

AS “Latvijas valsts meži” pētījuma pasūtījuma

# MEŽA BIOMASA – jauni produkti un tehnoloģijas

atskaite

Līgums Nr. 5-5.5\_002j\_101\_16\_69

Izpildītājs: Rīgas Tehniskās universitātes

Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

Pētījuma vadītāja: *Dr. habil. sc. ing.* Dagnija Blumberga

2016

## Izpildītāji

Rīgas Tehniskā universitāte,

Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts:

Dr.hab.sc.ing. Dagnija Blumberga

Dr.hab.sc.ing. Ivars Veidenbergs

Dr.sc.ing. Andra Blumberga

Dr.sc.ing. Gatis Bažbauers

Dr.sc.ing. Jeļena Pubule

Dr.chem. Sarma Valtere

Dr.chem. Kārlis Valters

M.sc. Lauma Žihare

M.sc. Indra Muižniece

B.sc. Armands Grāvelsiņš

B.sc. Toms Prodanuks

B.sc. Valters Kazulis

B.sc. Antra Kalnbalķīte

B.sc. Raimonda Soloha

B.sc. Vivita Priedniece

## Kopsavilkums

Pētījums “Meža biomasas – jauni produkti un tehnoloģijas” veikts, lai meklētu un atrastu iespējas no uzņēmuma apsaimniekotajiem resursiem ražot inovatīvus produktus ar augstu pievienoto vērtību, kas ir ekonomiski dzīvotspējīgi un balstīti uz biotehonomikas principiem.

Priekšizpētes tematika atbilst AS “Latvijas valsts meži” (LVM) vidēja termiņa stratēģijā noteiktajiem mērķiem: palielināt ilgtermiņa peļņu un nodrošināt pozitīvu naudas plūsmu no saimnieciskās darbības, veicināt un attīstīt augstas pievienotās vērtības produktu ražošanu, pakalpojumus un zināšanas un palielināt apsaimniekājamo mežu devumu globālo klimata izmaiņu mazināšanā.

Šis pētījums ir uzskatāms par pirmo soli (priekšizpēti), lai identificētu perspektīvākos inovatīvos produktus no meža biomasas, kurus varētu ražot Latvijā. Tas sniedz ieskatu tajā, cik plašs ir inovāciju ieviešanas problēmu diapazons, parādot, ka tās visas ir bioekonomikas modeļa sistēmas sastāvdaļas.

Priekšizpētes mērķi sasniegti, īstenojot 12 uzdevumus, kas ir saistīti ne tikai ar zinātnisko sasniegumu analīzi, bet arī ar metodiku izstrādi un izmantošanu inovatīvu produktu inženiertehniskai, ekonomiskai un ekoloģiskai analīzei, tikai nedaudz pieskaroties resursu pieejamībai. Apzināti inovatīvi produkti ar augstu pievienoto vērtību no meža biomasas un izvērtēts to komercializācijas potenciāls Latvijā. Pētījuma laikā tika apzināti 30 un uzskaitīti 14 inovatīvi produkti no meža biomasas. LVM izvēlētie 3 produkti (tekstils no koksnes, bioeļļa un ksilāna atvasinājumi) tika analizēti detalizētāk (ietekme uz klimata politikas mērķu sasniegšanu, resursu pieejamība, ekodizaina analīze, tirgus izpēte, ekonomiskā analīze) un izvērtētas iespējas uzsākt to komerciālu ražošanu.

Pētījuma „Meža biomasas – jauni produkti un tehnoloģijas” atskaitē sniegts īss ieskats par inovatīvajiem produktiem no meža biomasas, pētījumā izmantotās metodes inovatīvu produktu izvērtēšanai un iegūtie rezultāti, kā arī sagatavots jautājumu saraksts, kas papildus pētāmi inovatīvu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanas tehnoloģiju attīstībai, izvērtētas iespējas piesaistīt publisko finansējumu turpmākiem pētījumiem vai produktu komercializēšanai.

Priekšizpētes izpildes laikā secināts, ka nepieciešami papildu detalizēti pētījumi dažādu produktu ar augstu pievienoto vērtību kompleksu ražošanas sistēmu komercializācijas izvērtēšanai. Tāpat arī turpmākai mežsaimniecības attīstībai bioekonomikas kontekstā nepieciešama starpdisciplināra dažādu nozaru speciālistu sadarbība un uz praktiski izmantojamiem rezultātiem orientēti pētījumi.

Atskaite sagatavota uz 212 lpp., tajā ir 39 tabulas un 74 attēli. Izmantoti 378 literatūras avoti.

## Summary

Research “Forest biomass – new products and technologies” was made with a goal – to search and find possibilities to manufacture innovative products with high added value from company managed resources, that are economically viable and based on principles of biotechnonomy.

Feasibility subjects agree and match up with goals set in average term strategy of Joint Stock Company of the Republic of Latvia “Latvia’s State Forests” (LSF): to increase long-term profit and provide money flow from economic activities, to promote and develop manufacturing of high added value products, services and knowledge base, and to increase the contribution of managed forests in decrease of global climate changes.

This research is considered as the first step (feasibility study) to identify the most perspective innovative products from forest biomass, that could be produced in Latvia. It gives an insight on how wide is the range of innovation implementation problems and that they all are a part of bioeconomy system’s model.

Goals of the feasibility study were achieved by carrying out 12 tasks, that were connected not only with analysis of scientific achievements, but also with development of methodologies and their use for engineer-technical, economic and ecological analysis of innovative products, slightly taking into account availability of resources. Information about innovative products with high added value and their commercialization potential in Latvia was gathered and studied. Gathered information was about 30 products and 14 innovative products from forest biomass were listed, from which detailed analysis (effects on achieving climate policy goals, resource availability, eco-design analysis, market research and economical analysis) was made for LSF chosen 3 products (textile from wood, bio-oil and xylan derivatives) and possibilities to begin their commercial production were evaluated.

“Forest biomass – new products and technologies” research report gives a short insight on innovative products from forest biomass, methods used for evaluating innovative products and including results achieved, as well as a prepared list of questions for further research on development of production technologies for innovative products with high added value, evaluation of the possibilities to attract public funding for further research and product commercialization.

During feasibility study, it was concluded that, there is a need for additional detailed studies to evaluate complex production system commercialization of different products with high added value. Therefore, to provide development of forestry industry in the context of bioeconomy, interdisciplinary different field specialists collaboration and studies focusing on results that can be used practically are necessary.

The report consists of 212 pages, including 74 figures, 39 tables and a list of references with 378 sources.

## Saturs

Izmantotie termini .....	9
Ievads .....	11
1. Starptautisko inovāciju analīze zinātniskajā literatūrā, apzinot inovatīvus produktus ar augstu pievienoto vērtību, kas iegūstami no meža biomasas, un to ražošanas tehnoloģijas. 13	
1.1. Inovācijas .....	14
1.2. Bioekonomika un biotehonomika .....	15
1.3. Bioraфинērija .....	17
1.4. Kaskādes veida koksnes resursu izmantošana .....	18
1.5. Cirkulārā (aprites) ekonomika .....	19
1.6. Potenciālie inovatīvie produkti un to virzieni .....	21
2. Pārskats par aktualitātēm meža biomasas produktu inovācijās un tehnoloģiju izstrādēs 22	
2.1. Zinātniskā izpēte un inovācijas perspektīvas .....	22
2.1.1. Eiropas Savienības struktūrfondu atbalstītie zinātnes projekti biotehnoloģiju jomā 22	
2.1.2. Latvijas valsts pētījumu programmas pētījumu projektu rezultāti .....	23
2.2. Inovatīvu produktu no meža biomasas un to pārstrādes tehnoloģiju izstrāde Ziemeļvalstīs .....	25
2.2.1. Inovācijas meža biomasas pārstrādē Ziemeļeiropā .....	26
2.2.2. Inovācijas meža biomasas pārstrādē Ziemeļamerikā .....	32
3. Bioresursu pārstrādes tehnoloģijas .....	35
3.1. Bioresursu termokīmiskie pārveides procesi .....	36
3.1.1. Pirolīze .....	36
3.1.2. Gazifikācija .....	38
3.1.3. Hidrotermiskā pārveide .....	40
3.2. Bioķīmiskie pārveides procesi .....	41
3.2.1. Fermentācija .....	41
3.3. Ķīmiskie pārveides procesi .....	44
3.3.1. Esterifikācija .....	44
3.3.2. Ekstrakcija .....	45
3.4. Mehāniskie pārveides procesi .....	46
4. Potenciālie inovatīvie produkti un to virzieni nozaru griezumā .....	47
4.1. Energētika .....	47
4.1.1. Bioeļļa .....	47
4.1.2. Bioetanolis .....	49
4.1.3. Biobutanols .....	50
4.1.4. Biodīzeļdegviela .....	52
4.1.5. Kurināmā granulas ar uzlabotām īpašībām .....	53
4.2. Koksnes izmantošana pārtikas rūpniecībā .....	54
4.2.1. Lignāns kā uztura bagātinātājs .....	54
4.2.2. Putnu un dzīvnieku barības piedeva no skuju koku zaleņa .....	54
4.2.3. Vanilīns .....	55
4.2.4. Zivju barības piedeva no mikroorganismu proteīniem .....	55
4.3. Koksnes izmantošana tekstilrūpniecībā .....	56
4.3.1. Liocels (tekstils no koksnes) .....	56
4.3.2. <i>Ioncell-F</i> (tekstils no koksnes) .....	57
4.3.3. Viskoze (tekstils no koksnes celulozes) .....	58
4.4. Biokompozītmateriāli un būvmateriāli .....	59
4.4.1. Acetilēta koksne .....	59

4.4.2.	Caurspīdīga koksne .....	59
4.4.3.	Celulozes siltumizolācijas vate.....	60
4.4.4.	<i>DendroLight</i> šūnmateriāls .....	61
4.4.5.	Koka – plastmasas kompozīti .....	62
4.4.6.	Koka putu siltumizolācija .....	63
4.4.7.	Koksnes polimēra kompozīti ar termiski modificētas koksnes atlikumiem.....	63
4.4.8.	Kokšķiedras kompozītmateriāla grīdas segums.....	65
4.4.9.	Nanocelulozes cements.....	65
4.4.10.	ICLT ( <i>interlocking cross-laminated timber</i> ) – savstarpēji savienoti krusteniski laminēti paneli .....	66
4.4.11.	Skuju siltumizolācijas materiāls .....	67
4.4.12.	Stikla šķiedras/koksnes miltu termoplastiskais hibrīdkompozītmateriāls .....	68
4.5.	Citi jauni produkti ar augstu pievienoto vērtību .....	69
4.5.1.	Aktivētā ogle kā adsorbents .....	69
4.5.2.	Bioloģiski aktīvi savienojumi no priedes mehāniskās pārstrādes blakusproduktiem.....	70
4.5.3.	Ciete.....	71
4.5.4.	Furfurols un tā iegūšanas tehnoloģija no lapkoku koksnes.....	72
4.5.5.	Nanokristāliskā celuloze .....	73
4.5.6.	Ksilāna atvasinājumi .....	74
4.5.7.	Latvijā augošu lapkoku mizas biorafinēšana – kompleksas izmantošanas tehnoloģiskā shēma.....	75
4.5.8.	Levoglikozenons .....	76
4.5.9.	Lignīna polimēri .....	77
4.5.10.	Mikrokristāliska celuloze .....	78
4.5.11.	Mikro (nano) fibrilēta celuloze, MFC; NFC .....	79
4.5.12.	Nanocelulozes plēve.....	80
4.5.13.	Nanoporains oglekļa materiāls uz biomasas bāzes superkondensatora elektrodiem .....	81
4.5.14.	Suberīns – funkcionāla piedeva poliuretāna izstrādājumu ražošanai .....	82
4.5.15.	Suberīns kā saistviela ekoloģiskos šķiedru biokompozītos.....	82
4.5.16.	Tanīnu saturošs ekstrakts .....	85
4.5.17.	Termo (ķīmiski) mehāniskā celuloze .....	86
5.	Pārskats par inovatīvo produktu ietekmi uz klimata politikas mērķu sasniegšanu.....	87
5.1.	Aprēķinu metodika .....	89
5.2.	Inovatīvo produktu ietekme uz klimata politikas mērķu sasniegšanu .....	92
5.2.1.	Tekstilšķiedra .....	92
5.2.2.	Ksilāna atvasinājumi .....	93
5.2.3.	Bioeļļa .....	93
5.3.	Nākotnes izaicinājums .....	93
6.	Meža resursu pieejamība inovatīvu produktu ražošanai .....	95
6.1.	Koksnes resursi .....	95
6.2.	Nekoksnes resursi.....	96
6.3.	Nemateriālās vērtības.....	97
6.4.	Nepieciešamība pēc inovācijām .....	98
6.5.	Pieejamie koksnes resursi.....	98
6.6.	Mežu apsaimniekošana .....	100
6.7.	Resursu pieejamība izvēlētajiem produktiem .....	102
6.7.1.	Liocela ražošanai nepieciešamie resursi.....	102
6.7.2.	Ksilāna atvasinājumu ražošanai nepieciešamie resursi.....	104
6.7.3.	Bioeļļas ražošanai nepieciešamie resursi .....	105

