiktu kāda loma šobrīd ir un ar kādu efektivitāti strādā ar biotekonomiku visciešāk saistītās nozares, salīdzinot ar citām Latvijas tautsaimniecības nozarēm. Objektīvu rezultātu iegūšanai tika izmantoti divi indikatori: kapitāla produktivitāte (investīcijas (eiro) attiecinātas pret pievienoto vērtību (eiro)) un darbaspēka produktivitāte, izmantojot pārveidotu Koba–Douglasa (*Cobb–Douglas*) ražošanas funkciju (nodarbināto skaits attiecināts pret pievienoto vērtību (eiro)).

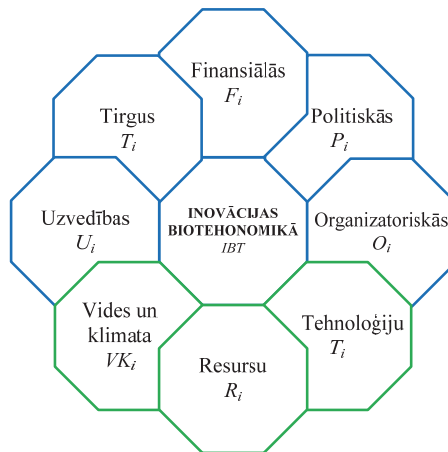


1.1. att. Kapitāla un darbaspēka produktivitāte biotehonomikas sektoros Latvijā laika periodā no 2008. līdz 2012. gadam vidējais apgrozījums, milj. eiro (dots kā riņķa līnijas lielums).

Iegūtajos rezultātos (1.1. att.) redzams, ka nevienai tautsaimniecības nozarei Latvijā nav izteikti augstākā investīciju un nodarbinātības intensitāte vienlaikus. Tomēr dažādām tautsaimniecības nozarēm ir dažāda efektivitāte un nav vērojama tendence, ka kāda no industrijām būtu izteikti kapitāla vai darbaspēka ietilpīga. Ar biotekonomiku visciešāk ir saistīta lauksaimniecības, mežsaimniecības un zivsaimniecības nozare (A), kurā, salīdzinot ar citām nozarēm Latvijā, ir viszemākā darbaspēka nodarbinātības efektivitāte un vidēji liela kapitāla produktivitāte. Tas liecina, ka Latvijai vēl ir daudz darba biotehonomikas attīstībai. Šī ir nozare, kurā tiek nodarbināta liela daļa darbaspēka, kas ir pozitīvs faktors un to nav pamats samazināt. Bet tas netiek darīts efektīvi, jo ieguvums gan mikroekonomikas, gan makroekonomikas līmenī ir pārāk mazs. Biotehonomikas kontekstā lauksaimniecības, mežsaimniecības un zivsaimniecības nozarei (A) būtu jābūt ciešā saistē ar apstrādes rūpniecības nozari (C), pirmajai kā bioresursu ilgtspējīgai ražotājai, otrai – kā šo resursu ilgtspējīgai pārstrādātāji patērētājam nepieciešamajos produktos, tajā skaitā arī produktos ar augstu pievienoto vērtību.

1.2. Biotehonomika un inovācijas

Biotehonomika apvieno bioresursu ieguves tehnoloģijas un biotehnoloģiju lietojumu to apstrādei un pārstrādei, izmantojot inovatīvas un modernas tehnoloģijas, lai iegūtu jaunu produktu ar pievienotu vērtību [9]. Būtībā inovācija ir tas, kas tautsaimniecībā nošķir no biomasas pēc biotehonomikas principiem ražotus produktus no pārējiem biomasas produktiem [11, 12]. Latvijā pieņemtajā inovācijas jēdzienā inovācija ir process, kurā jaunas zinātniskās, tehniskās, sociālās, kultūras vai citas jomas idejas, izstrādes un tehnoloģijas tiek īstenotas tirgū pieprasītā un konkurētspējīgā produktā vai pakalpojumā [13]. Jau šajā oficiālajā definīcijā ir iekļauts, ka inovāciju veidošanas – procesu, ietekmē daudzi šķēršļi. Līdz ar to tie ietekmē arī biotehonomikas attīstību. Šajā promocijas darbā tika identificēti šķēršļi biotehonomikas inovāciju attīstībai, ņemot vērā Latvijas reālo situāciju. Lai izvērtētu Latvijas biotehonomikas inovāciju attīstību ietekmējošos šķēršļus, veikta literatūras analīze par dažādās nozarēs identificētajiem šķēršļiem. Promocijas darbā lietotā metode izstrādāta iedvesmojoties no veiktajiem pētījumiem par šķēršļiem energoefektivitātē [14, 15, 16] un industriālajā simbiozē [16, 17, 18].



1.2. att. Biotehonomikas inovāciju ietekmējošo šķēršļu veidi.

Pamatojoties uz biotehonomikas pašreizējo situāciju Latvijā, identificēti astoņi galvenie biotehonomikas inovāciju ietekmējošo šķēršļu veidi: finansiālie, politiskie, tirgus, uzvedības, organizatoriskie, tehnoloģiju, resursu un vides un klimata (1.2. att.). Visi šie šķēršļu veidi ietekmē ne tikai biotehonomiku, bet arī savstarpēji cits citu. Atšķirībā no šķēršļiem citās koncepcijās biotehonomikā būtiska loma ir tādiem šķēršļu veidiem kā resursi, tehnoloģijas, vide un klimats. Pārējo šķēršļu ietekme ir identificēta arī vairumā citās nozarēs līdz šim veikto pētījumu. Kopējo šķēršļu ietekmi uz biotehonomikas inovāciju attīstību var izteikt ar funkcionālu sakarību (1. vienādojums):

$$\Sigma IBT = f(F_i; P_i; O_i; M_i; B_i; E C_i; R_i; T_i) \quad (1.)$$

Aplūkojot katru šķēršli atsevišķi, rodas secinājums, ka tie visi ir savstarpēji saistīti, bet galvenokārt orientēti uz finansiāliem un resursu šķēršļiem. Tāpēc tiek pieņemts, ka, atrisinot finansējuma pieejamību biotehonomikas inovāciju attīstībai un komercializācijai un radot inovatīvus, ilgtspējīgus un ekonomiski pamatotus vietējo bioresursu izmantošanas veidus, inovācijām Latvijas biotehonomikas nozarēs būs nākotne.

Lai nodrošinātu biotehonomikas attīstību un ilgtspējīgu bioresursu izmantošanu produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai, viens no priekšnosacījumiem ir starpdisciplināra sadarbība [19]. Latvijā nepieciešama mērķtiecīga inovāciju komercializācija, t. i., inovāciju pārnese no idejas līdz patērētājam pieejamam produktam (1.3. att.). Šī starpposma iztrūkums ir viens no lielākajiem šķēršļiem biotehonomikas attīstībā. Ņemot vērā, ka Latvijai pieejami pārsvarā tikai bioresursi, būtu jāizstrādā *start-up* pasākumi un politiskie instrumenti, kas sniegtu atbalstu tieši biotehonomikas inovāciju attīstībai.



1.3. att. Uz zināšanām balstītu inovatīvu bioproduktu izstrādes posmi [9].

Inovatīva un zinātniski pamatota biotehnoloģiju ieviešana saistīta ar prasību, kas ir izvirzīta jauna, uz zināšanām balstīta, inovatīva produkta ražošanai (ieskaitot pakalpojuma sniegšanu), kuram ir nodrošināta augstāka pievienotā vērtība. Tas ir saistīts ar divām jomām: bioresursu efektīvu ieguvu un lietderīgu sagatavošanu un ar bioresursu apstrādes un pārstrādes tehnoloģiju izstrādi un lietojumu. Uz zināšanām balstīta bioresursu izmantošana ir saistīta ar cilvēkresursiem, kam katrā inovatīvu bioproduktu ieviešanas posmā ir noteikta loma.

2. OTRAIS LĪMENIS – NOZARES. BIOTEHONOMIKA MEŽSAIMNIECĪBĀ

Latvijas lielākais dabas resurss ir meži, jo tie aizņem vairāk nekā pusi valsts teritorijas [20]. Lai gan mežs ir atjaunojams resurss, mēs nedrīkstam izturēties pret šo resursu nesaimnieciski, jo tie neatjaunojas tik ātri kā lauksaimniecības kultūraugi, ir nozīmīga ekosistēma bioloģiskās daudzveidības saglabāšanai un absorbē būtisku daudzumu CO₂. Latvijā vērojama tendence, ka liela daļa apaļkoksnes tiek eksportēta, nevis izmantota Latvijā produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai un lielāka ekonomiskā un sociālā labuma gūšanai un ražošanai [21, 22]. Meža nozares kopējais ieguldījums pievienotajā vērtībā Latvijā ir tikai 5,9 %, neskatoties uz to, ka tās īpatsvars IKP (faktiskajās cenās) ir apmēram 62 %. Tas nozīmē, Latvijā koksnes resursi maz tiek izmantoti produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai [23]. Tāpēc Latvijā ir akūta nepieciešamība meža biomasu izmantot inovatīvu produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai. Ar to tiek domāti produkti, kas nes pēc iespējas lielāku sociālo un ekonomisko labumu valstiskā līmenī, rada ekodizaina principiem atbilstošu produktu, tiek ražoti, ievērojot ilgtspējības principus un racionālu dabas resursu izmantošanu. No tā izriet, ka kurināmā ražošana no meža biomasas nav uzskatāms par produkta ar augstu pievienoto vērtību radīšanu, jo no meža biomasas iespējams iegūt ne tikai klasiskos koksnes produktus (piem., būvmateriālus, mēbeles, sadzīves priekšmetus) un kurināmo, bet pat pārtikas izejvielas (piem., glikoze, ciete, ksilāna atvasinājumi), zivju un dzīvnieku barību, tekstilizstrādājumus un plašu klāstu ķīmisko savienojumu. Ilgtspējīga un biotehonomikas principiem atbilstoša meža biomasas izmantošanas attīstīšana nenozīmē līdzšinējo meža biomasas izmantošanas veidu noniecināšanu un aizstāšanu. Par bioekonomikas pamatu tiek uzskatīta biomasas biorafinērija, kas ietver biomasas pārvēršanu pārdodamos bioproduktos (pārtika, barība, ķīmikālijas un/vai materiāli) un bioenerģijā (biodeģvielas, elektroenerģija, siltumenerģija) [24, 25].

Ņemot vērā, ka mežu resursi ir Latvijas lielākā bioresursu bagātība, šajā promocijas darbā biotehonomikas kontekstā uzmanība pievērsta tieši šai bioresursu daļai un to izmantošanas iespējām. Latvijas mežsaimniecības un mežizstrādes izvērtējums veikts, balstoties uz statistikas datu analīzi un nozares stipro un vājo pušu, iespēju un draudu novērtējumu (SVID analīze).

2.1. Biotehonomikas ieviešanas iespējas mežsaimniecībā Latvijā

Promocijas darbā tiek piedāvāta kombinēta metode, lai, izmantojot kartēšanu un indikatoru analīzes metodi, izvērtētu biotehonomikas attīstības virzienus un noteiktu tiem piemērotākos reģionus. Ar šīs metodes palīdzību tiks meklēta atbilde uz jautājumu, kur un uz kādiem mežu resursiem orientētu koksnes resursu pārstrādes rūpnīcu Latvijā vislabāk veidot, lai tiktu ievēroti biotehonomikas pamatprincipi. Šajā metodoloģijā tiek kombinēta faktoru, indikatoru, korelācijas un regresijas analīzes metodes un kartēšana (2.1. att.). Tādējādi iegūstot vizuāli uzskatāmu rezultātu pētāmajam jautājumam – kuros reģionos valsts līmenī attīstīt kādus biotehonomikas virzienus un orientējoties uz kādiem bioresursiem. Šo biotehonomikas indikatoru kartēšanas metodi iespējams pielāgot un izmantot jebkurai valstij vai reģionam un tajā esošajām biotehonomikas nozarēm, kas izmantotu jebkāda veida bioresursus.



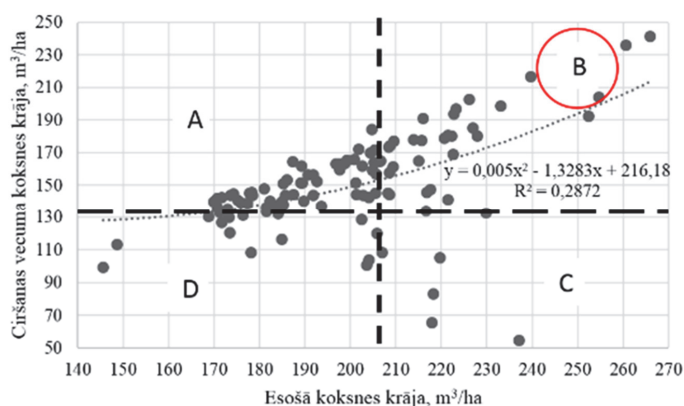
2.1. att. Metodoloģijas algoritms.