7.	Ekodizaina analīze.....	107
7.1.	Ekodizaina būtība un principi .....	107
7.2.	Ekodizaina vēsturiskais konteksts.....	108
7.3.	Ekodizaina nozīmība tagad un nākotnes vīzija .....	109
7.4.	Ietekmes uz vidi modelēšana ar programmu ECO-it .....	110
7.5.	Apsvērumi, ar programmu ECO-it modelējot izvēlētos produktus .....	111
7.6.	Ksilāna ekstrakcijas modelēšana ar programmu ECO-it.....	112
7.7.	Bioeļļas izstrādes modelēšana ar programmu ECO-it .....	115
7.8.	Liocela ražošanas modelēšana ar programmu ECO-IT .....	117
7.9.	ECO-IT ksilāna, bioeļļas un liocela modelēšanas kopsavilkums.....	119
8.	Trīs alternatīvu bioproduktu potenciālā noieta un cenas izpēte.....	121
8.1.	Metodika .....	123
8.1.1.	Noieta tirgus pētījumi un analīze .....	123
8.1.2.	Produkta konkurētspējas analīze un cenas izpēte .....	125
8.2.	Liocela ( <i>lyocell</i> ) tirgus noieta un cenu izpēte .....	127
8.2.1.	Tirgus klasifikācija .....	129
8.2.2.	Nozares vērtējums.....	130
8.2.3.	Konkurētspējas un tirgus pievilcības raksturojums .....	133
8.3.	Bioeļļas tirgus noieta un cenu izpēte.....	136
8.3.1.	Tirgus klasifikācija .....	136
8.3.2.	Nozares vērtējums.....	137
8.3.3.	Bioeļļas konkurētspējas un tirgus pievilcības raksturojums .....	141
8.4.	Ksilāna un tā atvasinājumu tirgus noieta un cenu izpēte.....	143
8.4.1.	Tirgus klasifikācija .....	144
8.4.2.	Nozares vērtējums.....	144
8.4.3.	Konkurētspējas un tirgus pievilcības raksturojums ksilitolam .....	145
8.5.	Kopsavilkums .....	147
9.	Ekonomiskās analīze.....	149
9.1.	Ekonomiskās analīzes metodika .....	149
9.1.1.	Ievads sistēmdinamikā .....	149
9.1.2.	Investīcijas un finansēšana .....	152
9.1.3.	Pieprasījums, piedāvājums un cenas.....	153
9.1.4.	Darbspēks un darbspēka izmaksas .....	153
9.1.5.	Ieņēmumi, izmaksas un peļņa .....	155
9.2.	Bioeļļas ražošanas ekonomiskās analīze .....	156
9.2.1.	Bioeļļas ekonomiskā analīze .....	158
9.2.2.	Sistēmdinamikas modeļa ievaddati par bioeļļas ražošanu.....	158
9.2.3.	Pieņēmumi bioeļļas ražošanai .....	159
9.2.4.	Sistēmdinamikas modelēšanas rezultāti bioeļļas ražošanai.....	160
9.3.	Liocela ražošanas ekonomiskā analīze .....	161
9.3.1.	Sistēmdinamikas modeļa ievades dati par liocela ražošanu .....	162
9.3.2.	Pieņēmumi liocela ražošanai .....	163
9.3.3.	Liocela ražošanas sistēmdinamikas modelēšanas rezultāti.....	164
9.4.	Ksilāna atvasinājumu ražošanas ekonomiskā analīze .....	165
9.4.1.	Sistēmdinamikas modeļa ievaddati par ksilāna atvasinājumu ražošanu .....	166
9.4.2.	Pieņēmumi ksilāna atvasinājumu ražošanai.....	167
9.4.3.	Sistēmdinamikas modelēšanas rezultāti ksilāna atvasinājumu ražošanai ....	167
9.5.	Kopsavilkums .....	169
10.	Perspektīvākie inovatīvie produkti no meža biomasas .....	171
10.1.	Produkta izvērtēšanas metodika.....	171
10.1.1.	Inovatīvu produktu indikatoru modulis.....	171

10.1.2.	Interviju modulis.....	172
10.1.3.	Ekspertu izvēles modulis .....	176
10.1.4.	Resursu pieejamības modulis .....	177
10.1.5.	Aprēķinu modulis.....	177
10.1.6.	Rezultātu apkopojuma modulis.....	179
10.1.7.	Perspektīvāko inovatīvo produktu izvēles modulis .....	179
10.1.8.	Rekomendāciju modulis .....	179
10.2.	Daudzkritēriju analīzes rezultāti .....	180
10.3.	Perspektīvāko inovatīvo produktu no meža biomasas saraksts.....	183
10.4.	Rekomendējamie inovatīvie produkti no meža biomasas tālākai izpētei .....	185
11.	Papildus pētāmie jautājumi. Ko darīt tālāk?.....	187
11.1.	1. grupa. Inovatīvas tehnoloģijas.....	187
11.2.	2. grupa. Inovatīvi produkti .....	188
11.3.	3. grupa. Ekonomiskie jautājumi .....	189
11.4.	4. grupa. Vides un klimata jautājumi.....	189
11.5.	5. grupa. Likumdošanas jautājumi.....	190
12.	Publiskā finansējuma piesaistīšanas iespējas inovatīvu produktu pētījumiem un komercializēšanai .....	192
	Rekomendācijas.....	198
	Secinājumi .....	199
	Izmantotā literatūra .....	201



## Izmantotie termini

**Bioekonomika** (*bioeconomy*) – uz zinātni balstīta vietējo resursu racionāla un efektīva izmantošana, radot jaunus, tirgū pieprasītus, konkurētspējīgus produktus [1].

**Biokompozītmateriāli** – kompozītu materiāli, kuros dabiskās šķiedras (piem., kaņepju, džutas, koksnes, bambusa, linu u.tml.) tiek saistītas ar dabiskām saistvielām (māls, sveķi, cements, kaļķi u.tml.).

**Biomasa** - jebkurš bioloģisks materiāls, kas pats jau ir produkts vai tiek lietots kā izejviela [1].

**Bioprodukts** – no biomasas izgatavoti produkti.

**Biorafinērija** (*biorefinery*) – biomasas pārveide ķīmiskās vielās un enerģijā ar minimālu atlikumu un emisiju daudzumu.

**Bioresursi** - visi tie resursi, kas ir iegūstami no ūdens, zemes, gaisa, kā arī tie, kas veidojas kā pārpalikumi ražošanas procesos un sadzīvē [1].

**Biotehnoloģijas** - tehnoloģiskas iekārtas vai tehnoloģisku iekārtu kopums jeb sistēma, kas nodrošina bioresursu ieguvī, apstrādi un pārstrādi [1].

**Biotehonomika** (*biotechonomy*) apvieno bioresursu ieguves tehnoloģijas un biotehnoloģiju lietojumu to apstrādei un pārstrādei, izmantojot inovatīvas un modernas tehnoloģijas, lai iegūtu jaunu produktu ar pievienotu vērtību [1].

**CO<sub>2</sub> ekvivalenti** parāda ar produktu vai pakalpojumu saistīto siltumnīcas efekta gāzu emisiju apjomu.

**Ekodizains** – sistemātiska metode, kas produktu un pakalpojumu projektēšanas procesā ņem vērā vides prasības.

**Ekoefektivitāte** - resursu efektivitāte un resursu produktivitāte, proti, samazināt izmantoto resursu daudzumu un radīto atkritumu apjomu, kā arī palielināt produktu ekonomisko un pievienoto vērtību. Uzņēmumu līmenī ekoefektivitāte ir sasaiste starp tā vides un ekonomisko sniegumu.

**Eko-indikatoru rādītāji** - atsevišķi rādītāji, kas izsaka materiāla vai procesa radīto slodzi videi. Jo augstāka rādītāja vērtība, jo nopietnāka ietekme uz vidi.

**Emerģija** (*emergy*) – pieejamā enerģija, kas tieši vai netieši izmantota produkta ražošanā vai produkta sniegšanā [2].

**Daudzkritēriju analīze** (multi-kritēriju analīze, angļu. val. *multi criteria analysis*) – labākā varianta izvēle no vairākām alternatīvām, kuras ietekmē dažādi kritēriji.

**Inovācija** – process, kurā jaunas zinātniskās, tehniskās, sociālās, kultūras vai citas jomas idejas, izstrādes un tehnoloģijas tiek īstenotas tirgū pieprasītā un konkurētspējīgā produktā vai pakalpojumā.

**Inovatīvs produkts ar augstu pievienoto vērtību** – produkts, kas ražots atbilstoši ekodizaina principiem un tas ietver darbaspēka izmaksas, ražošanas nodokļus, nolietojumu un peļņu.

**Sistēmdinamika** – kompleksu sistēmu dinamiskās attīstības pētīšanas metode, ar kuras palīdzību ir iespējams risināt kompleksas sistēmas un to uzvedību un izmaiņu laikā. Kompleksa sistēma ir vairāku elementu kopa, kas savstarpēji mijiedarbojas laikā.

**Tīrāka ražošana** – pārejas posms no esošās ražošanas uz tīru ražošanu, samazinot trokšņu līmeni un emisijas gaisā, notekūdeņu un atkritumu daudzumu un minimizējot materiālu, enerģijas un ūdens patēriņu [3, 1].

## Ievads

Meža biomasa ir lielākā Latvijas bagātība, kura jau šobrīd lielā mērā Latvijas valstij sniedz finansiālus, socioekonomiskus un ekoloģiskus labumus. Lai gan mežu resursi ir atjaunojami dabas resursi, jārēķinās ar to, ka tie nav neizsmeljami, un tas, cik ilgi un cik lielu labumu mēs spēsim iegūt no meža, ir atkarīgs no mūsu spējas ilgtspējīgi apsaimniekot šos resursus.

Apmēram puse no Latvijas teritorijā esošajām mežu platībām pieder valstij, un tos apsaimnieko AS "Latvijas valsts meži" (LVM), tādējādi valsts (Latvijas Republika) ir vislielākā mežu resursu īpašniece.

Tas nozīmē, ka ir izveidojušies visi priekšnoteikumi, lai LVM varētu kļūt par vadošo organizāciju valstī, kas veicina inovatīvu biomasas produktu ar augstu pievienoto vērtību attīstību un ražošanu. Šajā gadījumā izejvielas ir meža biomasas resursi, kuru ilgtspējīga apsaimniekošana būtu integrēta uzņēmuma tālākajā izaugsmē.

Šis pētījums ir uzskatāms par pirmo soli (priekšizpēti), lai identificētu perspektīvākos inovatīvos produktus no meža biomasas, kurus varētu ražot Latvijā. Tas sniedz ieskatu tajā, cik plašs ir inovāciju ieviešanas problēmu diapazons un ka tās visas ir bioekonomikas modeļa sistēmas sastāvdaļas.

Priekšizpētes tematika atbilst LVM vidēja termiņa stratēģijā noteiktajiem mērķiem:

- palielināt ilgtermiņa peļņu un nodrošināt pozitīvu naudas plūsmu no saimnieciskās darbības;
- veicināt un attīstīt augstas pievienotās vērtības produktu ražošanu, pakalpojumus un zināšanas;
- palielināt apsaimniekojamo mežu devumu globālo klimata izmaiņu mazināšanā.

Pamatojoties uz iepriekš minētajiem vidēja termiņa mērķiem, LVM noteikusi veikt priekšizpēti ar uzdevumu – meklēt un atrast iespējas no uzņēmuma apsaimniekotajiem resursiem ražot inovatīvus produktus ar augstu pievienoto vērtību, kas ir ekonomiski dzīvotspējīgi un balstīti uz biotehonomikas principiem. LVM mērķu īstenošana saskan arī ar galvenajiem Latvijas Republikas plānošanas dokumentiem, kas izvirza nacionālos pētniecības, attīstības un inovāciju mērķus un virzienus.

Priekšizpētes mērķi sasniegti, īstenojot 12 uzdevumus, kas ir saistīti ne tikai ar zinātnisko sasniegumu analīzi, bet arī ar metodiku izstrādi un izmantošanu inovatīvu produktu inženiertehniskai, ekonomiskai un ekoloģiskai analīzei, tikai nedaudz pievēršoties resursu pieejamībai.

Pētījumā "Meža biomasa – jauni produkti un tehnoloģijas" ir apzināti inovatīvi produkti ar augstu pievienoto vērtību no meža biomasas un izvērtēts to komercializācijas potenciāls Latvijā. Pētījuma laikā tika apzināti 30 un uzskaitīti 14 inovatīvi produkti no meža biomasas, un LVM izvēlētie 3 produkti tika analizēti detalizētāk (novērtējot ietekmi uz klimata politikas mērķu sasniegšanu un resursu pieejamību, veicot ekodizaina analīzi, tirgus izpēti un ekonomisko analīzi) un izvērtētas iespējas sākt to komerciālu ražošanu.

Lai no mūsdienās zināmajiem vai vēl tikai pētniecības stadijā esošajiem inovatīvajiem produktiem no meža biomasas spētu atlasīt LVM interesēm un iespējām atbilstošākos, pētījuma izstrādātājs balstījās uz vairākiem kritērijiem.

- Šajā pētījumā inovatīvo produktu no meža biomasas sarakstā aplūkoti tikai tādi inovatīvie produkti, kuru izgatavošanai izmanto koksnes vai mizas biomasu. Pētījumā nav aplūkotas granulu un kokogļu ražošanas attīstības iespējas. Tajā netiek analizēta arī koksnes plātņu un mēbeļu ražošana. Pētījumā nav iekļauti arī no meža nekoksnes resursiem izgatavojamie produkti. Par pēdējo izmantošanu inovatīvu produktu ražošanai būtu nepieciešams atsevišķs šāda veida pētījums.
- Produkti un to ražošanas tehnoloģijas atbilst biotehonomikas, ekodizaina un tīrākas ražošanas pamatprincipiem, tādējādi nodrošinot, ka to komercializācijas gadījumā tiktu radīts videi, klimatam un cilvēka veselībai nekaitīgs produkts.
- Izvēlētie inovatīvie produkti ir izgatavojami no Latvijā sastopamo valdošo koku sugu biomasas.
- Produktus ir iespējams izgatavot no kokapstrādes un vai mežizstrādes pārpalikumiem, tā nodrošinot ilgtspējīgu mežu resursu izmantošanu, negatīvi neietekmējot pašreizējo koksnes resursu izmantošanu un palielinot ekonomisko un sociālo labumu, ko var iegūt no meža apsaimniekošanas.
- Izvēlētie inovatīvie produkti šobrīd netiek ražoti Latvijā, bet galvenais pieprasījums pēc tiem ir ārvalstīs, tādējādi nodrošinot šiem produktiem noieta tirgu.