Šī metodoloģijā tika aprobēta uz Latvijas mežu koksnes resursiem balstītas rūpniecības izveides perspektīvākās vietas izvērtējumu. Lai noteiktu kādas konkrētas tautsaimniecības nozares attīstības perspektīvas biotehonomikas kontekstā, jautājums tiek vērtēts kompleksi, ņemot vērā tādus galvenos biotehonomikas attīstību ietekmējošos faktorus kā ekonomiski pamatota resursu pieejamība (tagad un nākotnē), pašreizējā nozares attīstība, ar ko vienlaikus tiek noteikta arī konkurence pēc resursiem, un darbaspēka pieejamība, kas ir īpaši aktuāls jautājums lauku reģionos. Pēc reģionālās biotehonomikas ietekmējošo faktoru analīzes tika izstrādāts indikatoru saraksts. Tiem un statistikas datiem tika veikta korelācijas un regresijas analīze, lai noteiktu dažādu faktoru savstarpējo mijiedarbību. Balstoties uz šo analīzi, tika atlasīti pieci indikatori (2.1. tab.), kas tika kartēti ar *ArcGIS* programmu Latvijas kartē, par mazāko kartes vienību izvēloties novada teritoriju (kopā 110 novadu). Lai noteiktu visu aplūkoto indikatoru un to attiecību kopējo ietekmi piemērotākā novada izvēlē jaunas koksnes resursu izmantojošas ražotnes izveidei, tika izmantota daudzkritēriju analīzes *TOPSIS* metode, katram indikatoram piešķirot svaru (2.1. tab.).

2.1. tabula

Nr.	Indikators	Svars
1	Ciršanas vecumu sasnieguši koksnes krāja uz 1 ha attiecībā pret esošo koksnes krāju	0,3
2	Esošā lapu koksnes krāja uz 1 ha attiecībā pret esošo skuju koku koksnes krāju uz 1 ha	0,1
3	Kokapstrādes un koksnes produktu ražošanas uzņēmumu skaits uz ciršanas vecuma koksnes krāju 1 ha attiecībā pret ciršanas vecuma koksnes kopējo krāju	0,2
4	Bezdarbnieku skaits attiecībā pret ciršanas vecuma koksnes krāju uz 1 ha	0,2
5	Bezdarbnieku skaits uz ciršanas vecuma koksnes krāju 1 ha attiecībā pret kokapstrādes un koksnes produktu ražošanas uzņēmumu skaitu	0,2

Kā piemērs izmantotajai metodoloģijai tiks parādīta 1. indikatora analīze. 2.2. attēlā redzams, ka starp diviem indikatoriem – ciršanas vecumu sasniegušo koksnes krāju uz 1 ha attiecībā pret esošo koksnes krāju uz 1 ha – pastāv vāja korelācija ($R^2 = 0,287$).

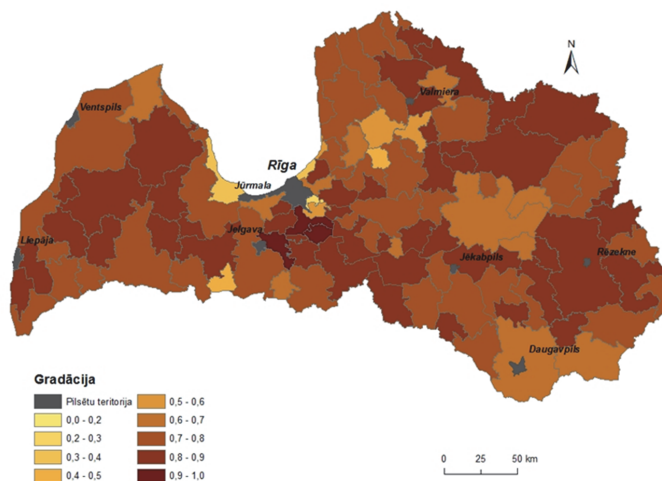


2.2. att. Indikatoru korelācijas – regresijas analīze: ciršanas vecumu sasnieguši koksnes krāja m^3 uz 1 ha attiecībā pret esošo koksnes krāju m^3 uz 1 ha.

Sadalot šo grafiku četros kvadrantos, iespējams noteikt, kuros reģionos vienlaikus izpildās divi priekšnoteikumi, lai pateiktu, vai būs pieejams pietiekams koksnes resursu daudzums produktu ražošanai. Tie ir – pēc iespējas lielāka esošā īpatnējā koksnes krāja (m^3 koksnes uz ha meža zemes) un

īpatnējā ciršanas vecumu sasnieguši koksnes krāja (m^3 ciršanas vecumu sasnieguši koksnes uz ha meža zemes). B kvadrantā atrodas tie reģioni, kuros no esošās koksnes krājas lielākā daļa ir sasniegusi ciršanas vecumu. Tas nozīmē, ka tieši šādos reģionos ir vērts veidot jaunas rūpnīcas produktu ražošanai no koksnes, jo būs pieejamas ražošanas procesam nepieciešamie resursi.

Indikatoru attiecības novadu mērogā attēlojot Latvijas kartē (2.3. att.), uzskatāmi redzams, kuri reģioni no koksnes resursu pieejamības viedokļa, būtu vispiemērotākie (jo lielāks gradācijas skaitlis, kas apzīmēts ar tumšāku krāsu, jo piemērotāks reģions) jaunas ražotnes izveidei produktu ražošanai no koksnes. Tie ir Baldones, Ozolnieku, Ķekavas, Alsungas un Iecavas novadi. Vismazākā ciršanas vecuma koksnes krāja ir palikusi Stopiņu, Engures, Carnikavas, Tērvetes un Līgatnes novados.



2.3. att. Ciršanas vecumu sasnieguši koksnes krāja uz 1 ha attiecībā pret esošo koksnes krāju uz 1 ha.

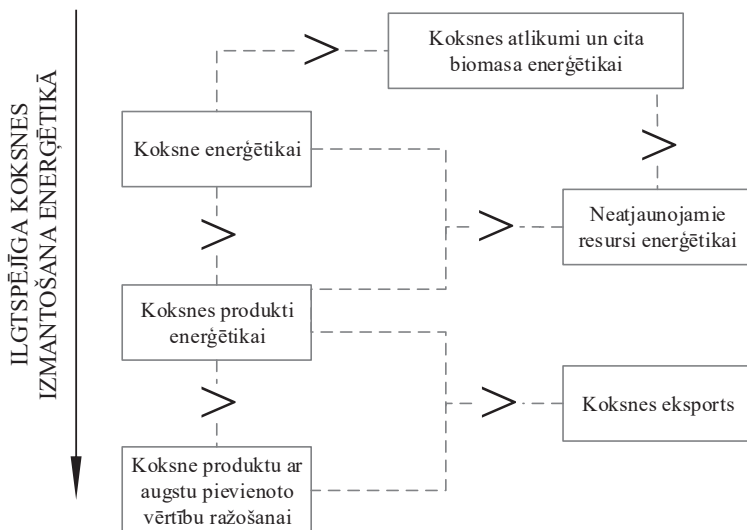
Tādā veidā tiek analizēti pārējie četri indikatori (2.1. tab.). Iegūtās indikatoru skaitliskās vērtības tiek izmantotas daudzkritēriju analizē. Daudzkritēriju analizē rezultāti liecina, ka uz meža bioresursiem balstītai ražotnei piemērotākā atrašanās vieta būtu Rēzeknes, Madonas, Daugavpils, Garkalnes, Kuldīgas vai Talsu novadā. Savukārt visnepiemērotākais ir Stopiņu novads. Iegūtajiem rezultātiem ir indikatīvs raksturs. Izstrādātā un izmantotā metode uzskatāma par labu aptuvenās uz meža bioresursiem balstītas ražotnes potenciālās atrašanās vietas noteikšanai, lai varētu veikt detalizētāku analīzi konkrētā novadā.

2.2. Mežizstrādes atlikumu izmantošana enerģētikai

Eiropas Savienības mēroga plānošanas dokumenti nosaka, ka nepieciešams palielināt atjaunojamo energoresursu izmantošanas energosektorā īpatsvaru līdz 20%, lai samazinātu fosilo resursu izmantošanu [26, 27]. Šajā kontekstā būtiska loma ir biomasai kā energoresursam [28, 29]. Tas nozīmē, ka palielināsies bioresursu izmantošana enerģētikā [28, 30]. Paralēli tam strauji tiek attīstīta bioekonomikas koncepcijas ieviešana dzīvē [2, 31]. No vienas puses, tas nozīmē, ka bioresursi jāizmanto enerģētikā, bet, no otras puses, ierobežo bioresursu izmantošanu, jo nosaka, ka tie ir jāizmanto ilgtspējīgi. Ar ilgtspējīgu bioresursu izmantošanu saprotot ne tikai resursu efektivitāti, ka no resursa ilgtspējīgā veidā jāgūst maksimāli liels labums visā tā dzīves cikla laikā [32], bet arī, to, ka lauksaimniecības zemes tiek izmantotas pārtikas kultūraugu audzēšanai, nevis enerģētiskajām kultūrām un no bioresursiem tiek ražoti produkti ar augstu pievienoto vērtību nevis izmantoti kā kurināmais [2]. Cenšoties sasniegt vienu ES izvirzīto mērķi, var nonākt pretrunā ar citu izvirzīto mērķu un koncepciju sasniegšanu. Domājot par bioresursu ilgtspējīgu izmantošanu, no vienas puses nepieciešams palielināt bioresursu izmantošanu energosektorā, no, otras puses, – bioresursi jāizmanto ilgtspējīgi, kas nozīmē bezatlikumu izmantošanu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai, kas neietver bioresursu izmantošanu par klasisku kurināmo (piemēram, malka, šķelda, granulas, briketes). Turklāt nevar aizmirst par to, ka pastiprināta bioresursu izmantošana nedrīkst atstāt negatīvu ietekmi uz bioresursu primāro izmantošanu (it sevišķi pārtikai un barībai), noplicināt bioloģisko daudzveidību, degradēt vai

piesārņot vidi, samazināt nākotnē pieejamo bioresursu daudzveidību vai jebkādā citā veidā atstāt negatīvu ietekmi.

Domājot par meža resursu ilgtspējīgu izmantošanu biotehonomikas kontekstā energosektorā, kā galvenais priekšnoteikums tiek izvirzīts, lai produkti no koksnes enerģijas ražošanai tiek izmantoti tikai tādi koksnes resursi vai to pārstrādes atlikumi, ko nav iespējams izmantot citu produktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošanai. Paralēli jāņem vērā tas, lai koksnes produktu un pārstrādes atlikumu izmantošana energosektorā būtu lielāka nekā fosilo resursu izmantošana energosektorā un eksportēta tiktu nevis neapstrādā koksne, bet jau gatava produkcija, kas nodrošinātu uz biotehonomikas pamatprincipiem balstītas Latvijas tautsaimniecības attīstību (2.4. att.). Lai ievērotu ilgtspējīgas mežu apsaimniekošanas principus un ar intensīvu meža biomasas izmantošanu nenoplicinātu meža augsni, mežā būtu jānogādā atpakaļ biomasas pelni, kas paliek pāri pēc koksnes energoresursu sadedzināšanas. Ja ievērotu visus iepriekš minētos priekšnoteikumus, būtu iespējams veidot noslēgtu meža bioresursu izmantošanas ciklu, apmierināt pieprasījumu pēc atjaunojamajiem bioenergoresursiem un produktiem ar augstāku pievienoto vērtību, lai gūtu lielāku ekonomisko un sociālo labumu, nenodarot kaitējumu videi un nodrošinot resursu pieejamību ilgtermiņā.



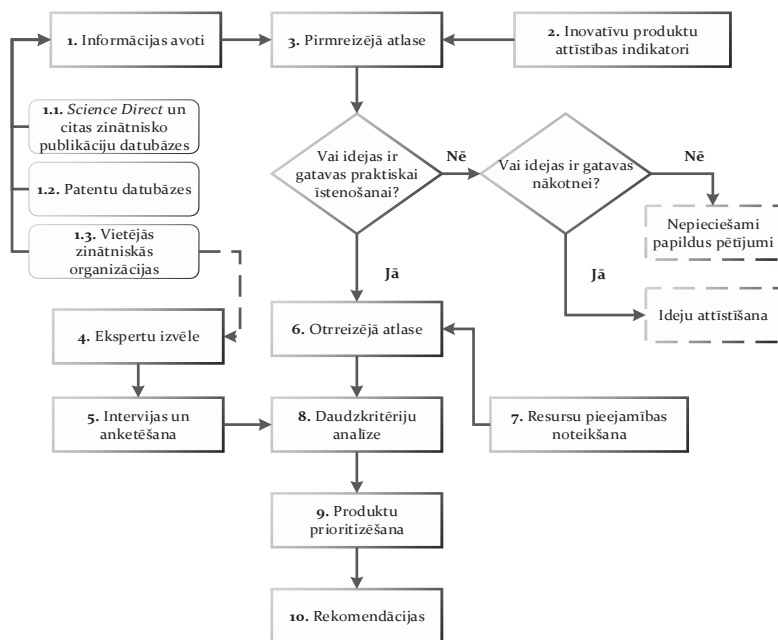
2.4. att. Ilgtspējīga koksnes izmantošana enerģētikai.

Galvenais ieguvums no meža resursu ilgtspējīgas izmantošanas energosektorā ir – maksimāli liels meža resursu apjoms tiek izmantots produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai, kā rezultātā daļēji tiek aizstāti fosilie resursi produktu ražošanai, samazināts emisiju daudzums no mežsaimniecības ar oglekļa uzkrāšanu koksnes produktos, veicināta vietējo resursu izmantošana un importēto resursu un produktu samazinājums, kā arī koksnes produktu ar augstāku pievienoto vērtību eksporta palielināšana, kā rezultātā tiek veicināts sociālais, ekonomiskais, vides un klimata ieguvums valsts līmenī

2.3. Mazvērtīgās koksnes un mežizstrādes atlikumu izmantošana produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai

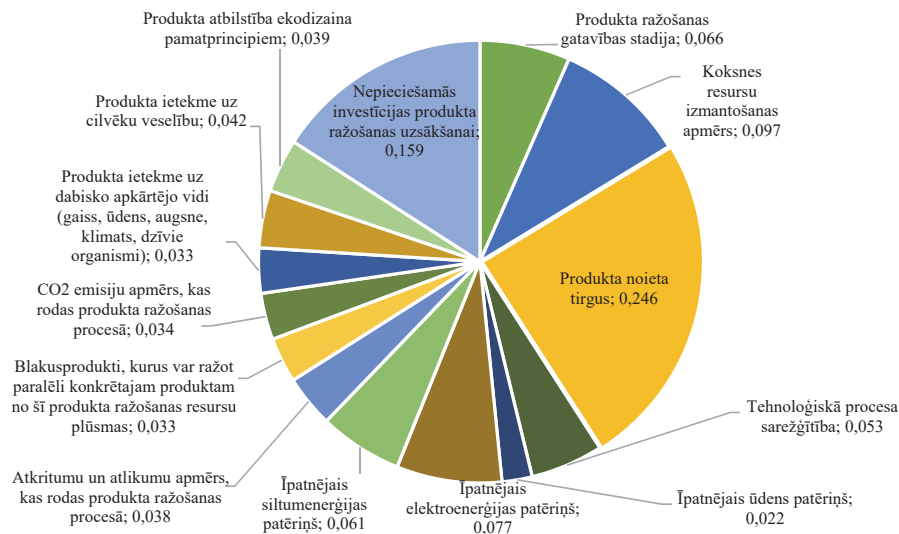
Lai izvērtētu mazvērtīgās koksnes un mežizstrādes atlikumu izmantošanas iespējas atbilstoši biotehonomikas principiem produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai potenciālu, promocijas darbā veikts pētījums, kura laikā apzināti inovatīvi produkti ar augstu pievienoto vērtību no meža biomasas un izvērtēts 30 inovatīvu produktu komercializācijas potenciāls Latvijā. Šī promocijas darba sadaļa ir uzskatāma par pirmo soli (priekšizpēti), lai identificētu perspektīvākos inovatīvos produktus no meža biomasas, ko varētu ražot Latvijā. Tas sniedz ieskatu, cik plašs ir inovāciju ieviešanas problēmu diapazons un apliecina, ka tās visas ir bioekonomikas modeļa sistēmas sastāvdaļas. Šī sadaļa veikta AS “Latvijas valsts meži” (LVM) pasūtītā pētījumā “Meža biomasas – jauni produkti un tehnoloģijas” (2016).

Lai pētījumā varētu atlasīt biotehonomikas principiem un izvēlētajiem resursiem atbilstošus inovatīvus produktus ar augstu pievienoto vērtību, tika izstrādāta metodika un algoritms, kas sastāv no 10 moduļiem (2.5. att.).



2.5. att. Metodoloģijas algoritms.

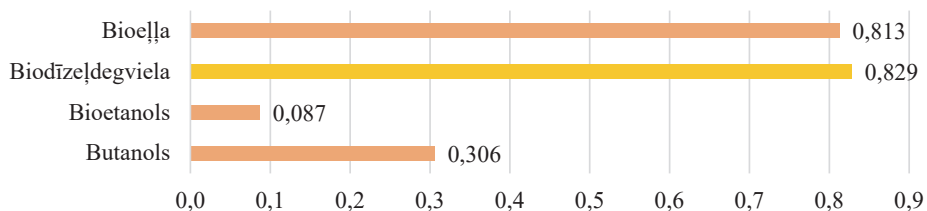
Anketējot 24 ar meža nozari, inovācijām un meža biomasas izmantošanu produktu ražošanai saistītus ekspertus, tika noteikts daudzkritēriju analīzei nepieciešamo kategoriju un indikatoru svars (2.6. att.). Inženiertehnisko rādītāju kategorijai svars tika noteikts 30,8 %, ietekmes uz vidi un klimatu rādītāju kategorijai 28,7 %, ekonomiskajiem rādītājiem 40,5 %.



2.6. att. Daudzkritēriju analīzes indikatoru svara noteikšanas rezultāti.

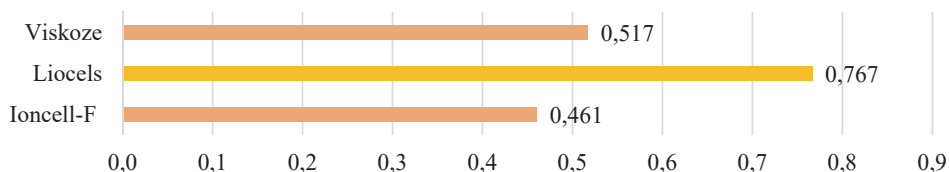
Daudzkritēriju analīzes rezultāti (2.7. att.) produktiem enerģētikas sektorā parāda, ka vislielākais komercializācijas potenciāls ir biodīzeļdegvielai (0,829) un bioeļļai (0,813). Daudz zemāks vērtējums

ir butanolam (0,306), bet ļoti zems komercializācijas potenciāls ir bioetanolam (0,087). Ņemot vērā, ka no bioeļļas var ražot biodīzeļdegvielu, šos abus produktus var ražot vienlaikus un atkarībā no pieprasījuma bioeļļu realizēt kā starpproduktu vai pārstrādāt biodīzeļdegvielā.



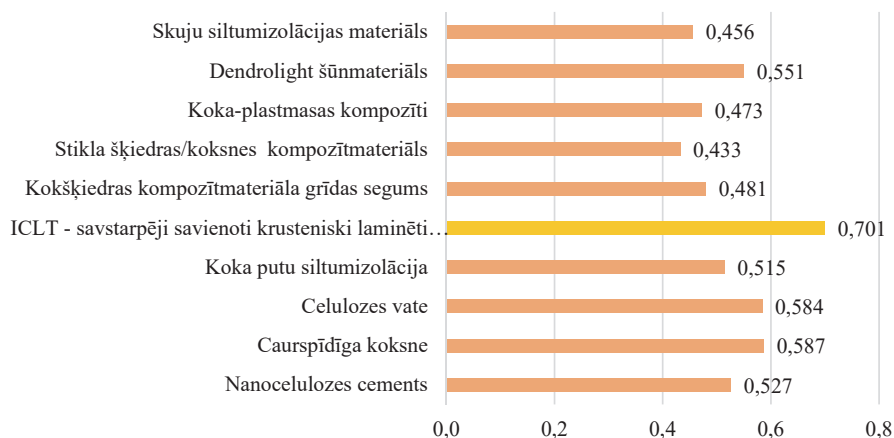
2.7. att. Komercializācijas potenciāla noteikšanas daudzkritēriju analīzes rezultāti enerģētikas nozares produktiem.

Tekstilrūpniecības nozarē tika savstarpēji salīdzināti trīs veidu tekstilizstrādājumi, kurus var izgatavot no koksnes – viskoze, liocels (*lyocell*) un ioncels (*ioncell-F*). Pēc iegūtajiem daudzkritēriju analīzes rezultātiem redzams, ka vislielākais komercializācijas potenciāls ir liocelam (0,767), bet mazāks viskozei (0,517) un ioncelam (0,461) (2.8. att.).



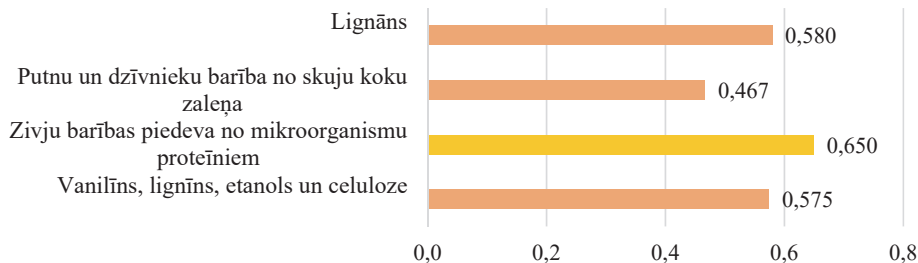
2.8. att. Komercializācijas potenciāla noteikšanas daudzkritēriju analīzes rezultāti tekstilrūpniecības nozares produktiem.

Salīdzinoši daudz inovatīvu produktu no meža biomasas joprojām ir tādā tradicionālā koksnes izmantošanas nozarē kā būvniecība, tāpēc arī sadaļā par inovatīviem biokompozītmateriāliem un būvmateriāliem ir tik liels inovatīvo produktu klāsts. Pēc daudzkritēriju analīzes rezultātiem visiem šiem produktiem ir vidēji augsts komercializācijas potenciāls (vidēji 0,55). Vienīgais produkts, kuram ir izteikti augstāks komercializācijas potenciāls, ir *ICLT* – savstarpēji savienoti krusteniski laminēti paneļi (*interlocking cross laminated timber*) (0,701) (2.9. att.).



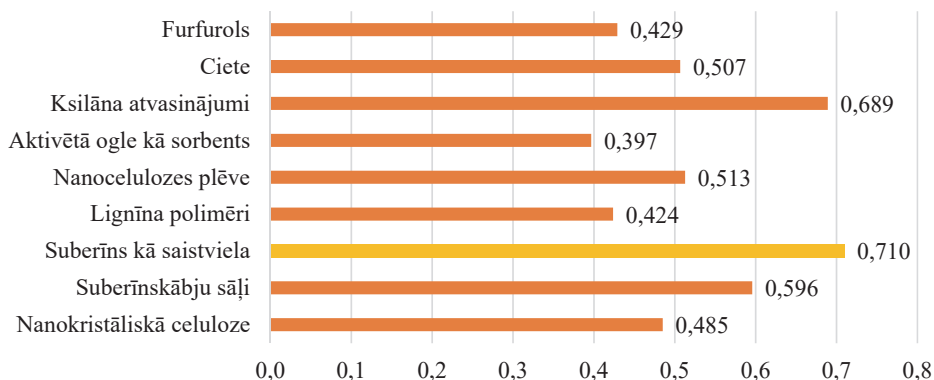
2.9. att. Komercializācijas potenciāla noteikšanas daudzkritēriju analīzes rezultāti biokompozītmateriālu un būvmateriālu produktiem.

Pārtikas nozarē arī ir līdzīga situācija, jo vidējais produktu komercializācijas potenciāls ir vidēji augsts (0,57) (2.10. att.). Salīdzinoši labākais rezultāts ir zivju barības piedevai no mikroorganismu proteīniem (0,65).



2.10. att. Komercializācijas potenciāla noteikšanas daudzkritēriju analīzes rezultāti pārtikas nozares produktiem.

Sadaļā pie citiem inovatīvajiem produktiem no meža biomasas tika ietverti tie produkti, kas neatbilst iepriekš minētajām nozarēm vai arī tie ir plaši izmantojami dažādās nozarēs. Lielākā daļa šo produktu ir ķīmiskas vielas. Šos produktus savstarpēji salīdzinot ar daudzkritēriju analīzes metodi, redzams, ka vislielākais komercializācijas potenciāls ir suberīnam saistvielas ražošanai (0,71) (2.11. att.). Līdzīgs rezultāts ir ksilāna atvasinājumiem (0,689).