Pētījuma „Meža biomasas – jauni produkti un tehnoloģijas” atskaitē sniegts īss ieskats par inovatīvajiem produktiem no meža biomasas, raksturotas pētījumā izmantotās metodes inovatīvu produktu izvērtēšanai un iegūtie rezultāti, kā arī sagatavots jautājumu saraksts, kas papildus pētāmi inovatīvu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanas tehnoloģiju attīstībai, izvērtētas iespējas piesaistīt publisko finansējumu turpmākiem pētījumiem vai produktu komercializēšanai.

Šo pētījumu izstrādājuši Rīgas Tehniskās universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta (VASSI) zinātniskie darbinieki. Lai izvēlētos inovatīvus produktus ar augstu pievienoto vērtību no meža biomasas, analizēta zinātniskā literatūra un apzināti citu Latvijas zinātnisko institūciju veiktie pētījumi un inovācijas no meža biomasas. Kā pētījuma partneri tika laipni aicināti piedalīties un iesaistīties Latvijas Lauksaimniecības universitātes Meža fakultāte, Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts (LVKĶI), Valsts mežzinātnes institūts “Silava”, SIA „Biolat” un SIA „Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts” (MeKA), kā arī Latvijas Kokrūpniecības federācija. VASSI darbinieki intervēja meža ekspertus, lūdza aizpildīt anketas par konkurētspējīgiem inovatīviem produktiem. Notika 2 ekspertu semināri un 2 semināri ar LVM darbiniekiem, kuros tika prezentēti iegūtie rezultāti. Paldies visiem zinātniekiem un mežu speciālistiem, kuri mūs uzklausīja. Īpašs paldies trīs speciālistiem: Indulim Brauneram un Matīsam Bičevskim no LVM un Andim Lazdiņam no Valsts mežzinātnes institūta “Silava”.

## 1. Starptautisko inovāciju analīze zinātniskajā literatūrā, apzinot inovatīvus produktus ar augstu pievienoto vērtību, kas iegūstami no meža biomasas, un to ražošanas tehnoloģijas

Bioresursu ilgtspējīgu izmantošanu inovatīvu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai, atkarībā no konteksta, mēdz sasaistīt vai apzīmēt ar dažādiem jēdzieniem, piemēram, bioekonomika, biorafinērija, kaskādes veida resursu izmantošana, cirkulārā ekonomika, simbioze, ekodizains utt. Lai arī kā to sauktu un uz kādiem aspektiem to tieši attiecinātu, bioresursu ilgtspējīgas izmantošanas kontekstā šiem jēdzieniem kopīgs ir tas, ka runa ir par pārdomātu, bezatlikumu bioresursu izmantošanu, neradot kaitējumu vai radot pēc iespējas mazāku kaitējumu klimatam, videi un cilvēku veselībai, tai skaitā ražošanas procesā, lietošanas laikā un utilizējot, lai no izmantotās biomasas plūsmas iegūtu pēc iespējas lielāku ekonomisko un sociālo labumu. Tajā visā būtisku lomu spēlē tehnoloģijas, jo arī tām, tāpat kā inovatīvam produktam, jāatbilst ilgtspējības principiem – jābūt efektīvām, jāpatērē pēc iespējas mazāks ūdens daudzums, elektroenerģija, siltumenerģija un videi kaitīgi ķīmiski savienojumi, kā arī jābūt klimatam draudzīgām.

Iepazīstoties ar aktualitātēm inovāciju jomā no meža (precīzāk – koksnes) biomasas, vērojama tendence, ka koksnes izmantošana tradicionāla kurināmā ražošanai, kļūst par pagātni, ja nu vienīgi kā sekundārais produkts, kad biomasa ir palikusi kā pārpalikums un nav vairs izmantojama citu produktu ražošanai. No tā izriet, ka zinātniskās darbības tendences šajā jomā saskan ar teorētiski pareizo un vēlamo virzienu un ilgtspējības pamatprincipiem.

Tāpat kā enerģētikas nozarē, arī citās nozarēs sākts aktualizēt jautājumu par to, cik ilgtspējīgi ir izmantot pārtikas augus ne-pārtikas produktu, bet citu bioproduktu ražošanai. Šādā kontekstā, koksne tiek uzskatīta par vienu no labākajiem bioresursiem dažādu produktu ražošanai, jo tā nekonkurē ar pārtikas rūpniecību un tās audzēšana, salīdzinot ar lauksaimniecības kultūrām, ir videi un klimatam nesalīdzināmi draudzīgāka.

Lasot zinātnisko literatūru un citu publiski pieejamo informāciju, jāsecina, ka nav vērojamas tendences, ka kādā reģionā pievērstu uzmanību tādām inovāciju jomām, par kurām citur vēl nedomātu. Mūsdienās inovāciju patentēšana un zinātnisko pētījumu rezultāti ir nepieciešamība, kas noved pie tā, ka relatīvi daudz informācijas par jaunajām idejām ir publiski pieejamas visiem interesentiem. Līdz ar to inovācijām vairs nav robežu un līdzīgas idejas dažkārt tiek vienlaicīgi attīstītas dažādās pasaules malās. Tas attiecināms arī uz inovatīviem produktiem no meža biomasas. Visā pasaulē zinātnes, ražošanas un politikas pārstāvji ir nonākuši pie secinājuma, ka jāsamazina fosilo resursu izmantošana, kā alternatīvu izvēloties bioresursus. Atklāts paliek jautājums, kādam mērķim, kā un cik daudz mēs izmantojam šos bioresursus, jo, lai gan tas ir atjaunojams dabas resurss, to tomēr nedrīkst izmantot neilgtspējīgi, lai nodrošinātu šī resursa pietiekamību stratēģiski nozīmīgākajām vajadzībām arī nākotnē, nenodarot kaitējumu videi, klimatam un cilvēku veselībai.

Šīs nodaļas turpinājumā tiks sniegts neliels ieskats inovāciju jēdzienā un iepriekš minēto terminu, ko lieto attiecībā uz bioresursu izmantošanu inovatīvu produktu ražošanai, pamatprincipos attiecībā uz bioresursu izmantošanu un to pārstrādes tehnoloģijām, lai apjaustu inovatīvu produktu no meža biomasas ražošanas tendences. Par ekodizainu informācija atrodama šī pētījuma 7. nodaļā.

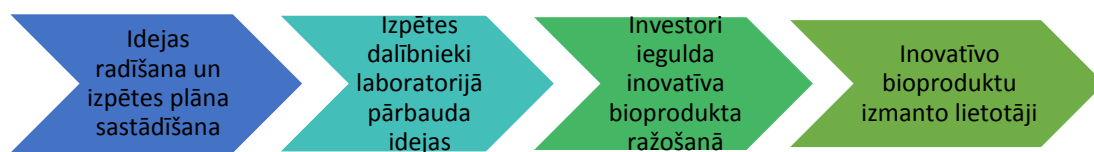
Sīkāka informācija par konkrētiem inovatīvajiem produktiem atrodama šī pētījuma 4. nodaļā.

## 1.1. Inovācijas

Būtībā inovācija ir tas, kas tautsaimniecībā nošķir no biomasas pēc biotehonomikas principiem ražotus produktus no pārējiem biomasas produktiem [4, 5]. Ar jaunu, inovatīvu produktu, kuriem ir pievienotā vērtība, šī pētījuma autori saprot produktu, kas ražots atbilstoši ekodizaina principiem, un tas ietver darbaspēka izmaksas, ražošanas nodokļus, nolietojumu un peļņu. Dažādās valstīs un dokumentos inovācijas jēdziens tiek definēts dažādi, tomēr būtiskākā no šo definīciju iezīmēm ir tā, ka ar inovācijas jēdzienu visur tiek apzīmēts process. Arī 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 [6].

Jau šajā oficiālajā definīcijā ir iekļauts, ka inovāciju veidošanos jeb procesu ietekmē daudzi šķēršļi. Līdz ar to tie ietekmē arī biotehonomikas attīstību. Zinātnieki ir veikuši daudzus pētījumus par šķēršļiem inovāciju attīstībā, tai skaitā arī saistībā ar bioekonomikas inovāciju, tai skaitā arī meža biomasas izmantošanu inovatīvu produktu ražošanai, attīstību [6, 7]. Kā piemēru var minēt *Golembiewski* u.c. pētījumu, kurā identificēti trīs galvenie izaicinājumi bioekonomikai: kompleksa zināšanu bāze, tehnoloģiju pārveide, mērķi attiecībā uz komercializācijas un tirgus difūziju [7]. Ideālo teorētisko bioekonomikas inovāciju īstenošanas procesu aprakstījis *Jonas Van Lancker* u. c., un to ietekmē pieci galvenie faktori: radikāli jaunas un graužošanas inovācijas, kompleksa zināšanu bāze, sadarbība, komercializācija un pielāgošana [4]. Reālā situācija biotehonomikas inovāciju attīstībā Latvijā atšķiras no zinātniskajās publikācijās aplūkotajām shēmām. Pamatojoties uz biotehonomikas pašreizējo situāciju Latvijā, biotehonomikas inovācijas ietekmē astoņi galvenie šķēršļu veidi: finansiālie, politiskie, tirgus, uzvedības, organizatoriskie, tehnoloģiju, resursu, klimata un vides. Visiem šķēršļu veidiem ir ietekme ne tikai uz biotehonomiku un resursu izmantošanu inovatīvu produktu ražošanai, bet arī savstarpēji vienam uz otru. Atšķirībā no šķēršļiem inovāciju attīstībai citās nozarēs, biotehonomikā būtiska loma ir tādiem šķēršļu veidiem kā resursi, tehnoloģijas, vide un klimats. Pārējo šķēršļu ietekme ir sastopama vairākumā citās nozarēs līdz šim veikto pētījumu.

Lai nodrošinātu bioekonomikas attīstību un ilgtspējīgu bioresursu izmantošanu produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai, viens no priekšnosacījumiem ir starpdisciplināra sadarbība [7]. Latvijā nepieciešama mērķtiecīga inovāciju komercializācija, t. i., inovāciju pārnese no idejas līdz patērētājam pieejamam produktam (1.1. attēls). 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.



1.1. Uz zināšanām balstītu inovatīvu bioproduktu izstrādes posmi [1].

Inovatīva un zinātniski pamatota biotehnoloģiju ieviešana ir 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:

- ar bioresursu efektīvu ieguvu un lietderīgu sagatavošanu;
- ar bioresursu apstrādes un pārstrādes tehnoloģiju izstrādi un lietojumu.

Uz zināšanām balstīta bioresursu izmantošana ir saistīta ar cilvēkresursiem, kuri katrā inovatīvu bioproduktu ieviešanas posmā spēlē noteiktu lomu. Inovatīvai un zinātniski pamatotai bioresursu lietderīgai izmantošanai ir specifiski priekšnosacījumi:

- sadarbojoties ar universitātēm un zinātniski pētnieciskajām iestādēm vai atsevišķiem nozares ekspertiem, tiek radītas uz zināšanām balstītas idejas, izstrādes un biotehnoloģijas;
- produkta un pakalpojuma kvalitāte ir atkarīga no jaunievedumiem, produktu un procesu kvalitātes un efektivitātes uzlabojumiem, jauninājumiem darba organizācijā un arī no jaunu piegādātāju un patērētāju attiecību veidošanas;
- jauna, tirgū pieprasīta, konkurētspējīga produkta ražošanai vai pakalpojuma sniegšanai tiek izmantoti bioresursi;
- iespēju ne tikai ražot bioproduktu ar augstāku pievienoto vērtību no viena un tā paša bioresursa, bet arī palielināt konkurētspēju tirgū esošajiem produktiem sniedz inovatīvu biotehnoloģiju izmantošana [1].

## 1.2. Bioekonomika un biotehonomika

Attiecībā uz bioresursu izmantošanu pēdējo gadu laikā plaši izmantots bioekonomikas (*bioeconomy*) jēdziens, kas starptautiskas nozīmes skanējumu ieguva līdz ar Eiropas Komisijas 2012. gadā pieņemto Bioekonomikas stratēģiju. 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 bruģēt 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 uzsvērtā tās būtiskā loma saistībā ne tikai ar materiālo resursu iegūšanu un izmantošanu produktu ražošanai un ar meža ekosistēmas sniegtajām nemateriālajām vērtībām, bet arī ar šīs nozares reālo ieguldījumu ekonomiskajā attīstībā, nodrošinot darba vietas. [8].

Bioekonomika ir uz zināšanām balstīta bioresursu izmantošana, pamatojoties uz inovatīviem bioloģiskajiem procesiem un principiem, lai ilgtspējīgā veidā nodrošinātu preces un pakalpojumus visās tautsaimniecības nozarēs [9].

Tiek atzīts, ka līdz šim Eiropā bioekonomikas jomā nekas īpaši daudz nav izdarīts un panākts. Biomases izmantošanas daudzums ķīmikāliju un plastmasu izgatavošanā pēdējo desmit gadu laikā nav būtiski mainījies. Vienīgi bioenerģijas un biodegvielu sektori ir labi attīstījušies, pateicoties stingrajiem normatīvajiem aktiem, kas balstīti uz Enerģētikas direktīvu un Emisiju tirdzniecības sistēmu [10]. Daudzās valstīs tieši mazie un vidējie uzņēmumi ir galvenie inovatīvu bioekonomikas ideju attīstītāji. Tāpēc būtu nepieciešams, lai arī viņi tiktu iesaistīti bioekonomikas politikas veidošanā [9].

Latvijas pētnieki piedāvā paplašināt bioekonomikas ideju, ieviešot jaunu terminu – biotehonomika (*biotechonomy*), 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 [11, 1]. 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 (1.2. attēls). [1]



1.2. attēls. Biotehonomikas piramīda ar bioresursu izmantošanu jaunu produktu ražošanai [1].