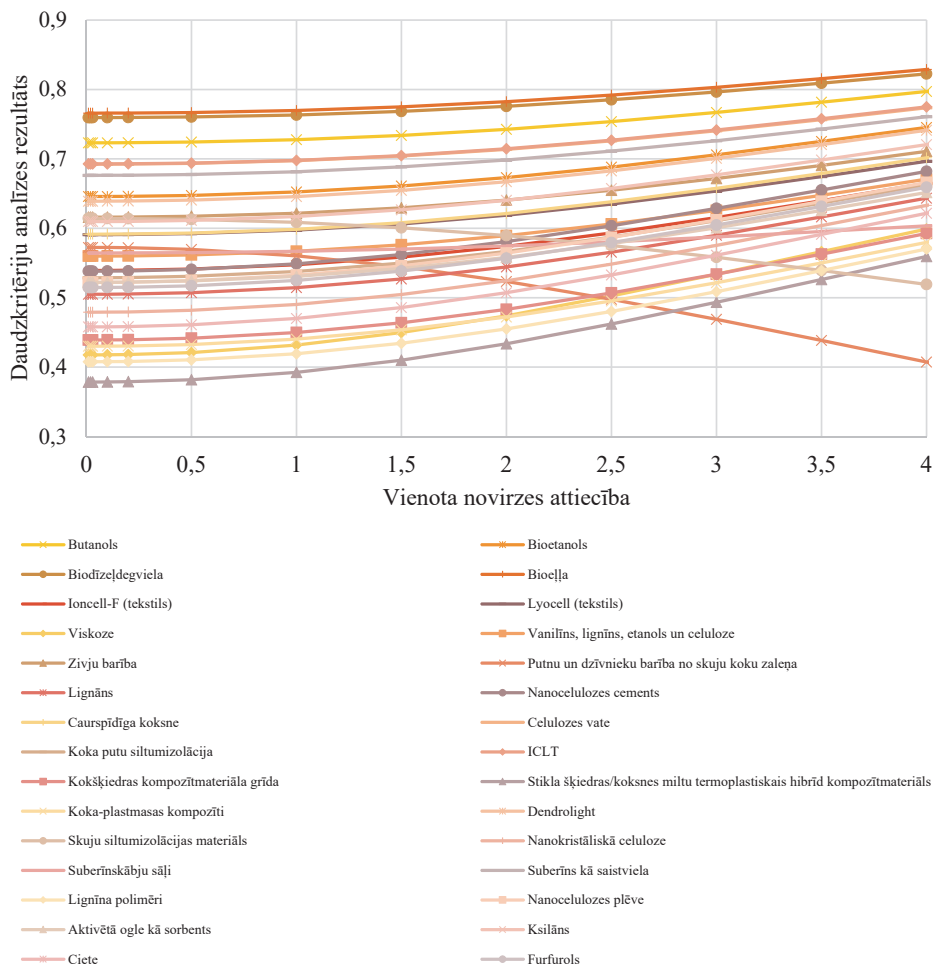
2.11. att. Komercializācijas potenciāla noteikšanas daudzkritēriju analīzes rezultāti citiem inovatīviem produktiem no meža biomasas.

Apkopojot daudzkritēriju analīzes rezultātus, redzams, ka vislielākais komercializācijas potenciāls ir biodīzeļdegvielai, bioeļļai, tekstilam no koksnes (liocelam) un suberīnam kā saistvielai. Saraksta pirmajā trijniekā ierindoja tie produkti, kuriem nav specifisku prasību attiecībā uz izejvielu (piemēram, konkrēta koku suga vai tikai kāda noteikta daļa no koka, piemēram, tikai miza) vai arī ir iespējams kombinēt vairākus produktus. Salīdzinoši augsts komercializācijas potenciāls ir *ICLT* (savstarpēji savienoti krusteniski laminēti paneļi), ksilāna atvasinājumiem un zivju barības piedevai no mikroorganismu proteīniem.

Turpmākajos pētījumos, izvērtējot šo perspektīvāko produktu ražošanas iespējas, veicot ekonomiskos, tehnoloģiskos un ietekmes uz vidi un klimatu aprēķinus, noteikti jāņem vērā iespējas šos produktus ražot kopā ar blakusproduktiem. Katram no šajā analīzē iekļautajiem produktiem ir savi plusi un mīnusi. Šī ir uzskatāma tikai par priekšizpēti, lai no attiecīgās nozares izvēlētos produktus ar visaugstāko komercializācijas potenciālu. Pilnvērtīgai inovatīvu produktu komercializācijas potenciāla noteikšanai papildus jāveic detalizētāka analīze (ekonomiskā analīze, tirgus noiets, ietekme uz vidi un klimatu).

Daudzkritēriju analīzes rezultāti atkarīgi no matricā izmantoto indikatoru svāriem. Ar tiem tiek ietverts ekspertu viedoklis par to, cik būtisks ir katrs indikators salīdzinājumā ar citiem. Tādēļ pastāv iespējamība, ka, veicot līdzīgu analīzi citos apstākļos, rezultāti būtu savādāki. Tāpēc tika veikta jutības

analīze [33] pēc ekspertu viedokļa diviem būtiskākajiem indikatoriem – produkta noieta tirgus un nepieciešamajām investīcijām produkta ražošanas uzsākšanai, lai noteiktu, kā šo faktoru svāra izmaiņas ietekmētu produktu komercializācijas potenciāla noteikšanas daudzkritēriju analīzes gala rezultātu. Promocijas darba kopsavilkumā iekļauta tikai būtiskākā indikatora – produkta noieta tirgus, jutības analīze (2.12. att.).



2.12. att. Jutības analīzes rezultāti produktu noieta tirgus indikatoram.

Jutības analīzes rezultāti parāda, ka noieta tirgus indikatora svāra izmaiņas galvenokārt atstāj pozitīvu ietekmi uz daudzkritēriju analīzes rezultātiem. Tikai dažiem produktiem – putnu un dzīvnieku barībai no skuju koku zaleņa un siltumizolācijas materiālam no skuju koku zaleņa – daudzkritēriju analīzes rezultāts var pasliktināties. Šajos gadījumos tas saistāms ar to, ka šiem produktiem pieejamais tirgus tika definēts tikai nelielā mērogā – kaimiņvalstīs: Baltijās un Skandināvijas valstīs.

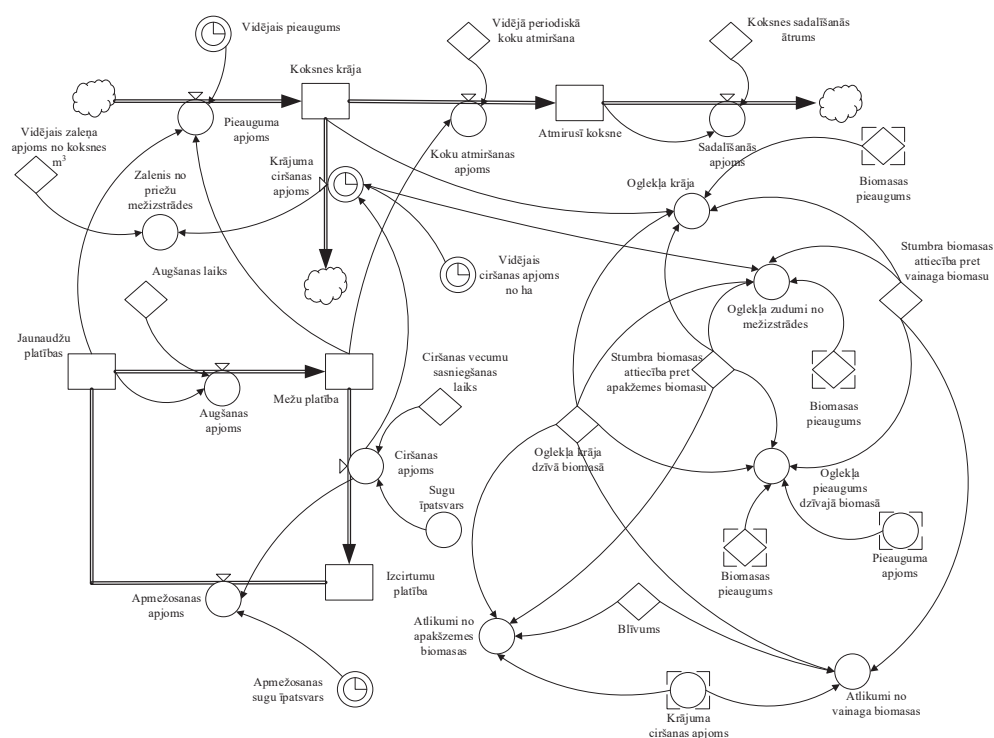
Izvērtējot 30 inovatīvu produktu no meža biomasas komercializācijas potenciālu Latvijā, izmantojot daudzkritēriju analīzes metodi, jāsecina, ka galvenās nozares jomas, kurās meža resursu pārstrādes uzņēmumiem ir perspektīva darboties, ir enerģētikas, tekstilrūpniecība un ķīmijas nozare. Noskaidrots, ka šo nozaru produktiem (konkrētāk – tekstils no koksnes (liocels), bioeļļa un biodīzeļdegviela un tādi ķīmiski savienojumi kā ksilāns un suberīns) Latvijā ir ar vislielāko komercializācijas potenciālu. Šajās nozarēs Latvijas zinātniekiem ir ieteicams koncentrēties uz unikālu, efektīvu un videi draudzīgu inovatīvo produktu izstrādes tehnoloģijām. Tādējādi arī pašas tehnoloģijas var kļūt par produktu vai ar šādu tehnoloģiju palīdzību kļūst reālākas iespējas sākt inovatīvu produktu ražošanu Latvijā.

3. TREŠAIS LĪMENIS – RESURSU. NEPILNĪGI IZMANTOTI MEŽU RESURSI

Latvijā mežsaimniecībā joprojām netiek ilgtspējīgi izmantoti visi mežu resursi. It sevišķi mežizstrādes atlikumi, kas lielos apjomos paliek mežā. Galvenais mežizstrādes atlikumu koksainās daļas izmantošanas veids ir mežizstrādes šķeldas ražošana, bet skuju parasti paliek izcirtumā, veidojot barības vielas. Līdz ar to tieši skuju no skuju koku mežizstrādes atlikumiem ir Latvijā nepilnīgi izmantots biomasas resurss. Šobrīd skuju un zalenis kā nekoksnes resurss tiek vērtēts Latvijas tautsaimniecībā kā maznozīmīgs [34].

Tāpēc šajā promocijas darbā kā gadījuma izpēti bioekonomikas attīstībai Latvijā, ražojot produktus ar augstu pievienoto vērtību no meža biomasas, tika izvēlēts izvērtēt iespējas ražot inovatīvus produktus no skuju koku zaleņa. Šajā darbā ar skuju koku zaleņi tiek apzīmēti mežizstrādes atlikumi no skuju kokiem (egles un priedes) – smalkie zari (diametrā ne lielāki par 5 mm) ar skujām. Šajā promocijas darbā aplūkotas tikai Priežu dzimtas (*Pinaceae*) zaleņa egļu (*Picea*) un priežu (*Pinus*) ģints zaleņa izmantošanas iespējas.

Literatūras analīze pierāda, ka pastāv daudz iespēju, kā ilgtspējīgi izmantot skuju koku mežizstrādes atlikumus. Bet nav zināms, cik daudz Latvijā to ir un vai šis resurss ir pietiekami lielā daudzumā, lai to izmantotu lielos apjomos citu produktu ražošanai, kā arī vai šis resurss būs pietiekams arī nākotnē, lai to izmantotu produktu ražošanai.

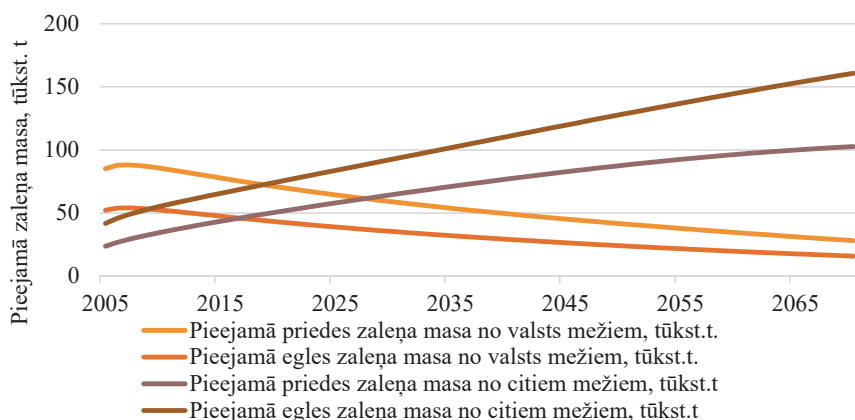


3.1. att. Plūsmu un krājumu diagramma skuju koku zaleņim no mežizstrādes atlikumiem.