Tas ir videi visnedraudzīgākais un ekonomiski visneizdevīgākais risinājums. Ja bioresursu izmanto kurtuvē degšanas procesā un iegūst siltumenerģiju, kuru tālāk izmanto siltumapgādē, rūpniecībā, lauksaimniecībā un pakalpojumu sektorā, tad vienmēr paliek atklāts jautājums: vai šos bioresursus nav iespējams izmantot lietderīgāk. Bieži bioresursus, kurus dedzina katlu kurtuvēs, ir iespējams izmantot arī citiem mērķiem, piemēram, ražojot gāzveida vai šķidro biodegvielu. No jebkura bioresursa ir iespējams iegūt jaunu produktu. Tikai atklāts paliek jautājums par to, 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 un kādi būs socioekonomiskie rādītāji. [1]

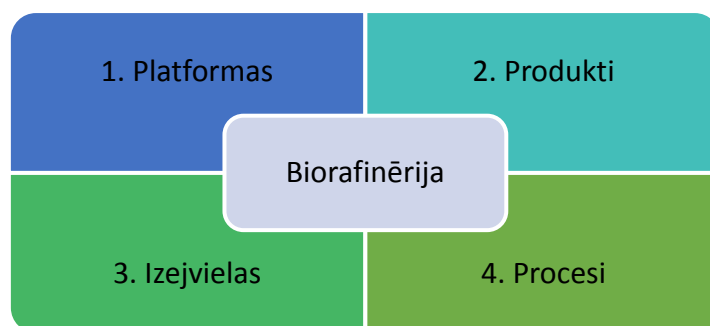
Biotehonomikas ilgtspējīga attīstība ir atkarīga ne tikai no nozaru struktūras un jauno bioproduktu īpašībām un iespējamā lietojuma, bet arī no specifiskiem priekšnosacījumiem un aspektiem: finanšu resursiem, cilvēkresursiem, klimata, vides, inženiertehniskajiem, ekonomiskajiem un socioekonomiskajiem aspektiem. Ir jāveido biotehonomikas nozaru puduri, kurus apvienotu kādas kopīgas pazīmes, piemēram, produktu kopa, kas būtu produkti ar augstu pievienoto vērtību no meža biomasas. Galvenie biotehonomikas nozaru puduru attīstības priekšnosacījumi ir atkarīgi no tā, kādā virzienā attīstīsies bioresursu izmantošana. Ir ļoti svarīgi, lai visi iepriekš minētie aspekti balstītos uz šādiem principiem:



- uz inovatīvu un zinātniski pamatotu biotehnoloģiju ieviešanu;
- uz ekonomiski izdevīgu un uz biznesa ekonomikas pamatiem būvētu biotehnoloģiju izmantošanu;
- uz socioekonomiski pamatotu biotehnoloģiju attīstību, kuras palielina nodarbinātības līmeni un samazina importu;
- uz videi draudzīgu biotehnoloģiju izmantošanu, lietojot bioresursus, kuru ieguve ir ekoloģiski pamatota;
- uz siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanas koncepciju. [1]

### 1.3. Bioraфинērija

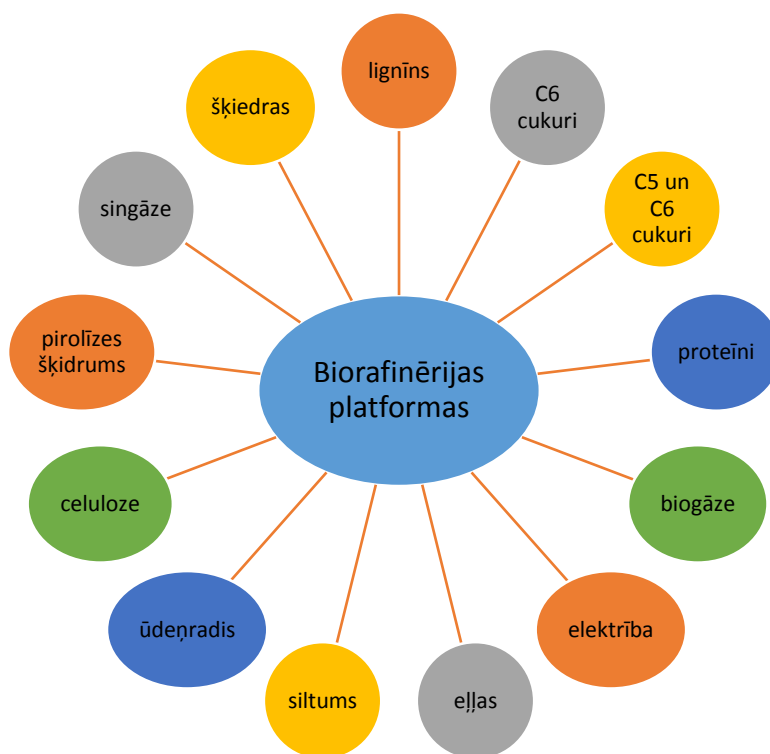
Ilgspējīgas bioresursu izmantošanas produktu ar augstu pievienoto vērtību kontekstā plaši tika lietots bioraфинērijas (*biorefinery*) termins, ar to saprotot biomasas ilgtspējīgu pārstrādi, lai ražotu komercializējamus produktus un enerģiju [12, 13]. Bioraфинērijas pamatideju veido 4 komponenti: platformas, produkti, izejvielas un procesi (1.3. attēls). Tikai ar šo komponentu ilgtspējīgu savstarpējo mijiedarbību iespējams izpildīt bioraфинērijas principus.



1.3. attēls. Bioraфинērijas sistēmu raksturojošie komponenti [14].

Pētījumi par jaunu, efektīvu un sarežģītu biomasas pārstrādes metožu izstrādi ir rezultējušies inovatīvās bioraфинērijas tehnoloģijās. Par to detalizēta informācija ir ietverta Starptautiskās Enerģētikas aģentūras (International Energy Agency – IEA) atskaitē “*IEA Bioenergy Task 42, Biorefining: Sustainable and synergetic processing of biomass into marketable food & feed ingredient, chemical, materials and energy (fuels, power, heat)*”. Šajā ziņojumā definētas iespējamās bioraфинērijas platformas (1.4. attēls). [15, 14]

Bioraфинērijas procesu būtība ir atjaunojamo izejvielu, blakusproduktu un atlikumu pārstrāde biodegvielas un augstas pievienotās vērtības ķīmiskajos produktos. Šiem procesiem jābūt organizētiem ar augstu efektivitāti un slēgtā CO<sub>2</sub> apritē. Bioraфинērijas sistēmu īstenošana parasti saistīta ar augstākām kapitālizmaksām tehnoloģiju izveidei un uztādīšanai. Tieši augstās kapitālizmaksas ir galvenais iemesls, kāpēc bioraфинērija vēl joprojām nav īpaši izplatīta. [15, 16]



1.4. attēls. Biorafinērijas sistēmu iespējamās platformas (saskaņā ar Starptautiskās Enerģētikas aģentūras (IEA) 42 bioenerģijas uzdevumu) [15, 14].

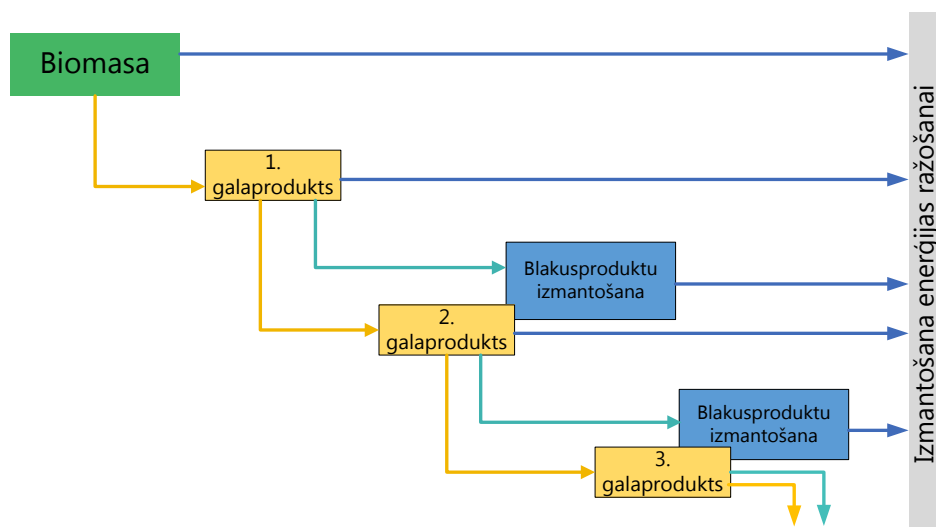
Pastāv divi galvenie biorafinērijas tipi: uz enerģiju orientēta un uz produktu/ķīmikālijām orientēta biorafinērija. Uz enerģiju orientētas biorafinērijas mērķis ir ražot degvielas, enerģiju un/vai siltumu, kam tiek izmantota uzlabota biomasas atlikumu plūsma, lai optimizētu rentabilitāti. Uz produktu/ķīmikālijām orientētā biorafinērijā tiek ražoti produkti un biomasas atlikumi tiek izmantoti, lai optimizētu vērtības pievienošanu produktam. Biorafinēriju var iedalīt arī citos tipos pēc citiem nosacījumiem, piemēram, pēc platformas tipa (tos skatīt iepriekš 1.4. att.), pamatojoties uz izgatavoto produktu – enerģiju vai materiālu (piem., bioetanol, dzīvnieku barība, biodīzeļdegviela, biometāns, bioķīmikālijas utt.), pamatojoties uz izmantoto izejvielu (piem., cietes augi, eļļas augi, lignocelulozes atlikumi un augi, zālaugi, alģes utt.), pēc izmantotās tehnoloģijas vai to kombinācijas (piem., hidrolīze, fermentācija, transesterifikācija, pirmapstrāde, gazifikācija, Fišera-Tropša sintēze, alkohola sintēze, šķiedru atdalīšana, anaerobā digestācija utt.) un citos veidos. [13].

Biorafinērija meža biomasas pārstrādei visbiežāk tiek izmantota papīrrūpniecībā un degvielu ražošanā. [375]

#### 1.4. Kaskādes veida koksnes resursu izmantošana

Sirkin un Houten bija pirmie, kas 1994. gadā attīstīja kaskādes veida resursu izmantošanas koncepciju [17]. Kopš tā laika dažādos pētījumos atrodama dažādas kaskādes veida resursu izmantošanas definīcijas. Gan šajās definīcijās, gan publikācijās par kaskādes veida resursu izmantošanu galvenais akcents tiek likts uz tehniskajiem procesiem rūpnīcu ražošanas līnijās. Eiropas Komisijas 2016. gada pētījumā, kas veltīts tieši koksnes kaskādes veida izmantošanai (*cascading use*), kaskādes veida resursu izmantošana definēta kā efektīva resursu

izmantošana, lietojot atlikumus un pārstrādātus materiālus kā izejvielas, lai paplašinātu kopējo biomasas pieejamību konkrētajā sistēmā [18].



### 1.5. attēls. Biomasas kaskādes veida izmantošana

No tehniskā viedokļa, kaskādes veida koksnes resursu izmantošana notiek tad, kad koksne tiek pārstrādāta produktā un šis produkts tiek izmantots vismaz vēl vienu reizi kā izejviela vai enerģētikas vajadzībām. Viena posma kaskādē koksni pārstrādā produktā, un šis produkts pēc tam tiek izmantots vēlreiz enerģijas ražošanai. Daudzpakāpju kaskādē koksni pārstrādā produktā, un šis produkts tiek izmantots vismaz vēl vienu reizi kā izejviela un pirms apglabāšanas vai pārstrādes enerģijas ieguvei (1.5. attēls). Izmantošana enerģijas ražošanai ir kā galējais izmantošanas veids, kad produktu vairs nav iespējams reciklēt vai izmantot citu produktu ražošanai. [18]

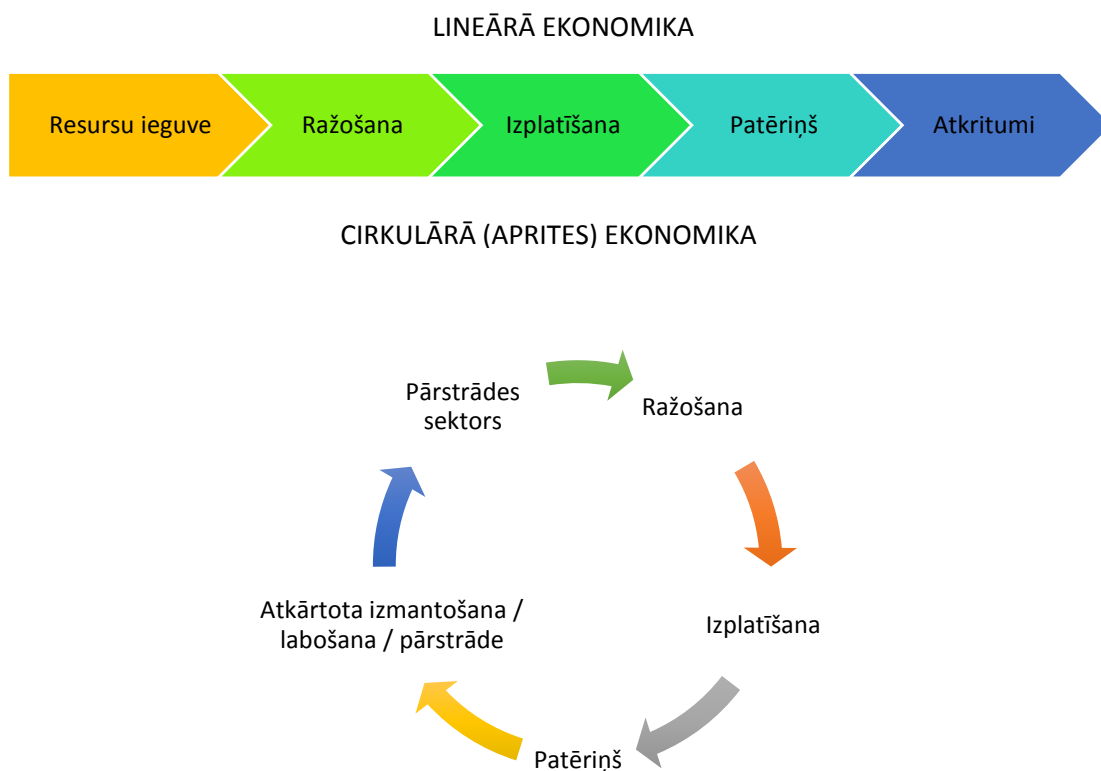
Ideja par secīgu materiālu izmantošanu attiecināma jau uz antīkajiem laikiem, kad vērtīgi materiāli tika izmantoti atkārtoti un pārstrādāti. Mūsdienu modernās tehnoloģijas dod nesalīdzināmi plašākas iespējas īstenot kaskādes veida izejvielu, tajā skaitā arī biomasas, sevišķi koksnes, izmantošanu. Augošā pieprasījuma pēc izejmateriāliem dēļ pēdējā desmitgadē kaskādes veida koncepcijai tiek pievērsta pastiprināta uzmanība, jo tas ir veids, kā paaugstināt resursu izmantošanas efektivitāti un samazināt to ietekmi uz klimatu un vidi.

[18]

Kaskādes veida resursu izmantošanas koncepcija pārklājas ar citām koncepcijām, piemēram, cirkulāro ekonomiku un otrreizējo pārstrādi. Par tām neliels ieskats sniegts citās šīs nodaļas apakšnodalēs.

### 1.5. Cirkulārā (aprites) ekonomika

Cirkulārā (aprites) ekonomika ir industriāla sistēma, kurā potenciālā produktu lietošana un materiāli ir optimizēti un to elementi atgriezti sistēmā to dzīves cikla beigās. Materiālu un produktu dzīves ciklam ir noslēgts aprites loks. Ideālā gadījumā visi elementi, kas tiek izmantoti produkta izgatavošanai, tiek izmantoti atkārtoti vai pārstrādāti [19]. Atšķirībā no līdzšinējās resursu apsaimniekošanas sistēmas, kas balstās uz lineāru ekonomiku, cirkulārajā ekonomikā (ideālā gadījumā) neveidojas atkritumu plūsma un visi produkti, blakusprodukti un atlikumi tiek izmantoti kā resursi jaunu produktu ražošanai (1.6. attēls).



*1.6. Lineārās un cirkulārās ekonomikas pamatprincipi [20].*

2015. gadā Eiropas Komisija pieņēmusi Cirkulārās ekonomikas paketi, kurā iekļauti pārskatītie normatīvie akti par atkritumu apsaimniekošanu, lai stimulētu Eiropas pāreju uz cirkulāro ekonomiku, kas veicinās globālo konkurētspēju, ilgtspējīgu ekonomikas izaugsmi un radīs jaunas darba vietas. Eiropas Komisijas ierosinātie pasākumi veicinās “noslēgtu aprites loku” produktu dzīves ciklā, izmantojot lielāku pārstrādi un atkārtotu izmantošanu, tādējādi gūstot gan ekonomiskos, gan vides labumus. Eiropas Komisijas ar aprites cikla ekonomiku saistītajos dokumentos pievērsta uzmanību galvenajiem produkta dzīves posmiem: ražošanai (produkta izstrādes posmam un ražošanas procesiem), patēriņam un atkritumu apsaimniekošanai. Kā prioritārās jomas noteiktas: plastmasa, pārtikas atkritumi, kritiski svarīgas izejvielas (piem., elektroierīcēs), būvniecība un ēku nojaukšana, biomasu un bioproducti. Attiecībā uz biomasu un bioproductiem tiek uzsvērts, ka [19, 21]:

- izmantojot bioresursus, ir jāpievērš uzmanība ietekmei uz vidi to aprites ciklā un ilgtspējīgai iegūšanai;
- bioresursi jāizmanto pēc kaskādes principa, paredzot vairākus atkārtotas izmantošanas un pārstrādes ciklus;
- ir jāizmanto bioresursu potenciāls jaunu, inovatīvu materiālu un ķīmisko vielu ražošanai un procesu jomā;
- bioresursi ir neatņemama aprites ekonomikas daļa;
- bioresursu potenciāla īstenošana ir īpaši atkarīga no ieguldījumiem biorafinēšanas rūpnīcās, kas spēj apstrādāt biomasu un bioloģiskos atkritumus dažādiem galaproduktiem.

Eiropas Komisija ir apņēmusies īstenot pasākumu kopu, lai veicinātu bioresursu efektīvu izmantošanu, un pārskatīt tiesību aktus, lai iekļautu mērķvienību, kas attiecas uz koka iepakojuma pārstrādi, un nodrošināt bioloģisko atkritumu atsevišķu savākšanu [21].

Ar cirkulārās ekonomikas ieviešanas palīdzību iespējams padarīt ilgtspējīgāku un konkurētspējīgāku valsts ekonomiku. No tās labums ir ne tikai tautsaimniecības nozarēm un uzņēmējiem, bet arī katram iedzīvotājam, jo šādas ekonomikas īstenošana veicina ne tikai kopējo ekonomikas attīstību un finansiālus ieguvumus, bet, kas ir daudz svarīgāk, veicina resursu ilgtspējīgu izmantošanu, samazina atkritumu daudzumu un to radīto negatīvo ietekmi uz vidi un klimatu [22].

Tagad, kad Eiropa cenšas attīstīt cirkulāro ekonomiku, jāpatur prātā bioekonomika, kurai ir tie paši specifiskie izaicinājumi, tā ir vairāk integrēta mūsu ikdienā. Kā var saprast no iepriekšējās apakšnodaļās rakstītā, kaskādes veida biomasas izmantošanai ir skaidra un spēcīga saikne ar bioekonomiku un cirkulāro ekonomiku. [10].

## 1.6. Potenciālie inovatīvie produkti un to virzieni

Pastāv daudz un dažādi koksnes izmantošanas veidi. Tradicionālie izmantošanas viedi tiek uzlaboti, un tiek paaugstināta procesa efektivitāte. Paralēli tiek izstrādāti jauni produkti un virzieni. Kā galvenie virzieni šī pētījuma ietvaros tiek apskatīti meža biomasas izmantošana biodegvielas ražošanā, koksnes izmantošana pārtikas rūpniecībā, biokompozītmateriāli un citi jauni produkti ar augstu pievienoto vērtību. Inovatīvus produktus no biomasas, tajā skaitā no meža biomasas, var iedalīt dažādi, piemēram, pēc ražošanas tehnoloģijām, izmantotajiem resursiem, attiecināmajām nozarēm utt. Patērētājam vissaprotamākais ir inovatīvu produktu iedalījums pēc to izmantošanas veida. Tas nozīmē dalījumu šādās grupās, kurām kā piemēri tiek minēti daži produkti [23, 24, 25]:

- būvmateriāli un būvkonstrukcijas (piem., CLT (*cross laminated timber*) – krusteniski līmēti paneļi, biokompozītmateriāli, kompozītmateriāli);
- biomateriāli (piem., saistvielas, membrānas, siltumizolācijas materiāli, koksnes – plastmasas kompozītmateriāli, šķiedras tekstilizstrādājumiem, bioplastmasa, iepakojums, higiēnas preces, krāsas, lakas);
- nanomateriāli (nanošķiedras; nanocelulozes piedevas cementam, nanocelulozes plēve);
- bioenerģija (bioeļļa, biodīzeļdegviela, bioetānols, biobutānols, singāze, kokogles, torificēta koksne);
- bioķīmija (piem., furfurols, acetilēta koksne, virsmaktīvās vielas, lubrikanti, bioloģiski aktīvi savienojumi, piedevas kosmētikai, izejvielas farmācijā, polimēri);
- pārtika un barība (piedevas dzīvnieku, zivju un putnu barībai, pārtikas piedevas, saldīnātāji, ciete).

Iepriekš minēta tikai neliela daļa no inovatīvajiem produktiem, kurus iespējams izgatavot no meža biomasas. Sīkāka informācija par daļu no šiem inovatīvajiem produktiem nozaru griezumā atrodama šī pētījuma 4. nodaļā.

## **2. Pārskats par aktualitātēm meža biomasas produktu inovācijās un tehnoloģiju izstrādēs**

### **2.1. Zinātniskā izpēte un inovācijas perspektīvas**

Mūsdienās starptautiskā zinātniskā izpēte ir fokusēta uz jaunu ziņā izmaksu efektīvu biomasas pārveidošanas procesu pētīšanu. Biomasas pārveidošana par ilgtspējīgu un konkurētspējīgu vietējo biodegvielu vai bioķīmiskām vielām ir cieši saistīta ar spēju variēt ar dažādiem biomasas veidiem [26].

Gan politikas veidotāju, gan zinātnisko institūciju interese par iespējamo pāreju uz bioekonomiku pieaug. Bioekonomika ir viens no galvenajiem virzieniem atkarības no fosilajiem kurināmajiem samazināšanai. Vienlaikus jāatzīmē, ka sociāli ekonomiskie pētījumi par virzību uz bioekonomiku uzņēmumu līmenī joprojām ir retums, īpaši pētījumi par bioekonomikas tehnoloģiskajiem un inovāciju pārvaldības konceptiem [27]. Bioekonomika ir saistīta ar trīs galvenajiem izaicinājumiem: kompleksu zināšanu bāzi, pārveidošanas tehnoloģijām un komercializāciju un tirgus attīstību [28].

#### **2.1.1. Eiropas Savienības struktūrfondu atbalstītie zinātnes projekti biotehnoloģiju jomā**

Eiropas Savienības pamatprogrammu pētniecībai un inovācijai ietvaros tikuši atbalstīti vairāki biotehnoloģiju attīstības projekti. Galvenais uzsvars tiek likts uz jauniem enzīmiem un to izmantošanas iespējām medicīnas, vides, pārtikas un ķīmijas nozarēs. Tāpat pastiprināta zinātniskā interese tiek pievērsta robustu mikroorganismu un enzīmu radīšanai un optimizētu bioprocesu pētīšanai. Industriālās biotehnoloģijas jomas un biorafinēšana iet "roku rokā", jo bioprocesu izmantošana videi draudzīgāku produktu ražošanā ir lielā mērā savstarpēji saistīta. Biorafinēšana nodrošina industriālo tehnoloģiju atjaunojamo izejvielu pārvēršanai par ilgtspējīgu un izmaksu ziņā efektīvu bioproduktu vai bioenerģiju izstrādi. Biodegvielu izpētes projektos galvenais uzsvars tiek likts uz otrās un trešās paaudzes biodegvielu ar uzlabotiem enerģijas un vides parametriem izstrādi un attīstību. Biorafinēšanas galvenie zinātniskie izpētes virzieni: biomasas blakusproduktu pārveidošana par bioproduktiem, otrās un trešās paaudzes biodegvielas, lignocelulozes priekšapstrāde, biomasu pārveidošana par ķīmiskiem būvmateriāliem, integrētās biorafinēšanas attīstība [29]. Turpmāk raksturoti Eiropas Savienības pamatprogrammu ietvaros atbalstītie zinātnes projekti.

- NEMO. Augstas efektivitātes enzīmi un mikroorganismi lignocelulozes biomasas pārveidošanai par bioetanolu [30].

Projekta ietvaros tika pētītas vispiemērotākās tehnoloģijas bioetanolā ražošanai, īpašu uzmanību pievēršot augstas efektivitātes enzīmu un enzīmu sajaukuma, kas ļautu nodrošināt efektīvu Eiropā audzētas lignocelulozes izejvielu hidrolīzi, izpētei. Projekta ietvaros tika izstrādāts stresa izturīgs ieraugs C6 un C5 cukuru fermentācijai no lignocelulozes izejvielām par etanolu.

- GLOBAL-BIO-PACT. Biomasas un bioproduktu ietekmes uz sociālekonomisku un ilgtspējīgu attīstību novērtējums [31].

Projekta mērķis bija biomasas ražošanas un pārveides sertifikācijas sistēmas ilgtspējības noteikšanai izstrāde un saskaņošana. Projektā lielākā uzmanība tika pievērsta izejvielu ražošanas un dažādu biomasas pārveides ķēžu detalizētu sociāli ekonomiskās ietekmes novērtējumam. Projekta ietvaros tika izstrādāti sociālekonomiskie ilgtspējības novērtēšanas kritēriji un indikatori, kas būtu integrējami Eiropas Savienības normatīvajos aktos un politikā attiecībā un biomasu un biomasas produktu ražošanu un pārveidošanu.

- BIOCORE. Bioraфинēšanas koncepts biomasas pārveidošanai par otrās paaudzes biodegvielām un polimēriem [32].

Projekta ietvaros tika veikta bioraфинēšanas rūpnīcu, kurās notiek meža atkritumu un citu bioproduktu atkritumu pārveidošana par otrās paaudzes biodegvielām, ķīmiskām vielām, polimēriem vai materiāliem, industrializācijas un komercializācijas iespēju analīze. Īpaša uzmanība pievērsta polimēru celtniecības bloku izstrādei. Projekta izstrādātāji norādīja, ka 70 % no šodien izmantojamajiem polimēriem var ražot no biomasas.

- BIOFOREVER. Bioprodukti no meža produktiem, izmantojot ekonomiski dzīvotspējīgus Eiropas tīklus [33];

*Bioforever* ir nesen sācies Eiropas projekts, kura ietvaros tiks demonstrētas lignocelulozes izejvielu, piemēram, koksnes, pārveides iespējas par ķīmiskiem celtniecības blokiem un produktiem ar augstu pievienoto vērtību. Projekta ietvaros tiks veikts piecu dažādu izejvielu/produktu ķēžu tehniskais un ekonomiskais demonstrējums (pilota/pirmsindustrializācijas fāze). Projekta darbības laiks ir no 2016. gada septembra līdz 2019. gada septembrim.

### **2.1.2. Latvijas valsts pētījumu programmas pētījumu projektu rezultāti**

Šobrīd Latvijas valsts pētījumu programmas ietvaros tiek īstenots projekts "Meža un zemes dzīļu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas" 2014–2017 [34].