Tādēļ šajā promocijas darbā noteikts skuju koku zaleņa iegūšanas potenciāls dinamiskā veidā, lai var prognozēt šī resursa pieejamības tendences nākotnē. Tam tika izmantota sistēmdinamikas (*system dynamics*) (SD) modelēšanas metode. SD modelī (3.1. att.) simulētas skuju koku izciršanas un atjaunošanas tendences, no kurām ir atkarīgs, kādos apjomos ir un būs pieejams skuju koku zalenis.

Balstoties uz vēsturiskajiem datiem, 2014. gadā tehnoloģiski pieejams bija apmēram 233 tūkst. tonnu skuju koku zaleņa, no kurām apmēram 112 tūkst. tonnas egļu zaleņa un 121 tūkst. tonnu priežu zaleņa. No 1 m³ egļu stumbra koksnes iespējams iegūt par 50 % vairāk zaleņa masas nekā no priedes, rezultātā no abām skuju koku sugām var iegūt gandrīz vienādu zaleņa daudzumu, neskatoties uz to, ka egļu koki tiek izcirsti vismaz par 50 % mazāk nekā priežu koki [35].

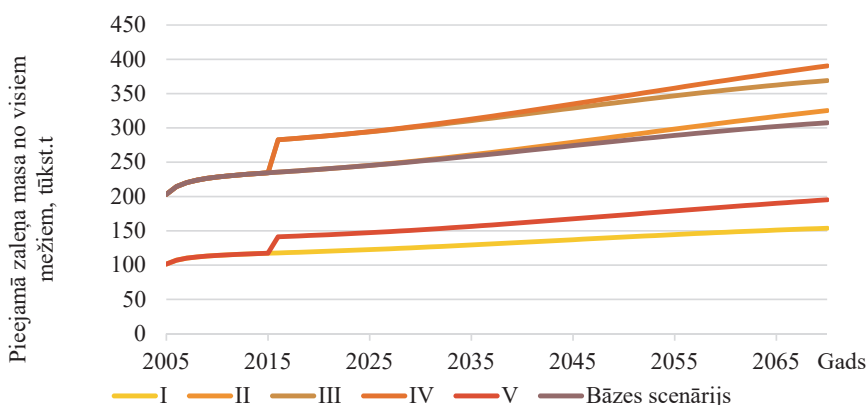
Uz vēsturiskajiem datiem un tendencēm balstītais scenārijs tiek pieņemts par bāzes scenāriju, kurā tika attēlots tehnoloģiski pieejamais priežu un egļu zaleņa daudzums, ko varētu iegūt no ikgadējiem mežizstrādes atlikumiem galvenajās cirtēs. SD modeļa bāzes scenārija rezultātos (3.2. att.) redzams, ka pie šī brīža mežsaimniecības tendencēm no mežizstrādes pieejamai skuju koku zaleņa masai no valstij piederošajiem mežiem ir tendence samazināties.



3.2. att. Pieejamā skuju koku zaleņa masa Latvijā no mežizstrādes valsts un pārējos mežos.

Balstoties uz bāzes scenāriju, tika modelēti pieci scenāriji, lai noteiktu skuju koku zaleņa apjoma potenciāla dinamiku produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai no 2016. līdz 2070. gadam:

- 1. scenārijs – no tehnoloģiski pieejamajiem skuju koku mežizstrādes atlikumiem rūpnieciskai ražošanai iegūst tikai 50 % zaleņa, bet pārējais apjoms paliek mežā;
- 2. scenārijs – tiek palielināti skuju koku stādīšanas apjomi par 20 %;
- 3. scenārijs – palielinās ciršanas apjomi par 20 %;
- 4. scenārijs – apvienoti 2. un 3. scenārijs, izvērtēts, kāda tendence vērojama skuju koku zaleņa apjoma pieejamībā, ja par 20 % palielinātos gan skuju koku izciršana, gan stādīšana;
- 5. scenārijs – apvienots 4. un 1. scenārijs, kad palielinoties gan skuju koku stādīšanai, gan ciršanai un līdz ar to arī iespējām iegūt vairāk skuju koku zaleņi, tiktu ievēroti ilgtspējīgas mežizstrādes principi un izcirtumos atstāti vismaz 50 % no tehnoloģiski pieejamā skuju koku zaleņa.



3.2. att. Skuju koku zaleņa pieejamība dažādos mežsaimniecības attīstības scenārijos.

Izvērtējot visus izstrādātos SD modeļa scenārijus (3.1. att.), redzams, ka vislielāko skuju koku zaleņa masas pieaugumu iespējams panākt 4. scenārija realizācijas gadījumā, kad palielina gan skuju koku ciršanas, gan stādīšanas apjomus. Pēc autores domām, vislabāk un visreālāk varētu notikt 5. scenārijam līdzīga attīstība skuju koku zaleņa pieejamajos apjomos. Jo, rodoties pieprasījumam pēc skuju koku zaleņa, vajadzētu palielināties arī piedāvājumam. Lai to nodrošinātu, noteikti palielināties skuju koku izciršanas apjomi, ko ierobežo pieejamais ciršanas vecuma skuju koku daudzums, un skuju koku stādīšanas apjomi. 50 % ieguves iespējas no tehnoloģiski pieejamā skuju koku zaleņa var netikt noteiktas kā ierobežojošais faktors ilgtspējīgas mežizstrādes nodrošināšanai, bet šis apjoms skaitliski varētu būt tas, cik daudz būtu iespējams iegūt no mežu īpašniekiem un mežizstrādes darbu veicējiem. Tāpēc. plānojot jaunu produktu ražošanu no skuju koku zaleņa un izvērtējot izejvielu pieejamību, maksimālais ar ko var rēķināties ir apmēram 117 tūkst. tonnas gadā (balstoties uz 5. scenārija rezultātiem 2015. gadā, kas aprēķināti no vēsturiskajiem datiem), bet nākotnē (uz 2070. gadu) apmēram ar 195 tūkst. tonnu. Līdz ar to, arī ievērojot ilgtspējīgu mežizstrādi, tehnoloģiski pieejamie skuju koku zaleņa apjomi ir un būs pietiekami daudz, lai tos izmantotu kā izejvielu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai.

4. CETURTAIS LĪMENIS – PRODUKTA. INOVATĪVS PRODUKTS – SKUJU SILTUMIZOLĀCIJAS MATERIĀLS

Baltoties uz literatūras analīzi par skuju koku zaleņa izmantošanu produktu ražošanai, tika konstatēts, ka lielākā skuju koku zaleņa vērtība slēpjas skuju vērtīgajā ķīmiskajā sastāvā. Tas nozīmē, ka vislielākais šī resursa izmantošanas potenciāls saistīts ar dažādu ķīmisko savienojumu izdalīšanu, kā rezultātā lielākā masas daļa no šī resursa paliktu pāri kā atlikums. Tāpēc, domājot par ilgtspējīgu bioresursu izmantošanu biotehonomikas kontekstā, nepieciešams rast inovatīvu lietojumu arī šai resursu plūsmai, lai no vienas resursu vienības gūtu vēl lielāku ekonomisko, sociālo, vides un klimata ieguvumu.

Promocijas darbā tiek izskatīta iespēja skuju koku zaleni no mežizstrādes atlikumiem vai skuju koku zaleni pēc apstrādes, lai iegūtu ķīmiskas vielas, izmantot inovatīva, biotehonomikas principiem atbilstoša produkta ražošanai. Tika konstatēts, ka šobrīd komerciāliem nolūkiem netiek ražots siltumizolācijas materiāls no skuju koku zaleņa. Promocijas darba izstrādes sākuma posmā (2013.-2014. gads) nebija pieejama arī neviena zinātniskā publikācija vai reģistrēts patents, kas apliecinātu, ka šāda veida produkta izgatavošana ir pētīta laboratorijas apstākļos. Tāpēc, bioresursu izmantošanas atbilstoši biotehonomikas principiem gadījuma izpētei tika izvēlēts pētīt skuju koku zaleņa izmantošanu siltumizolācijas materiāla izgatavošanai.

Promocijas darbā skuju siltumizolācijas materiāla izpētei tika veikti četri eksperimenti – trīs bija trīs faktoru eksperimenti un viens eksperiments – divu faktoru eksperiments (4.1. att.). Visiem eksperimentiem veikta eksperimentu plānošana un iegūto rezultātu analīze.



4.1. att. Eksperimentu shēma.

Eksperimentu laikā meklētas iespējas izveidot siltumizolācijas materiālu no egļu un priežu zaleņa gan bērtā veidā, gan plātnēs ar un bez saistvielas (paraugu piemēri 4.2. att.).



4.2. att. Skuju siltumizolācijas materiālu paraugi – granulveida (attēlā pa kreisi) un plātņveida (attēlā pa labi).

Visiem eksperimentiem tika veikta plānošana un rezultātu analīze, izmantojot *Statgraphic* programmu un matemātiskās modelēšanas metodes [36, 37]. Siltumizolācijas materiāla efektivitāti galvenais raksturojošais rādītājs ir siltumvadītspējas koeficients (λ , W/mK), tāpēc eksperimentos galvenais parametrs tika ņemts tieši šis rādītājs. Siltumvadītspējas koeficients tika aprēķināts no paraugiem veiktajiem siltuma plūsmas mērījumiem, izmantojot siltuma plūsmas mērītāju *Hukseflux DT01* (ievērojot ISO 9869 standartā noteiktās prasības) vai ar *Lasercomp* siltumvadītspējas noteikšanas iekārtu *FOX600* (atbilstoši standartam ISO 8301:2012). Izmantoti tikai tie mērījumu rezultāti, kuriem noteiktā mērījumu kļūda pie ticamības varbūtības 95 % (koeficients $\tau_{95} = 1,412$) pierādīja, ka visi mērījumu rezultāti ir ticami. Ar detalizētāku eksperimentu veikšanas aprakstu un iegūtajiem rezultātiem var iepazīties autores sagatavotajās zinātniskajās publikācijās, kas publicētas *SCOPUS* datubāzē indeksētos žurnālos (publikācijas nr. 7, 12, 13, 14).

Kā piemērs promocijas darbā veiktajiem eksperimentiem šajā kopsavilkumā tiks parādīts viens eksperiments par granulēta skuju siltumizolācijas materiāla izveidi.

Autores veiktajos eksperimentos tika noskaidrots, ka no skuju koku zaleņa izgatavotam plātņveida siltumizolācijas materiālam ($\lambda = 0,056$ W/mK) un brīvi bērtām egļu skujām ($\lambda = 0,037$ W/mK) ir konkurētspējīgs siltumvadītspējas koeficients ar citiem, plaši lietotajiem dabiskajiem siltumizolācijas materiāliem. Iepriekš aprakstītajā eksperimentā tika noskaidrots, ka siltumvadītspējas koeficients atšķiras brīvi bērtām egļu un priežu skujām. Atšķirība tika saistīta ar skuju un gaisa spraugu izmēru. Par to, kā siltumvadītspēju ietekmē materiālā izmantotā skuju koku suga, ja skuju koku zalenis ir samalts, pētījumi nav veikti. Tāpēc tika veikts eksperiments, lai noskaidrotu vai, izgatavojot siltumizolācijas materiālu no skuju koku zaleņa, ir jāņem vērā skuju koku suga un tā proporcija.

Veicot eksperimentu, atklājās vairākas problēmas. Būtiskākā no tām bija plātņveida materiāla sliktā liptspēja bez papildu saistvielām, kas apgrūtina tā transportēšanu, izmantošanu un ierobežo izmērus. Brīvi bērtām skuju koku skujām bija novērojama sadalīšanās un smalknes veidošanās, kas ir blīvāka, līdz ar to arī ar sliktāku spēju aizturēt siltumu. Kā risinājums šo problēmu novēršanai tiek izmēģināts granulveida berams siltumizolācijas materiāls no skuju koku zaleņa. Eksperimentam izvēlēti tikai trīs faktori, kas saistīti ar materiāla izgatavošanu un var tiešā vai netiešā veidā ietekmēt materiāla siltumvadītspēju: granulū izmērs (granulometriskais sastāvs), izmantotā skuju koku suga (egle vai priele) un tas, vai materiāls ir vai nav skalots un atkārtoti žāvēts pirms mērījumu veikšanas.

Iepriekš veiktu mēģinājumu laikā tika noskaidrots, ka šādas no malta skuju koku zaleņa un kartupeļu cietes saistvielas izgatavotas granulas, izmērcējot un dažas stundas paturot ūdenī, neizjūk. Atkārtoti tās izžāvējot sausas, to masa samazinās (vidēji 15,5 %), bet tilpums un forma nemainās. Tas liecināja, ka ar ūdeni no granulām tiek izskalotas smalkās daļiņas, kā rezultātā materiāls kļūst vieglāks un poraināks. Porainība ir ļoti būtisks siltumvadītspēju ietekmējošs faktors, jo labāk siltumu aiztur viegli un poraini materiāli. Tāpēc šajā eksperimentā kā trešais pārbaudāmais faktors tika ņemts vērā tas, vai granulas ir skalotas vai nav.

Iegūtie vidējie granulū siltumvadītspējas koeficienti, paraugu mitruma saturs un blīvums apkopots 4.1. tabulā. Redzams, ka paraugu siltumvadītspējas koeficienti ir amplitūdā no 0,0452 W/mK līdz 0,0916 W/mK. Vislabākais siltumvadītspējas koeficients ir smalkām (< 8 mm) skalotām un atkārtoti žāvētām egļu skuju granulām, bet vislielākais siltumvadītspējas koeficients ir lielām (> 16 mm) neskaloņām priežu skuju granulām. Granulū izmērs būtiski ietekmē berama materiāla siltumvadītspēju, jo no granulū izmēra ir atkarīgs, cik liels gaisa spraugas veidojas starp granulām. Jo tās lielākas, jo materiāla siltumvadītspējas koeficients ir lielāks. Tāpat labāk siltumu aiztur maza izmēra granulas.

Trīs faktoru eksperimenta plāns un iegūtie rezultāti

Nr.	Iegūtie rezultāti			Eksperimenta plāns		
	Siltumvadītspējas koeficients, W/mK	Mitruma saturs, %	Blīvums, kg/m ³	Granulometriskais sastāvs, mm	Suga	Skalotas vai neskalotas
1	0,067	5,24	205	<8	priede	neskalotas
2	0,077	4,63	175	>16	egle	skalotas
3	0,058	7,22	188	<8	priede	skalotas
4	0,045	3,53	170	<8	egle	skalotas
5	0,082	5,89	192	>16	egle	neskalotas
6	0,063	2,92	185	<8	egle	neskalotas
7	0,064	5,27	208	>16	priede	skalotas
8	0,092	9,68	225	>16	priede	neskalotas
9	0,065	6,64	203	8–16	0,5 egle / 0,5 priede	0,5 skalotas / 0,5 neskalotas
10	0,067	6,64	205			
11	0,069	6,64	205			

Veiktais eksperiments un iegūto datu analīze pierādīja, ka no skuju koku zaleņa izgatavotām granulām, kas tiek izmantotas par siltumizolācijas materiālu, siltumvadītspējas koeficientu būtiski ietekmē granulū izmērs (granulometriskais sastāvs) un tas, vai granulas ir vai nav skalotas. Ietekmi uz granulū siltumvadītspējas koeficientu atstāj arī skuju koku suga. Vislabākais siltumvadītspējas koeficients ($\lambda_4 = 0,045$ W/mK) bija materiālam, kas bija izgatavots no smalkām (< 8 mm), skalotām egļu zaleņa granulām.

Skalošanas rezultātā ievērojami samazinās granulū masa – vidēji 15,5 %, kas rada brīvi bērtu granulū blīvuma samazinājumu par 7,6–8,9 % (vidēji 8,2 %). Siltumvadītspējas koeficienta samazinājums katram paraugam ir ļoti atšķirīgs un tas nav proporcionāls masas un blīvuma samazinājumam. Vislielākais siltumvadītspējas koeficienta samazinājums novērojams lielajām priedes granulām, kurām bija vislielākais siltumvadītspējas koeficients.

Rezultātu regresijas analīze pierādīja, ka siltumvadītspējas koeficientu ietekmē blīvums ($R^2 = 0,603$), mitruma saturs ($R^2 = 0,63$) un granulū izmēram ($R^2 = 0,737$). Skuju koku sugai nav ietekmes uz materiāla siltumvadītspējas koeficientu ($R^2 = 0,123$). Skalotām granulām visos gadījumos bija labāks (zemāks) siltumvadītspējas koeficients ($R^2 = 0,554$), kas liecina par vidēji stipru ietekmi.

Tika veikta pilna eksperimenta plāna analīze, lai iepriekš noteiktās likumsakarības izteiktu viena lineāra regresijas vienādojuma veidā. Eksperimentā izmantotie visi trīs faktori nebija kvantitatīvi lielumi, tāpēc aprēķinos otrajam (suga) un trešajam (skalotas un atkārtoti žāvētas vai neskalotas granulas) faktoram maksimālā vērtība skaitliskā izteiksmē tika izteikta ar 1, bet minimālā vērtība ar 0 (egle 1, priede 0, skalots 1, neskalots 0). Pirmajam faktoram (granulometriskais sastāvs) skaitliski minimālā vērtība tiek izteikta ar 8 un maksimālā ar 16. Pilnu regresijas vienādojumu pēc vienkāršošanas ar naturālām vērtībām siltumvadītspējas koeficientam (λ , W/mK) var izteikt ar 4.1. vienādojumu:

$$\lambda = 0,06844 + 0,00252(g - 12) - 0,01518(sn - 0,5) + 0,00384(g - 12)(ep - 0,5)(sn - 0,5), \quad (4.1.)$$

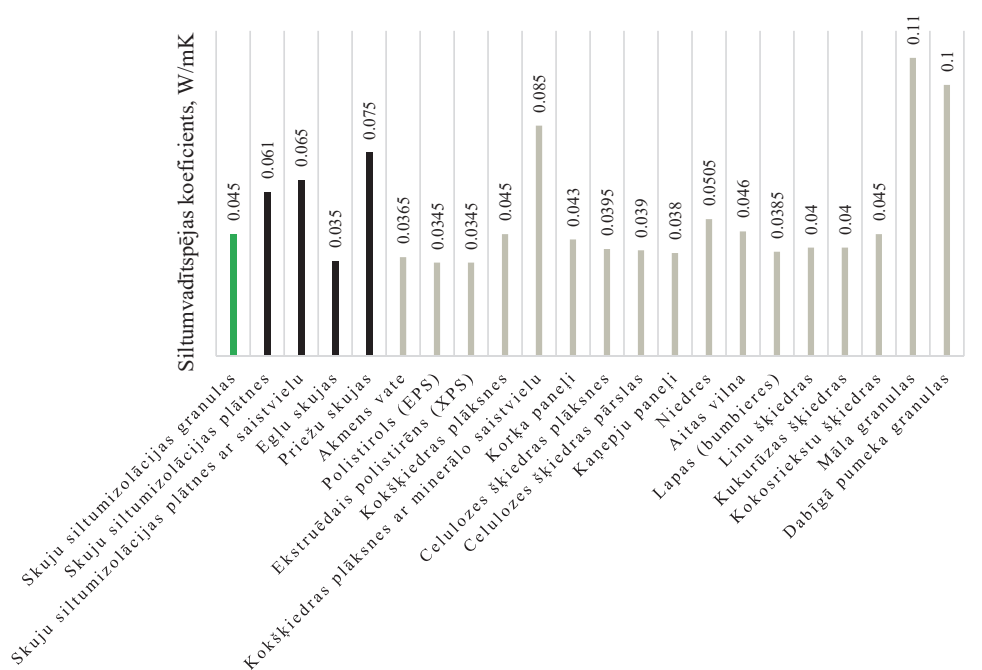
kur g – granulometriskais sastāvs – granulū lielums, mm;

sn – skalots vai neskalots materiāls;

ep – suga (egle vai priede).

Tādā veidā arī pārējiem eksperimentiem tika veikta eksperimentu plānošana, paraugu sagatavošana un testēšana, un iegūto rezultātu analīze.

No promocijas darbā veiktajiem eksperimentiem par skuju siltumizolācijas materiāla izveidi var secināt, ka šāda veida materiāla turpmākai izpētei ir potenciāls, jo tā siltumfizikālās īpašības ir konkurētspējīgas ar citiem dabiskajiem siltumizolācijas materiāliem (4.3. att.) un pat var sasniegt līdzvērtīgus rezultātus kā plaši lietoti un tirgū pieejami sintētiskie materiāli.



4.3. att. Skuju siltumizolācijas materiālu eksperimentu rezultātos iegūto siltumvadītspējas koeficientu salīdzinājums ar citiem siltumizolējošiem materiāliem.

Līdz šim nav bijuši mēģinājumi komercializēt skuju siltumizolācijas materiālu un tā ražošanas tehnoloģiju, jo ir nepieciešams veikt papildus pētījumus niansētai tehnoloģijas un produkta izstrādei. Skuju siltumizolācijas materiāls šobrīd atrodas *TRL2* (*TRL – technology readiness level* – tehnoloģijas gatavības līmenis) līmenī, ko apliecina veiktie eksperimenti, un par to rezultātiem sagatavotas un *SCOPUS* datubāzē publicētas četras zinātniskās publikācijas, kā arī reģistrēti divi patenti Latvijas Republikas Patentu valdē.

Šī gadījuma izpēte par līdz šim nepilnīgi izmantota bioresursa izmantošanas iespējām biotehonomikas kontekstā produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai ir tikai viens no daudziem variantiem, kā ar inovatīvu produktu pētniecību un komercializēšanu attīstīt tautsaimniecību. Tas ir pierādījums, ka biotehonomikas koncepcijas lietošana zinātnē un pētniecībā ir efektīvs instruments, ar ko veicināt uz vietējiem bioresursiem balstītu tautsaimniecības nozaru attīstību, radot un ražojot produktus ar augstu pievienoto vērtību un ilgtspējīgi izmantojot bioresursus.

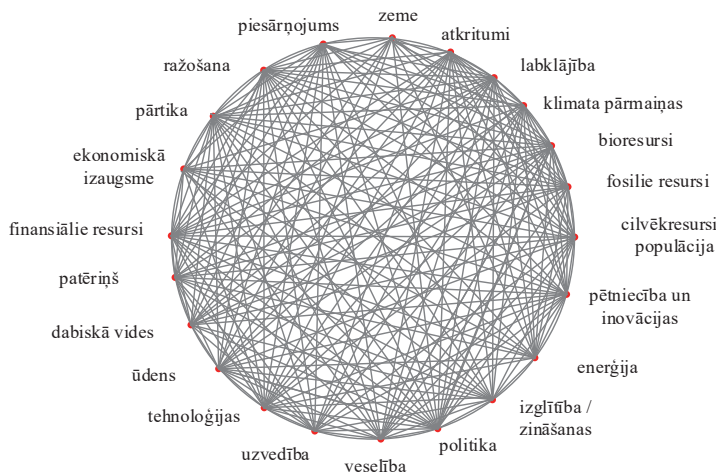
5. CEĻĀ UZ TRANSDISCIPLINĀRU BIOTEHONOMIKAS IZPRATNI

Izstrādājot promocijas darbu par biotehonomikas analīzes metodikas izveidi, nācās secināt, ka pietrūkst pētījumu, kuros bioekonomikas vai biotehonomikas jautājuma izpētei būtu izmantota sistēmātiska pieeja ar plašu skatījumu uz ietekmējošo procesu savstarpējo mijiedarbību. Šāda veida skatījums ir absolūti nepieciešams, jo biotehonomika ir transdisciplināra un saistīta ar dažādu nozaru un sabiedrībā notiekošo procesu savstarpējo mijiedarbību. Tāpēc šajā promocijas darbā kā veids biotehonomikas transdisciplināritātes jautājuma risināšanas uzsākšanai tiek piedāvāts bioekonomikas *nexus* (no angļu val. – sakars, saikne) izpēte, kas pēc būtības meklē savstarpējo mijiedarbību starp dažādiem faktoriem.