Projekta vispārējais mērķis ir ilgtspējīgi un racionāli izmantot dabas resursus, palielinot to izmantošanas pievienoto vērtību, racionāli nodrošinot Latvijas mežsaimniecības resursu ilgtspēju un izmantošanu globālajā tirgū konkurētspējīgu produktu ražošanai, izstrādājot jaunas tehnoloģijas koksnes pārstrādei ar minimizētu ražošanas procesu ietekmi uz apkārtējo vidi un pēc iespējas pilnīgāku ražošanas blakusproduktu izmantošanu vai utilizāciju, piegādājot nepieciešamo enerģiju tehnoloģisko procesu nodrošināšanai. Projekta konkrētie mērķi ir veicināt koksnes materiālu konkurētspējas palielināšana būvniecībā, uzlabot lapkoku koksnes bezatlikumu izmantošanu un piedāvāt risinājumus produktu kompleksai izstrādei no mizām un koksnes komponentiem.

Projekta ietvaros tiek pētītas no Latvijā augošiem kokiem izdalīto polifenolu izmantošanas iespējas pārtikas produktu, polimēru un kompozītmateriālu, kā arī kosmētisko līdzekļu ražošanā.

Saskaņā ar projekta izstrādātāju sniegto atskaiti [35], projekta ietvaros tiek pētīti daudzpusīgi lietojami biomateriāli un bioprodukti no meža resursiem. Tiek pētīti optimālie priedes koksnes hidrotermiskās modifikācijas režīmi, noteiktas iegūto materiālu īpašības (statiskā lieces stiprība, optiskās īpašības, bioizturība pret trupes sēnēm). Hidrotermiskās

modifikācijas koksnes dekoratīvo īpašību stabilitātes uzlabošanai pārbaudīta priekšapstrāde ar dzelzs un perokso savienojumiem. Tiek izstrādāts pārklājums uz ūdens bāzes termiski modificētai koksnei āra apstākļos: optimizētas emulsiju kompozīcijas, pārklājumu iesūkšanās uzlabošanai izvēlētas vispiemērotākās virsmaktīvās vielas. Tiek veikti pētījumi par fosforu saturošu poliolu sintēzi ugunsizturīgiem pārklājumiem. Testos ar konisko kalorimetru konstatēts, ka, palielinot fosforskābes saturu poliolā, pārklājumu degamības rādītāji samazinās, tomēr augstāku fosforskābes koncentrāciju lietošanu ierobežo epoksīdgrupu atvēršanas reakcijas paātrināšanās un hidrolītiska iedarbība uz sintezēto poliolu. Veikti pētījumi par koksnes polimēru kompozītu iegūšanu. Lai uzlabotu komponentu savietojamību, veikta koksnes amooksidēšanas reakciju izpēte. Atkāts, ka koksnes polimēru kompozītu īpašības ievērojami var uzlabot, koksnes komponentu termiski modificējot. Turpinās pētījumi par koksnes frakcionālā sastāva ietekmi uz koksnes polimēru kompozītu īpašībām [35].

Vēl viens projekta uzdevums ir novērtēt lapkoku koksnes bezatlikumu izmantošanu Latvijas ekonomikai vajadzīgu produktu iegūšanai, izmantojot progresīvas ķīmiskās un termiskās priekšapstrādes metodes un mūsdienīgas pētniecības iekārtas. Šajā izpētē tiek izstrādāti jauni oglekļa materiāli ar minimālu skābekļa saturu un maksimālu poraino virsmu. Eksperimentāli atrasta optimālā aktivācijas temperatūra un attiecības aktivators - izejmateriāls. Ar imersijas kalorimetriju noteikta aktīvo ogļu entalpija. Secināts, ka, palielinot aktivatora daudzumu, pieaug poru tilpums, porainā virsma un vidējais mikroporu izmērs, bet temperatūras paaugstināšana, palielinot poru tilpumu un poraino virsmu, vienlaikus samazina mikroporu tilpumu kopējā poru tilpumā. Pētītas baltalkšņa un bērza tvaika sprādziena priekšapstrādes masas izmantošanas iespējas siltumizolācijas materiālu iegūšanai. Konstatēts, ka vairāk nekā 70 % no masas jebkurā no apstrādes režīmiem veido šķiedru kūļi, kas liecina par tvaika sprādziena nevienmērīgu ietekmi uz apstrādājamo paraugu, kā rezultātā netiek iegūts pilnīgs sašķīdrošanās efekts. Secināts, ka šo salipšanas defektu novēršanai nepieciešama atkārtota šķiedru vienkāršota malšana vai arī tūlītēja masas žāvēšana. Tiek veikti koksnes skaidu hidrotermiskās priekšapstrādes pētījumi pirolītisko cukuru ieguvei. Konstatēts, ka pie 220–250 °C ūdens fāzē būtiski samazinās cukuru un aldehīdu saturs, bet turpina palielināties organisko skābju saturs. Savukārt temperatūras intervālā 210–240 °C ūdens fāzē palielinās sausnes saturs, kas izskaidrojams ar ķīmisko savienojumu atkārtotām kondensācijas reakcijām. Turpinās koksnes torificēšanas procesa pētījumi. Noteikti rotējošās retortes optimālie darba apstākļi. Eksperimentāli parādīta sakarība starp retortes darba temperatūru un torificētā produkta siltumspēju [35].

Trešais galvenais uzdevums ir meklēt risinājumus produktu kompleksai izstrādei no mizām un koksnes komponentiem ar sintētiskiem vai rūpnieciskiem analogiem salīdzināmām vai labākām īpašībām un plašu lietošanas spektru dažādās tautsaimniecības nozarēs, paātrinot un ekonomiski uzlabojot tehnoloģiskos procesus. Izmantojot izstrādāto un optimizēto oksidēšanas priekšapstrādi ar amonija persulfātu termokatalītiskai destrukcijas metodei, iegūtas sfēriskas bērza un bakteriālās celulozes nanodaļiņas, kuras izmantotas biopolimēra plēvju iegūšanai un to īpašību uzlabošanai. Parādīts, ka, hitozāna matricā ievadot bērza un bakteriālās celulozes nanodaļiņas, tiek uzlabota stiepes stiprība un bioloģiskās īpašības. Tiek pētīta mikroviļņu (MW) priekšapstrādes ietekme uz koksnes un mizu ekstrakciju vērtīgu produktu ieguvei. Aprēķināta jaunās MW iekārtas viļņvada un rezonatora optimālā konfigurācija, izmantojot matemātiskās modelēšanas metodi un panākot elektriskā lauka



vienmērīgu intensitātes sadalījumu. Mikroviļņu izmantošana ekstrakcijas procesā ļauj 4–5 reizes samazināt enerģijas patēriņu uz 1 g izdalītā produkta, kā arī dod par apmēram 2 % lielāku ekstrakcijas iznākumu [35].

## **2.2. Inovatīvu produktu no meža biomasas un to pārstrādes tehnoloģiju izstrāde Ziemeļvalstīs**

Nozares, kas balstītas uz koksnes produktu ražošanu un pārveidošanu, strauji attīstās, un ar katru gadu tirgū parādās jauni inovatīvi materiāli vai ķīmiski savienojumi. Tāpat tiek uzlabots biomasas pārveidošanas process un izstrādātas jaunas tehnoloģijas, īpaši biorafinēšanas jomā, piedāvājot lētākas un vienkāršotākas ražošanas metodes.

Labi attīstās bioplastmasas ražošana. Tiek atrasti aizvien jauni tirgi iepakojumam un higiēnas precēm, ņemot vērā šo produktu augsto bioloģisko noārdāmību un produktu ilgtspējību.

Pateicoties inovatīvām mārketinga stratēģijām, tiek atrastas jaunas nišas elektronikas nozarē, pārklājuma materiālu un krāsu nozarē. Parādās daudzsološas pazīmes bioplastmasas izmantošanai automašīnu industrijā. Biotehnoloģiju materiālu jomā galvenokārt uzsvars ir bijis uz tirgus inovāciju. Jaunu materiālu (piemēram, putu koka-plastmasas kompozītmateriāli) ražošana ir veiksmīgi attīstījusies šie produkti jau ir reāli ienākuši Eiropas tirgū, un ir pazīmes, ka līdzīgus panākumus tie varētu sasniegt arī Āzijā. Daļai no inovatīvajiem koksnes produktiem, piemēram, CLT (krusteniski līmētiem paneļiem), ir atrasti jauni izmantošanas veidi.

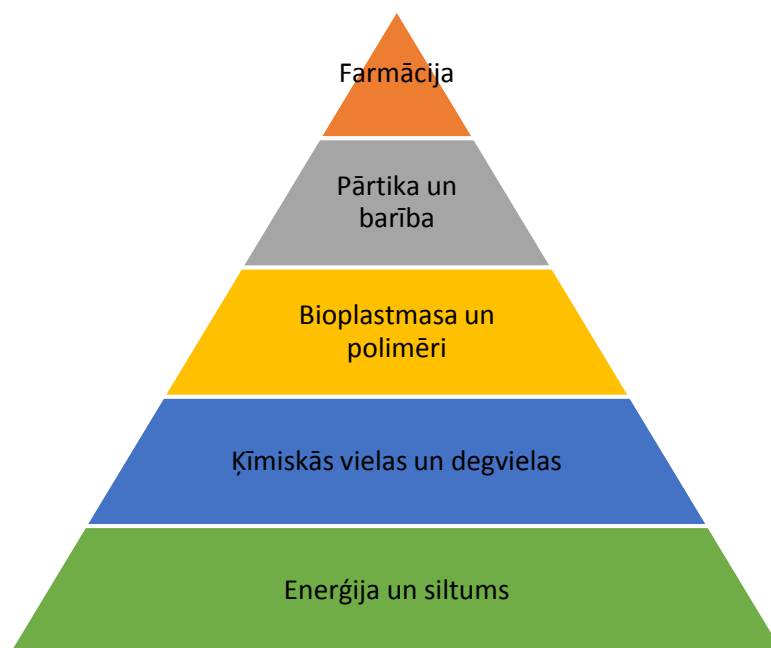
Ne visi inovatīvie produkti tiek ieviesti ražošanā un parādās tirgū. Lai izstrādātais produkts tiktu komercializēts, izstrādātājam jāņem vērā:

- izmaksu un tehnoloģiju pieejamība;
- tirgus gatavība un vēlme pieņemt produktu;
- mārketinga stratēģija.

Dažādas koksnes izstrādājumu nozares ir atvērtas inovācijām. Tomēr, lai sasniegtu maksimālo efektivitāti, ir jāattīsta ne tikai jauni produkti, bet vienlaikus jākoncentrējas arī uz inovācijām mārketingā un darbu organizēšanā [36].

Lai bioresursu, tajā skaitā mežizstrādes atlikumu, izmantošana būtu ilgtspējīga, ir pēc iespējas pilnīgāk jāizmanto bioresursu potenciāls. Ir jāveicina vērtīgāku produktu iegūšana, ievērojot biomasas vērtības potenciālu, primāri iegūstot produktus ar augstāku pievienoto vērtību medikamentus, bioloģiski aktīvas vielas, barības un pārtikas sastāvdaļas, tad celulozes šķiedras un pārpalikušās frakcijas izmantojot bioenerģijas ražošanai (2.1. attēls). Prognozējams, ka īpaša uzmanība nākotnē tiks pievērsta atjaunojamās degvielas transporta vajadzībām ražošanai un attīstībai.

Kā vislabākais risinājums zinātniskajā literatūrā tiek minēta integrētā biorafinēšana, kas ļautu pilnībā izmantot biomasas potenciālu. Tiek prognozēts, ka produktu ar augstu pievienoto vērtību cena, ļaus nosegt izejvielu un biorafinēšanas izmaksas.



2.1. attēls. Biomasas kaskādes veida izmantošana produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai.

### 2.2.1. Inovācijas meža biomasas pārstrādē Ziemeļeiropā

#### Norvēģija

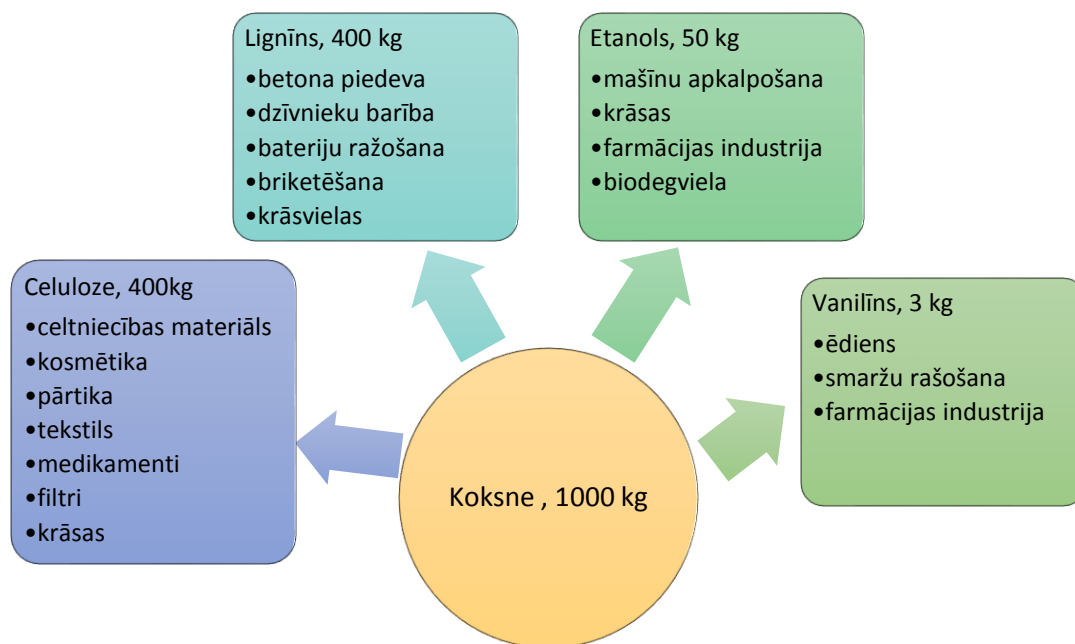
Norvēģijā ir attīstīts bioekonomikas sektors un ir pieejama biorafinēšanas tehnoloģiju infrastruktūra. 2.1. tabulā apkopoti tie uzņēmumi, kas nodarbojas ar mežizstrādes atlikumu pārstrādi.