Zināms, ka līdz šim nav veikti plaši pētījumi, lai saprastu saiknes starp sabiedrībā un dabā notiekošo procesu savstarpējo mijiedarbību biotehonomikas kontekstā. Biotehonomikas *nexus* izpēte vistiesākajā veidā saistīta ar resursu *nexus*, bet tas ir tikai viens no elementiem biotehonomikas sistēmā. Tradicionāli bioekonomikas kontekstā par papildu resursiem tiek skatīti tādi elementi kā resursu izlietojums produktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošanai. Bet, lai saprastu, kā attīstīt biotehonomiku, vispirms ir jāsaprot, kas to ietekmē. Atbilde uz šo jautājumu ir jāmeklē, saprotot, ka biotehonomika ir transdisciplināra un tās attīstību ietekmē ne tikai resursu pieejamība un izmantošanas efektivitāte, bet arī daudzi citi ar

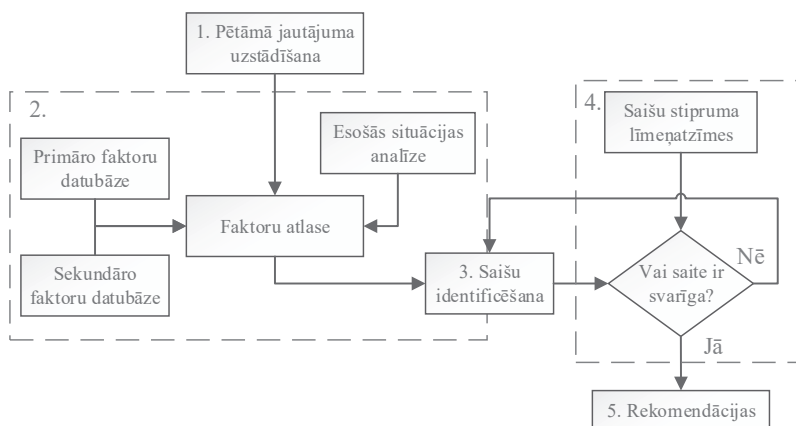
biotehonomikas attīstību netieši saistīti, cilvēku kontrolēti procesi. Noskaidrojot atbildi uz šo jautājumu, būtu iespējams apjaust, cik būtiska loma pasaulē notiekošajos procesos ir biotehonomikas attīstībai. Tāpēc šajā promocijas darbā izstrādāta konceptuāla ideja par biotehonomikas *nexus* izpēti, lai apjaustu kādi procesi, faktori un to savstarpējā mijiedarbība ietekmē biotehonomikas attīstību.

Balstoties uz literatūras analīzi, tika atlasīti 22 biotehonomikas attīstību ietekmējošie faktori un veicot loģisko analīzi, fiksētas savstarpējās mijiedarbības saites (5.1. att.). Ir skaidrs, ka šie faktori ir vēl vairāk un turpmākajos pētījumos būtu nepieciešams tos papildināt.



5.1. att. Biotehonomikas *nexus*.

Izvērtējot šo faktoru savstarpējo mijiedarbību un to, vai tā varētu atstāt ietekmi uz biotehonomikas attīstību tiešā vai netiešā veidā, jānonāk pie secinājuma, ka gandrīz starp visiem šiem faktoriem pastāv savstarpēja lielāka vai mazāka mijiedarbība. Pagaidām nav nosakāms, cik liela ir katras mijiedarbības ietekme uz biotehonomikas attīstību un kura no tām ir būtiskāka, tāpēc nepieciešams veikt detalizētākus pētījumus, lai turpmāk varētu realizēt pasākumus, kas orientēti uz būtiskākajiem biotehonomikas attīstību ietekmējošajiem faktoriem. Lai attīstītu konceptuālu biotehonomikas *nexus* izpēti ideju, tika izstrādāts metodoloģijas algoritms, kas sastāv no pieciem blokiem (5.2. att.). Pirmajā solī tiek izvirzīts pētāmais jautājums, kas šajā pētījumā ir, – kādi faktori un to mijiedarbība ietekmē biotehonomikas attīstību.



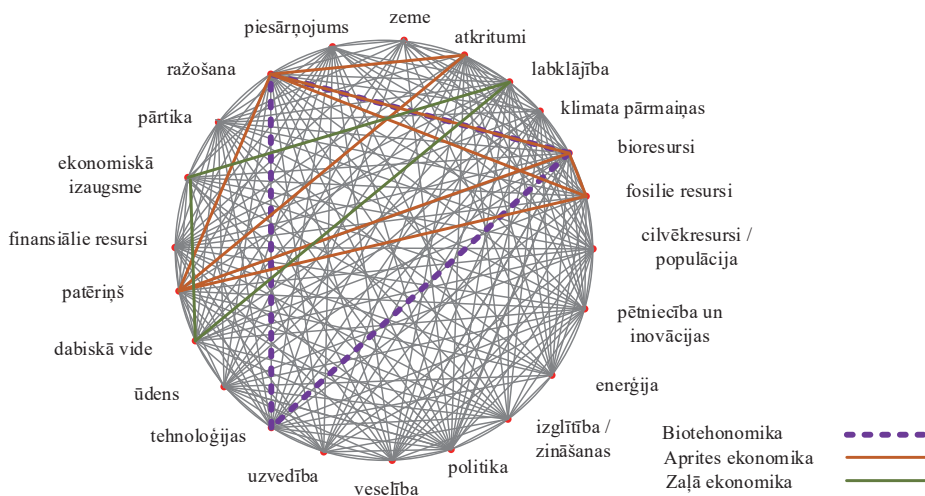
5.2. att. Biotehonomikas *nexus* izpēti metodoloģijas algoritms.

Otrais solis – pētāmo jautājumu ietekmējošo faktoru atlasē, veidojot divu grupu faktoru datubāzes, – primārie un sekundārie faktori. Tam paralēli šajā blokā tiek veikta esošās situācijas analīze attiecīgi pētāmā jautājuma mērogam (valsts, reģionālā, teorētiskā līmenī vai tml.), ietverot arī literatūras analīzi.

Tā nepieciešama, lai noskaidrotu, kādi pētījumi par *nexus* ir veikti līdz šim un kādi faktori ietekmē biotehonomikas attīstību. Sekundāro faktoru atlase tiek veikta, lai apjaustu biotehonomikas transdisciplināritāti un labāk būtu iespējams noskaidrot ietekmju cēloņus. Lietojot loģisko analīzi un zinātniskajā literatūrā pieejamo informāciju, trešajā solī tiek identificētas biotehonomikas attīstību ietekmējošo faktoru savstarpējās saites. Šajā solī faktori netiek iedalīti primārajos un sekundārajos. Ceturtajā posmā tiek noteiktas saišu stipruma līmeņatzīmes un izstrādāta metodoloģija, kā noteikt, vai un cik stipra ir saite. Ja aplūkotā saite nav bijusi pietiekami stipra, tātad – neatstāj būtisku ietekmi uz pētāmo jautājumu, atgriežas atpakaļ trešajā algoritma solī un identificē nākamo saiti, ko izvērtē pēc ceturtajā solī izstrādātās metodoloģijas, izmantojot saišu stipruma līmeņatzīmes. Uz piekto – noslēdzošo – pētījuma soli tiek virzītas tikai tās saites, kas ir stipras – atstāj būtisku ietekmi uz pētāmo jautājumu, ietverot tās rekomendāciju izstrādē turpmākajai, daudz detalizētākai, biotehonomikas *nexus* izpētei.

Lietojot šādu metodoloģijas algoritmu, iespējams identificēt būtiskākās saites, pie kurām tālāk strādāt, lai efektīvi izmantotu resursus un ātrāk sasniegtu labāku rezultātu. Izstrādātā metodoloģija izmantojama kā priekšizpēte turpmāko pētījumu veikšanai par biotehonomikas transdisciplināritāti un attīstības virzienu identificēšanai.

Ieteicams atsevišķi izvērtēt nelielu faktoru grupu savstarpējo mijiedarbību. Šajā gadījumā ar grupām saprotot savstarpēji saistītu faktoru kopu sabiedrībā, zinātnē un pārvaldē pieņemtajiem definējumiem par procesiem, kas saistīti ar resursu apsaimniekošanu. Biotehonomikas kontekstā būtu atsevišķi jāaplūko tādas faktoru grupas kā biorafinērija (*biorefinery*), aprites ekonomika (*circular economy*), zaļā ekonomika (*green economy*), aprites bioekonomika (*circular bioeconomy*), ilgtspējība, resursu efektivitāte, atkritumu apsaimniekošana, bioloģiskā daudzveidība, biomimikrija (*biomimicry*), industriālā simbioze (*industrial symbiosis*), resursu patēriņš, ekosistēmu pakalpojumi un eko-inovācijas. Jau iepriekš ir zināms, ka ir faktori, kas šajās grupās pārklāsies. Tas ļaus konkrētāk apjaust to, ka, apspriežot un realizējot dažādas idejas, pēc būtības virziens ir kopīgs. Tāpēc nepieciešams saprast, kādi ir efektīvākie veidi, kā sasniegt dažādu ideju kopīgos mērķus, kas apvienojami zem biotehonomikas idejas.



5.3.att. Piemērs. Primārās biotehonomikas, cirkulārās ekonomikas un zaļās ekonomikas saites.

Piemēram, aplūkojot trīs grupu – biotehonomikas, cirkulārās ekonomikas un zaļās ekonomikas – koncepciju galvenos ietekmējošos faktorus un to savstarpējās mijiedarbības saites (5.3. att.), redzams, ka tieša primāro faktoru sakritība ir starp biotehonomiku un cirkulāro ekonomiku (ražošana un bioresursi). Tas pierāda, ka, veicot darbības, lai attīstītu kādu saimnieciskās ideju, tā tiešā vai netiešā veidā ietekmēs arī citas. Piemēram, ar politiskiem instrumentiem veicinot cirkulārās ekonomikas attīstību, tiktu ietekmēta arī biotehonomikas attīstība. Šajā gadījumā abu šo koncepciju idejas sakrīt un rezultāts būtu pozitīvs, bet citos saikņu gadījumos tas var izraisīt negatīvu ietekmi. Tieši tāpēc nepieciešams skatīties uz attīstību ietekmējošiem faktoriem sistemātiski un izvērtēt to ietekmi transdisciplināri, jo cilvēka saimnieciskā darbība, izmantojot visa veida resursus, ir sava veida ekosistēma, kurā viena darbība var atstāt ietekmi uz visu sistēmu.

SECINĀJUMI

1. Promocijas darbā izstrādāta un Latvijas mežsaimniecības nozarē aprobēta jauna biotehonomikas analīzes metodoloģija, kas veidota četros biotehonomikas līmeņos – nacionālais, nozares, resursu un produktu. Izstrādātās metodoloģijas aprobācija un iegūtie rezultāti pierāda, ka tā ir korekta un to ir iespējams pielāgot un izmantot dažādām valstīm, tautsaimniecības nozarēm, bioresursiem un bioproduktiem ilgtspējības analīzei biotehonomikas kontekstā.
2. Latvijas tautsaimniecības nozaru analīzē bija uzskatāmi redzams, ka ar biotehonomiku visciešāk saistītajā lauksaimniecības, mežsaimniecības un zivsaimniecības nozarē, salīdzinot ar citām nozarēm Latvijā, ir viszemākā darbaspēka nodarbinātības efektivitāte un vidēji liela kapitāla produktivitāte. Tas liecina, ka Latvijai biotehonomikas attīstībai vēl ir daudz darba. Šī ir nozare, kurā tiek nodarbināta liela daļa darbaspēka, kas ir pozitīvs faktors, un to nav pamats samazināt. Bet tas netiek darīts efektīvi, jo ieguvums gan mikroekonomikas, gan makroekonomikas līmenī ir pārāk mazs. Biotehonomikas kontekstā lauksaimniecības, mežsaimniecības un zivsaimniecības nozarei būtu jābūt ciešā saistē ar apstrādes rūpniecības nozari, vienai – kā bioresursu ilgtspējīgai ražotājai, otrai – kā šo resursu ilgtspējīgai pārstrādātājai patērētājam nepieciešamajos produktos, tajā skaitā arī produktos ar augstu pievienoto vērtību.
3. Pamatojoties uz biotehonomikas pašreizējo situāciju Latvijā, identificēti astoņi galvenie biotehonomikas inovāciju ietekmējošie šķēršļu veidi: finansiālie, politiskie, tirgus, uzvedības, organizatoriskie, tehnoloģiju, resursu un vides un klimata. Visiem šiem šķēršļu veidiem ir ietekme ne tikai uz biotehonomiku, bet arī citam uz citu. Tomēr lielākoties šķēršļi ir orientēti uz finansiāliem un resursu šķēršļiem. Tāpēc tiek pieņemts, ka, atrisinot finansējuma pieejamību biotehonomikas inovāciju attīstībai un radot inovatīvus, ilgtspējīgus un ekonomiski pamatotus vietējo bioresursu izmantošanas veidus, inovācijām Latvijas biotehonomikas nozarēs būs nākotne. Tāpēc Latvijā nepieciešama mērķtiecīga inovāciju komercializācija – inovāciju pārnese no zinātnes līdz patērētājam pieejamam produktam. Šī starpposma iztrūkums ir viena no lielākajām barjerām biotehonomikas attīstībā.
4. Izmantojot kompleksu metodoloģiju, kas ietver indikatoru analīzi, kartēšanu un daudzkritēriju analīzi, noteikta uz meža bioresursiem balstītai ražotnei piemērotākā atrašanās vieta Latvijā, ņemot vērā novados pieejamos koksnes resursus (ciršanas vecumu sasnieguši koksnes krāja), darbaspēka resursus (bezdarbnieku skaits) un esošo konkurenci (esošo kokapstrādes un koksnes produktu ražošanas uzņēmumu skaits). Vispiemērotākie būtu Rēzeknes, Madonas, Daugavpils, Garkalnes, Kuldīgas vai Talsu novads. Savukārt visnepiemērotākais ir Stopiņu novads.
5. Bioekonomikas, klimata pārmaiņu un ilgtspējīgas resursu izmantošanas kontekstā aizvien vairāk tiek likts uzsvars uz bioresursu izmantošanu, lai aizstātu fosilos resursus ne tikai enerģētikā, bet arī rūpniecībā. Tāpēc jāaktualizē jautājums par robežām un priekšnoteikumiem ilgtspējīgai bioresursu izmantošanai, lai, no vienas puses tiktu izpildīti klimata mērķi enerģētikas nozarē, no otras puses, bioresursi maksimāli tiktu izmantoti produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai. Latvijā atsegta problēmsituācija, ka meža bioresursi galvenokārt tiek izmantoti kurināmā ražošanai, kas ir labi no klimata viedokļa, bet nav ilgtspējīgi no resursu izmantošanas un ekonomiskā viedokļa, tāpēc promocijas darbā izstrādāti priekšnoteikumi ilgtspējīgai meža resursu izmantošanai enerģētikā, lai centieni sasniegt klimata mērķus neradītu neilgtspējīgu bioresursu izmantošanu.
6. Izmantojot daudzkritēriju analīzes *TOPSIS* metodi, tika izvērtēti 30 inovatīvu produktu no meža biomasas komercializācijas potenciāls Latvijā. Galvenās nozares, kurās meža resursu pārstrādes uzņēmumiem ir perspektīvi darboties, ir enerģētikas, tekstilrūpniecība un ķīmijas nozare. Tika noskaidrots, ka šo nozaru produktiem (konkrētāk – tekstils no koksnes (liocels), bioeļļa un biodīzeļdegviela un tādi ķīmiski savienojumi kā ksilāns un suberīns) Latvijā ir ar vislielāko komercializācijas potenciālu. Šajās nozarēs Latvijas zinātniekiem ir ieteicams koncentrēties uz unikālu, efektīvu un videi draudzīgu inovatīvu produktu izstrādes tehnoloģijām. Tādējādi arī pašas tehnoloģijas var kļūt par produktu vai ar šādu tehnoloģiju palīdzību kļūst reālākas iespējas uzsākt inovatīvu produktu ražošanu Latvijā.