2.1. tabula. Meža biomasas pārstrāde Norvēģijā

Uzņēmuma nosaukums	Atrašanās vieta	Pārstrādes tehnoloģija	Produkti
<i>Bio Oil AS</i>	Oslo	Biorafinēšana, pirolīze	Biodegvielas
<i>Borregaard Industries Ltd. Norge [37]</i>	<i>Sarpsborg</i>	Biorafinēšana, ķīmiskā pārstrāde	Vadošā lignocelulozes biorafinēšanas ražotne. Ķīmiskās vielas, celuloze, bioetanols, vanilīns.
<i>Eidsiva Bioenergi AS [38]</i>	<i>Gjøvik</i>	Bioenerģijas ražošana, sadedzināšana	Centralizētā siltumapgāde no koksnes produktiem un atkritumiem.
<i>Norske Skog Holding AS [39]</i>	<i>Lysaker</i>	Ķīmiskā pārstrāde, biogāze, bioenerģijas tehnoloģijas	Vadošais papīra ražošanas uzņēmums. Bioprodukti, biogāze, bioenerģija, ķīmiskās vielas.
<i>Standard Bio AS [40]</i>	Oslo	Biorafinēšana	Bioprodukti, pārtika un barība, minerālmēsli.
<i>Treklyngen Holding AS [41]</i>	<i>Hønefoss</i>	Biorafinēšana	Plāno ražot augstas pievienotas vērtības bioproduktus, biodegvielas.

Šobrīd Norvēģijā no meža biomasas biorafinēšanas ceļā tiek iegūts bioetanols, lignosulfonāti, šķīdinātā celuloze, vanilīns, mikrofibrilētā celuloze un ķīmiski termomehāniskā celuloze.

Uzņēmuma *Borregaard* celulozes un papīra ražotnē ir uzstādīta viena no lielākajām Eiropā biorafinēšanas iekārtām. *Borregaard* ražotne ir viena no lielākajām ražotnēm, kur tiek ražots etanols no meža biomasas (2.2. attēls).



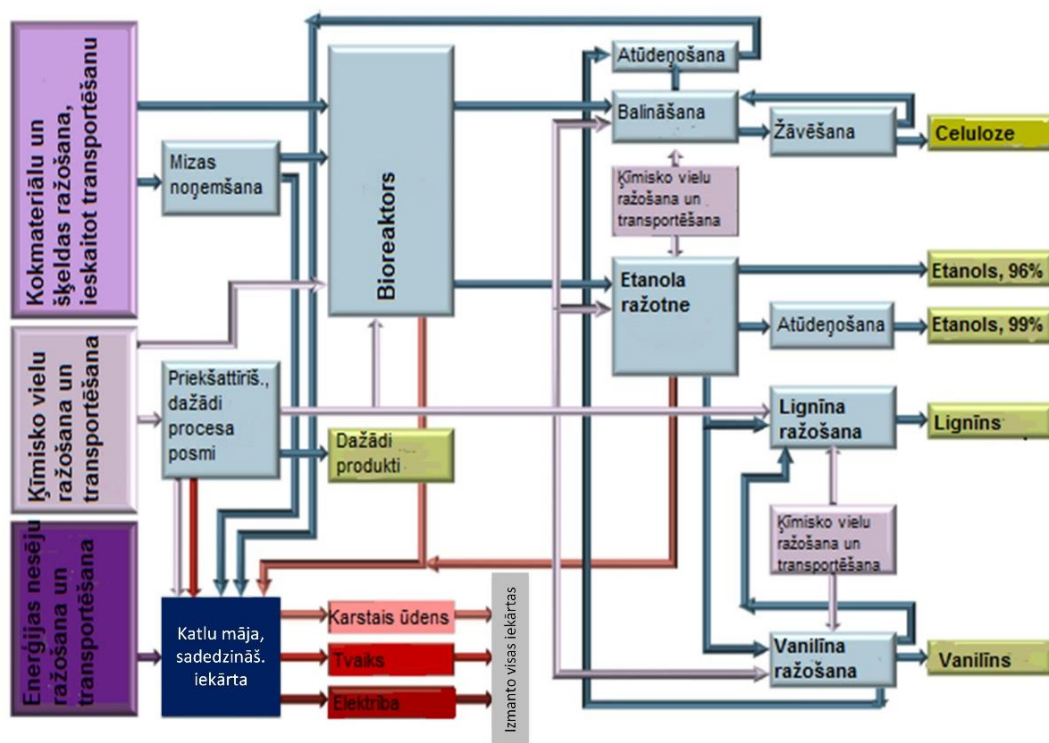
2.2. attēls. *Borregaard* biorafinēšanas iekārtas produktu shēma [42].

*Borregaard* pilnveido savu ražotni, īstenojot virkni modernizācijas pasākumu, kas ļauj pilnvērtīgāk izmantot meža resursus, ražojot jaunus bioproduktus. Potenciālie jaunie attīstības produkti ir mikrofibrilā celuloze (MFC – *microfibrillated cellulose*), proteīni un uz cukura bāzes veidotas ķīmiskās vielas [43]. Uzņēmuma ražošanas procesu shēma parādīta 2.3. attēlā.

Norvēģijas zinātnieki šobrīd pastiprināti pēta šādas jomas:

- C6 un C6/C5 cukuri;
- lignīna izmantošana;
- hidrotermiskā sašķidrināšana;
- pirolīzes eļļas;
- gazifikācija;
- konceptuāli jaunu, videi draudzīgu biomateriālu, tādu kā biokompozītmateriāli, biokosmētika, nanoceluloze, izstrāde;
- biorafinēšanas iekārtu procesa modelēšana, dizains, inženiertehniskie risinājumi;
- biomasas resursu termālās pārveidošanas modeļa izstrāde, ieskaitot paralēlu gazifikācijas un biokarbonizēšanas produktu reaktoru darbību;
- biorafinēšanas procesa uzlabošana, izmantojot sistēmu bioloģiju, metabolisko inženieriju, sintētisko bioloģiju utt.;
- industriālo enzīmu biomasas pārveidošana;

- bioprocesu tehnoloģiju pētījumi;
- pētījumi par meža biomasas izmantošanas iespējām produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai [44].



2.3. attēls. Borregaard uzņēmumu ražošanas procesu shēma [45].

Norvēģijas zinātnieki un uzņēmumi pastiprināti pēta termokīmiskos (gazifikācija, karbonizācija, pirolīze, hidrotermiskā sašķidrināšana) un bioķīmiskos (fermentācija, enzīmu pārvērtība, anaerobā fermentācija) risinājumus biomasas pārveidošanai. Norvēģijā izpētei nepieciešamā zinātniskā un tehniskā kapacitāte ir vairākām zinātniskajām institūcijām, piemēram, SINTEF MK (gazifikācija, hidrotermiskā sašķidrināšana, ķīmiskā katalīze), SINTEF ER (gazifikācija, sadedzināšana, karbonizācija, pirolīze) PFI (pirolīze), UiA (gazifikācija) HiT (gazifikācija) un NTNU (gazifikācija). Bioķīmiskās pārveidošanas procesu pētīšanai nepieciešamās iekārtas ir pieejamas, piemēram, NMBU (anaerobā fermentācija, enzīmu pārvērtība, fermentācija), SINTEF MK (fermentācija, enzīmu pārvērtība, anaerobā fermentācija), NAMAB/NOFIMA (enzīmu hidrolīze), BIOFORSK (anaerobā fermentācija), un UiA (anaerobā fermentācija). Biomasas priekšattīrīšanas iekārtas ir pieejamas PFI (mizošana, tvaika sprādziens), NMBU (tvaika sprādziens), HiT (fiziskā un enzīmu hidrolīze), BIOFORSK (tvaika sprādziens). Procesa dizaina, modelēšanas un uzlabošanas izpēti tiek veikta SINTEF MK, NMBU, NTNU, HiT un NOFIMA [45] [43] [44].

### Somija

Somija ir viena no līdervalstīm bioenerģijas izmantošanā. Koksne un koksnes materiāli ir galvenā izejviela no biomasas iegūtās enerģijas ražošanai. Somijā meža un lauksamniecības biomasa ir galvenās bioloģiskās biorafinēšanas izejvielas.

Somijā norit šķidrās biodegvielas transportlīdzekļu vajadzībām izstrāde no meža biomasas, tajā skaitā koku galotnēm, celmiem, zariem un citiem mežizstrādes atkritumiem. Šobrīd

notiek vispiemērotāko biorafinēšanas tehniku testēšana. Lapēnrantā, Somijā, ir uzsākta pirmā atjaunojamās biodīzeļdegvielas no meža biomasas komerciālā ražošana. Plānotā ražošanas jauda ir 100 000 tonnu biodīzeļa gadā.

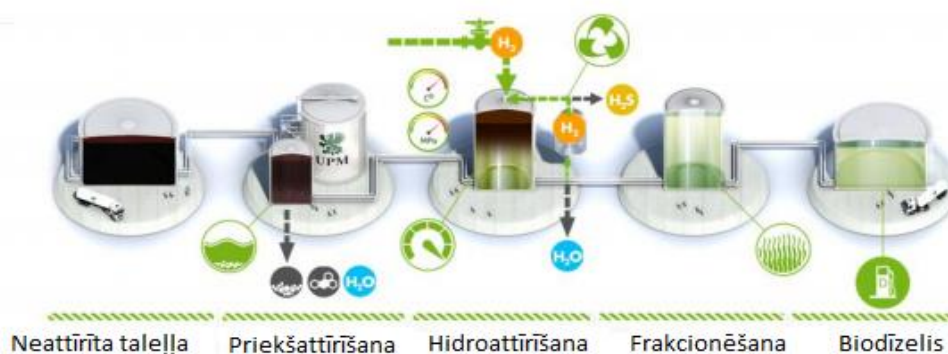
Šobrīd notiek Somijā lielākās bioproduktu ražotnes celtniecība. Tiek plānots, ka uzņēmumā, kas plāno uzsākt darbību 2017. gadā, tiks saražoti 1,3 miljoni tonnu celulozes gadā un citi bioprodukti: taleļļa, terpentīns, lignīna produkti, elektrība un cietais kurināmais. Ražotne tiek būvēta esošās celulozes ražošanas rūpnīcas teritorijā. Plānots kā izejmateriālu izmantot tikai meža biomasu. Tā kā papīra ražošanas apjomi ir samazinājušies, meža industrija meklē jaunas biznesa iespējas, koksnes šķiedras pārstrādājot biokompozītmateriālos, bioķīmiskās vielās utt.

2.2. tabula. Meža biomasas pārstrāde Somijā

Uzņēmuma nosaukums	Atrašanās vieta	Pārstrādes tehnoloģija	Produkti
<i>BioVerno [46]</i>	<i>Lappeenranta</i>	Biorafinēšana, pirolīze	Biodīzeļdegviela
<i>Metsä Group [47]</i>	<i>Äänekoski</i>	Celulozes un papīra ražotne, bioproduktu pārstrādes iekārta	Pulpa (celuloze), taleļļa, terpentīns, lignīna produkti
<i>Fortum</i>	<i>Joensuu</i>	Pirolīze (rotējošais slānis), priede, 10000 kg/h	Biodegviela, 6313 kg/h
<i>Valmet</i>	Tampere	Pirolīze	Biodegviela

Lapēnrantā 2015. gadā uzņēmumā *BioVerno* uzbūvētā biorafinēšanas iekārta ir lielākā koksnes biodīzeļa ražotne Eiropā. Uzņēmums gada laikā saražo 100 000 tonnu biodegvielas. Kā izejmateriāls biodegvielas ražošanai tiek izmantota taleļļa. Tā tiek iegūta uzņēmumam blakus esošajā celulozes un papīra fabrikā. Koksnes taleļļas biodīzeļa ražošana tiek veikta, izmantojot vairākpakāpju ražošanas procesus. Tehnoloģijas pamatā ir hidroattīrīšana. Ražošanas fāzes ietver:

- neattīrītas taleļļas priekšattīrīšanu;
- hidroattīrīšanu;
- hidrokarbonātu atdalīšanu;
- reciklētās gāzes attīrīšanu;
- frakcionēšanu, kuras rezultātā tiek atdalīts dīzelis un neliels atjaunojamās naftas daudzums (skat. 2.4. attēlu).



2.4. attēls. Biodegvielas no koksnes ražošanas shēma Somijas uzņēmumā BioVerno [37].

Ražotnes kopējās investīciju izmaksas ir 175 000 000 eiro.