7. Mūsdienās skuju koku zalenis no mežizstrādes atlikumiem ir Latvijā nepilnīgi izmantots biomasas resurss, ko iespējams izmantot dažādu produktu, tajā skaitā produktu ar augstu pievienoto vērtību, izgatavošanai, arī farmācijas un kosmētikas nozarēs. Izmantojot sistēmdinamikas modelēšanas metodi, noskaidrots, ka maksimālais skuju koku zaleņa daudzums ar ko var rēķināties, ir apmēram 117 tūkstoši tonnas gadā (balstoties uz vēsturiskajiem datiem), bet nākotnē (2070. gadā) apmēram ar 195 tūkstošiem tonnu. Neskatoties uz dažādiem Latvijas mežsaimniecības attīstības scenārijiem, prognozējams, ka pieejamais skuju koku zaleņa apjoms tikai palielināsies. Aprēķināts, ka Baltijas valstīs pieejamais skuju koku zaleņa apjoms ir apmēram 700 tūkstoši m³ gadā. Tas nozīmē, ka šis resurss ir pieejams pietiekami lielos apjomos, lai to izmantotu produktu ražošanai komerciālos nolūkos.
8. Promocijas darbā tiek izvērtēts inovatīvs risinājums svaiga vai apstrādāta skuju koku zaleņa izmantošanai, kā arī laboratorijas apstākļos veikti eksperimenti, kuru mērķis ir skuju siltumizolācijas materiāla izgatavošana. Veikti eksperimenti par plātņveida un berama siltumizolācijas materiāla ar un bez saistvielas izgatavošanu un siltumvadītspējas noteikšana. Iegūtie siltumvadītspējas koeficientu rezultāti ir konkurētspējīgi ar tirgū pieejamajiem siltumizolācijas materiāliem ($\lambda = 0,035\text{--}0,075 \text{ W/mK}$), tāpēc šai idejai ir perspektīva tikt komercializētai un jāveic papildu pētījumi skuju siltumizolācijas materiāla tehnoloģijas attīstībai, kas būtu atbilstoša biotehonomikas principiem. Ieviešot ražošanā šādu skuju siltumizolācijas materiālu, tiktu rasts risinājums nepilnīgi izmantota mežu resursa izmantošanai produktu ražošanai, tādējādi gūstot lielāku ekonomisko, sociālo, vides un klimata ieguvumu no vienas apsaimniekotās meža platības vienības.
9. Izvērtējot biotehonomikas koncepciju un tās ieviešanas iespējas nacionālajā, nozares, resursu un produktu līmenī, jāsecina, ka biotehonomikai ir transdisciplinārs raksturs un tās attīstību ietekmē daudzi un dažādi faktori gan tiešā, gan netiešā veidā, gan savstarpēji mijiedarbojoties. Promocijas darbā kā veids biotehonomikas transdisciplinartātes jautājuma risināšanas sākšanai tiek piedāvāts bioekonomikas *nexus* (no angļu val. – sakars, saikne) izpēte, kas pēc būtības meklē savstarpējo mijiedarbību starp dažādiem faktoriem. Identificēti 22 biotehonomikas attīstību ietekmējošie faktori un veicot loģisko analīzi, fiksētas savstarpējās mijiedarbības saites. Pagaidām nav nosakāms, cik liela ir katras mijiedarbības ietekme uz biotehonomikas attīstību un kura no tām ir būtiskāka, tāpēc nepieciešams veikt detalizētākus pētījumus, lai turpmāk varētu realizēt pasākumus, kas orientēti uz būtiskākajiem biotehonomikas attīstību ietekmējošajiem faktoriem. Nepieciešams skatīties uz attīstību ietekmējošiem faktoriem sistematiski un izvērtēt to ietekmi transdisciplināri, jo cilvēka saimnieciskā darbība, izmantojot visa veida resursus, ir sava veida ekosistēma, kurā viena darbība var atstāt ietekmi uz visu sistēmu.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- [1] Pülzl, H., Kleinschmit, D., Arts, B. Bioeconomy – an emerging meta-discourse affecting forest discourses? *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2014, Vol. 29, pp. 386–393.
- [2] European Commission. The Bioeconomy Strategy, 2012.
- [3] European Commission. A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050, COM(2011)112 final, Brussels, 2011.
- [4] UNEP, Towards a Green Economy: Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication - A Synthesis for Policy Makers, 2011, 52 p.
- [5] European Commission. Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe, 2012.
- [6] Global Bioeconomy Summit. Communiqué of the Global Bioeconomy Summit 2015 – Making Bioeconomy Work for Sustainable Development. Berlin, 2015, 10 p.
- [7] Carus, M., Raschka, A., Iffland, K., Dammer, L., Essel, R., Piotrowski, S. How to Shape The Next Level of The European Bio-Based Economy? *International magazine of the bioeconomy and circular economy*, 2015.
- [8] Scarlat, N., Dallemand, J.F., Monforti-Ferrario, F., Nita, V. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environmental Development*, 2015, Vol. 15, pp. 3–34.
- [9] Blumberga, D., Barisa, A., Kubule, A., Klavina, K., Lauka, D., Muizniece, I., Blumberga, A., Timma, L. Biotehomika. Riga Technical University, Riga, 2016, 338 p.
- [10] Blumberga, D., Muizniece, I., Blumberga, A., Baranenko, D. Biotechnomy framework for bioenergy use. *Energy Procedia*, 2015, Vol. 95, pp. 76–80.
- [11] Lancker, J.V., Wauters, E., Huylenbroeck, G.V. Managing innovation in the bioeconomy: An open innovation perspective. *Biomass and Bioenergy*, 2016, Vol. 90, pp. 60–69.
- [12] McCormick, K., Kautto, N. The bioeconomy in Europe: an overview, Sustainability, 2013, Vol. 5, pp. 2589–2608.
- [13] Ministry of Economics. Innovations. [Online]. Available: https://www.em.gov.lv/lv/nozares_politika/inovacija/. [Accessed 25 January 2015].
- [14] Cagno, E., Worrell, E., Trianni, A., Pugliese, G. A novel approach for barriers to industrial energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, Vol. 19, pp. 290–308.
- [15] Rohdin, P., Thollander, P., Solding, P. Barriers to and drivers for energy efficiency in the Swedish foundry industry. *Energy Policy*, 2006, Vol. 35/1, pp. 672–677.
- [16] Kubule, A. Novel methods for integrated assessment of industrial symbiosis and efficiency. Doctoral Thesis, Riga Technical University, 2016, 146 p.
- [17] Golev, A., Corder, G.D., Giurco, D.P. Barriers to Industrial Symbiosis. Insights from the Use of a Maturity Grid. *Journal of Industrial Ecology*, 2014, Vol. 19/1, pp. 141–153.
- [18] Fichtner, W., Tietze-Stockinger, I., Frank, M. Barriers of interorganisational environmental management: Two case studies on industrial symbiosis. *Progress in Industrial Ecology*, 2005, Vol. 2/1, pp. 73–88.
- [19] Golembiewski, B., Sick, N., Bröring, S. 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 & Emerging Technologies*, 2015, Vol. 29, pp. 308–317.
- [20] State Forest service. Publications and statistics. Public Report. Riga, 2016, 30 p
- [21] Minister's Cabinet regulations No.406. Par Komercedarbības konkurētspējas un inovācijas veicināšanas programmu 2007.-2013. gadam, 28.06.2007.
- [22] Muizniece, I., Timma, L., Blumberga, A., Blumberga, D. The Methodology for Assessment of Bioeconomy Efficiency. *Energy Procedia*, 2016, Vol. 95, pp. 482–486.
- [23] Central Statistical Bureau Database. Gross domestic product. [Online]. Available: http://data.csb.gov.lv/pxweb/lv/ekfin/ekfin_ikgad_ikp/?tablelist=true&rxid=cdeb978c-22b0-416a-aacc-aa650d3e2ce0. [Accessed April 20, 2015].
- [24] IEA Bioenergy. Report on IEA Bioenergy Tasks' Activities 2013-2015. IEA Bioenergy; 2016.
- [25] Budzianowski, W.M. High-value low-volume bioproducts coupled to bioenergies with potential to enhance business development of sustainable biorefineries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, Vol. 70, pp. 793–804.
- [26] European Union. Renewable Energy Directive (2009/28/EC).
- [27] European Commission, 2006. Green Paper. A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy, COM(2006)105.
- [28] Scarlat, N., Dallemand, J.F., Monforti-Ferrario, F., Nita, V. The role of biomass and bioenergy in a future bioeconomy: Policies and facts. *Environmental Development*, 2015, Vol. 15, pp. 153–34.
- [29] Commission staff working document SWD(2014)259. State of play on the sustainability of solid and gaseous biomass used for electricity.
- [30] Commission staff working document SWD(2014)15. A policy framework for climate and energy in the period from 2020 up to 2030.
- [31] European Commission. A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050, COM(2011)112 final, Brussels, 2011
- [32] Commission staff working paper sec(2011)(1067. Roadmap to a Resource Efficient Europe, COM(2011) 571 Brussels, 2011.
- [33] Li, P., Qian, H., Wu, J., Chen, J. Sensitivity analysis of TOPSIS method in water quality assessment: I. Sensitivity to the parameter weights. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2012, Vol. 185(3), pp. 2453–61.
- [34] Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava". Pārskats par pētījuma "Mežsaimniecības ietekme uz meža un saistīto ekosistēmu pakalpojumiem" 2016. gada rezultātiem. Salaspils, 2017.
- [35] State Forest Service statistics, 2005-2014. [Online]. Available: <http://www.vmd.gov.lv/valsts-meza-dienests/statiskas-lapas/publikacijas-un-statistika?nid=1047#jump>. [Accessed: January 16, 2015].
- [36] Auzins, J., Janusevskis, A. Eksperimentu plānošana un analīze, Riga, 2007.
- [37] Montgomery D. Design and Analysis of Experiments, Wiley, 2013.