Zinātniskā izpēte par meža biomasas izmantošanas iespējām Somijā:

- ar Somijas Nodarbinātības un ekonomikas ministrijas atbalstu, uzsākta iekārtas komercializētai celulozes etanola ražošanai būvniecība *Myllykoski*;
- somu uzņēmumi kopā ar ASV uzņēmumu *Andritz Carbona* izstrādā gazifikācijas iekārtu biodegvielas ražošanai no meža biomasas. Iekārtas testēšana tika veikta ASV;
- *UPM*, *Metso* un *Fortum* sadarbībā ar VTT Somijas tehniskās izpētes centru izstrādājuši jaunu konceptu meža biomasas biodegvielas ražošanai, kas varēs aizvietot fosilo kurināmo. Biodegvielas ražošana ir integrēta biomasas elektrības ražošanas stacijā. Ilgtermiņa mērķis ir izmantot biodegvielu transporta vajadzībām;
- *UPM*, *Fortum* un *Valmet* izstrādā tehnoloģijas uzlabotas lignocelulozes biodegvielu ražošanai. Projekta nosaukums ir *Lignocat* (lignocelulozes degvielas, izmantojot katalītisko pirolīzi);
- somu uzņēmums *UPM* plāno uzsākt uzlabotu meža biomasas biodegvielu ražošanu biorafinēšanas rūpnīcā, kas tiek būvēta Strasbūrā, Francijā. Eiropas Savienība ir piešķīrusi 170 000 000 eiro šī projekta īstenošanai;
- *Green Fuel Nordic Oy Kuopio* izstrādā meža biomasas biorafinēšanas iekārtu, kas atradīsies Savonlinnā. Ātrā termālā procesa pārstrādes ietvaros ir plānots saražot 90000 tonnu biodegvielas gadā;
- *NSE Biofuels Oy Varkaus* sadarbībā ar *Stora Enso* un *Neste Oil* atlikumus no *Varkaus* celulozes ražotnes gazifikācijas procesā plāno pārveidot par singāzi;
- Lapēnrantas Tehnoloģiju universitāte strādā pie cukura un saldinātāju ražošanas no meža biomasas [44] [46] [48] [49];
- Uzņēmums *Kaidi* plāno uzbūvēt biorafinēšanas iekārtu biodīzeļa ražošanai Kemi. Plānotā ražotnes jauda 2 milj.m<sup>3</sup> koksnes gadā. Investīcijas plānotas 1 miljarda eiro apjomā. Plānots, ka ražošana tiks uzsākta 2019. gadā.

## Zviedrija

Zviedrija ir viena no vadošajām valstīm transporta biodegvielas ražošanā un izmantošanā. Zviedrijā tiek attīstīta infrastruktūra transporta biodegvielas komercializēšanas vajadzībām. Tajā pašā laikā papildus biodegvielām (pārsvarā bioetanols), biorafinēšanas iekārtās tiek

ražotas dažādas ķīmiskās vielas (tai skaitā farmācijas izejvielas un minerālmēsli), pārtikas piedevas un dzīvnieku barība.

Zviedrijā ir plašs celulozes un papīra rūpniecības tīkls. Daļā no esošajām rūpnīcām jau ražo vai plāno ražot blakusproduktus (2.3. tabula).

2.3. tabula. Blakusproduktu ražošana Zviedrijas celulozes un papīra rūpnīcās

Uzņēmuma nosaukums	Atrašanās vieta	Blakusprodukti
<i>Aditya Birla Domsjö Fabriker</i>	<i>Örnsköldsvik</i>	Lignosulfonāts, etanols, tekstila šķiedras
<i>BillerudKorsnäs AB</i>	<i>Brövi</i>	Bioplastmasa
<i>Stenqvist</i>		Iepakojums

Zviedrijā tiek prognozēts, ka nākotnē aizvien vairāk tiks ražotas biodegvielas un citi produkti ar augstu pievienoto vērtību:

- Zviedrijā interesējas par ķīmisko vielu ražošanu no biomasas, un vislielākā interese šobrīd ir par cukuriem un ligno bāzes produktiem. Galvenā interese ir par šādiem produktiem:
  - ķīmiskām vielām, tādām kā diacīds, dihidroksipropionskābe, asparagīnskābe utt. Šīs vielas ir pieprasītas lielos apjomos, tāpēc garantēts ir to noiets. Šīs vielas tiek izmantotas polimēru celtniecības bloku ražošanā un bioplastmasā;
  - bioplastmasām;
  - speciālām ķīmiskām vielām (lubrikantiem, virsmaktīvām vielām);
  - parafarmācijas vielām;
  - minerālmēsliem;
  - pārtikas produktiem un barību. Plānots sākt pārtikas produktu ražošanu no meža resursiem, ražojot dzīvnieku barību un medikamentus (antioksidantus, prebiotiskus utt.);
  - biotehnoloģiskajiem risinājumiem (bioloģisko komponentu vai/un enzīmu izmantošana), izmantojot cukuru atvasinājumus par oglekļa bāzi. Pieejamas izstrādes par monometrisko un dimetrisko cukuru ražošanu no resursiem, kas pieļauj mikroorganismu augšanu, kuri tiek izmantoti kā metabolīti vai katalīti.
- Kā viens no intereses objektiem ir arī priekšattīrīšanas izstrāde un uzlabošana, kas ļauj koka skaidas izmantot etanola ražošanā.
- Ģenētiskās inženierijas un biokatalītiskās platformas pētījumos tiek radītas virsmaktīvās vielas un pētīti jauni farmaceitiskie proteīni.
- Mikrobioloģiskās izpētes pamatā ir cukuri, un tā ir saistīta ar tehnoloģijām, kas nodrošina bioetanola ražošanu, izmantojot rauga šūnas.
- Atdalīšanas tehnoloģijas ir balstītas uz membrānu tehnoloģiju izmantošanu.

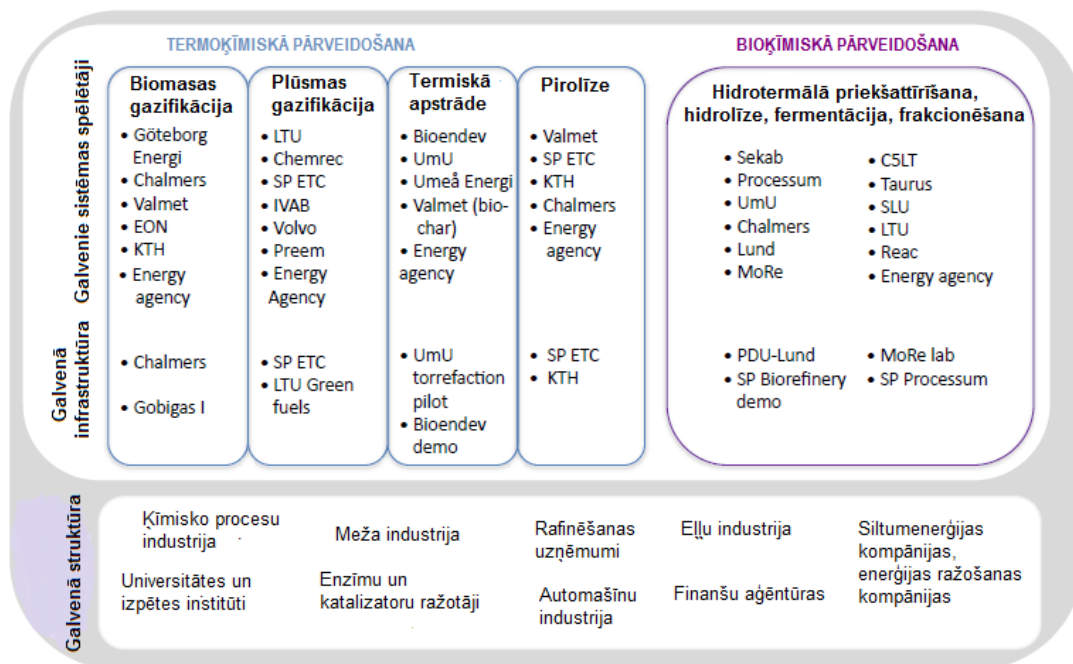
Zviedrijas inovāciju sistēmas, kas saistītas ar meža biomasas izmantošanas pētījumiem, stiprās puses ir:

- ilgtermiņa finansējums zinātnei;

- attīstīta zinātnes infrastruktūra;
- spēcīgs iesaistīto pušu tīkls. Tas sekmē Zviedrijas inovāciju attīstību.

Kavējošie faktori ir:

- vāja starpministriju koordinācija;
- industriālās kapacitātes trūkums;
- neskaidras lomas utt.



2.5. attēls. Inovācijas sistēmas spēlētāji Zviedrijā [50].

Zviedrijas integrētās biorafinēšanas tehnoloģiskās inovācijas sistēmas galvenie spēlētāji ir redzami 2.5. attēlā.

## 2.2.2. Inovācijas meža biomasas pārstrādē Ziemeļamerikā

### Kanāda

Kanāda kā valsts ar lielu teritoriju un lieliem meža resursiem domā par dažādiem meža biomasas ilgtspējīgākas izmantošanas veidiem, tajā skaitā koksnes izmantošanu elektrības ieguvei (līdzsadedzināšana ogļu stacijās) un biorafinēšanu [51].

Kanādā, meklējot inovatīvus risinājumus meža biomasas izmantošanai, netiek aizmirsts tradicionālais koksnes izmantošanas veids – būvniecībai. Tiek akcentēts, ka koka būvkonstrukcijas pašlaik aizņem apmēram 17 % no tirgus daļas, bet tā potenciāls ir 50–65 %. Kā būtiska inovācija, kas šajā ziņā pārliecinoši turpina ieņemt būvkonstrukciju tirgu, ir CLT (*cross laminated timber*) paneļi [52], kā arī citi koka konstrukciju veidi, piemēram, glulam (slāņveida liektas sijas).



2.24. tabula. Meža biomasas pārstrāde Kanādā

Uzņēmuma nosaukums	Atrašanās vieta	Pārstrādes tehnoloģija	Produkti
<i>ABRITech</i>	Kvebeka	Pirolīze, 2000 kg/h skujkoku mizas	Biodegviela, 1300 kg/h, singāze, 320 kg/h
<i>Ensyn</i>	Renfrew	Pirolīze (cirkulējošais verdošais slānis), 2500 kg/h mežizstrādes atkritumu	Biodegviela, 1720 kg/h
<i>Lignol Innovations Ltd.</i>	Burnaby	Termoķīmiskā pārstrāde	Etanols, lignīns

Tāpat kā citās valstīs, arī Kanādā uzmanība tiek pievērsta netradicionālām koksnes izmantošanas iespējām, piemēram, automašīnu industrijā. Kokšķiedras tiek izmantotas, lai ražotu vieglus kompozītmateriālus ar augstu stiprību. Lignīns tiek izmantots kā viena no sastāvdaļām riepu ražošanā. Koksnes putekļi – kā komponents automobiļu iekšējai apdarei. Tādējādi tiek samazināta automašīnu ietekme uz vidi un klimatu. Pastiprināta pētījumu uzmanība vērsta arī uz produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanu, izmantojot no koksnes iegūstamos ķīmiskos savienojumus, piemēram, kosmētikā. Tiek attīstītas iespējas no celulozes iegūšanas pāri palikušo lignīnu izmantot 3D drukāšanai nepieciešamā substrāta izgatavošanai [53].

### Amerikas Savienotās Valstis

Neskatoties uz to, ka Amerikas Savienotās Valstis ir bagātas ar fosilajiem resursiem, arī tur notiek aktīvi pētījumi par bioresursu izmantošanu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai, tātad – valsts attīstību atbilstoši bioekonomikas pamatprincipiem. Turklāt viens no galvenajiem iemesliem, kāpēc uzņēmēji, patērētāji un valdība cenšas palielināt bioproduktu tirgus daļu, ir tieši vēlme mazināt atkarību no naftas pārstrādes produktiem, kas nāk no citām valstīm. Šobrīd no inovatīvajiem bioproduktiem visplašāk tiek ražota bioplastmasa, lubrikanti, šķīdinātāji, virsmaktīvās vielas un citi bioloģiski ķīmiskie izstrādājumi [54].

2.5. tabula. Meža biomasas pārstrāde ASV

Uzņēmuma nosaukums	Atrašanās vieta	Pārstrādes tehnoloģija	Produkti
<i>Frontier Renewable Resources</i>	Kincheloe	Termoķīmiskā pārstrāde	Etanols, 60000 t/gadā, lignīns
<i>LanzaTech, Inc</i>	Georgija	Termoķīmiskā pārstrāde	Etanols, 15000 t/gadā
<i>Mascoma Corporation</i>	Rome	Termoķīmiskā pārstrāde	Etanols, 500 t/gadā, lignīns
<i>Abengoa</i>	Hadsona	Biorafinēšana	Etanols
<i>Haldor Topsoe</i>	Ilinoisa	Biorafinēšana	Biodīzeļdegviela
<i>Zechem</i>	Oregona	Biorafinēšana	Etanols un ķīmiskās vielas
<i>Red Rock Biofuels</i>	Lakeview	Gazifikācija	Biodīzelis

ASV jau pastāv relatīvi daudz uzņēmumu, kas nodarbojas ar dažādu produktu izgatavošanu no meža biomasas, tajā skaitā arī ar produktu ar augstu pievienoto vērtību. Joprojām izplatītākie no šiem produktiem ir enerģētikas nozares produkti. Daži piemēri apkopoti 2.5. tabulā.

Galvenie bioproduktu izpētes virzieni Amerikas Savienotajās Valstīs ir līdzīgi kā citās:

- ķīmikālijas (bioplastmasa ar plastmasas no naftas pārstrādes produktiem pievienošanu un bez tās, biolubrikanti, biošķīdinātāji, bioloģiskas virsmaktīvās vielas, biosintētika);
- tradicionālo biomasas pārstrādes veidu blakusprodukti;
- biofarmācija;
- mikroorganismi un enzīmi;
- krāsvielas;
- plaša patēriņa preces (mēbeļu, mājsaimniecības preču, higiēnas preču, autobūves, būvniecības un pārtikas nozarēs) [54].

2012. gadā ASV izstrādāts Nacionālais bioekonomikas projekts. Kā galvenās bioekonomikas tendences izvirzīti veselība, enerģija, lauksaimniecība, vide un sadarbība. Šajā dokumentā mežsaimniecībai un meža biomasas izmantošanai bioekonomikas kontekstā netiek pievērsta pastiprināta uzmanība, tomēr tas nenozīmē, ka plānotais valsts atbalsts un izmaiņas normatīvajos aktos, lai veicinātu bioresursu ilgtspējīgu izmantošanu, netiek attiecināts arī uz meža biomasas izmantošanu [55].

### 3. Bioresursu pārstrādes tehnoloģijas

Šajā nodaļā apskatītas bioresursu pārveides tehnoloģijas, kas izmantojamas meža bioresursu un to atlikumu pārstrādei. Šīs pārstrādes tehnoloģijas apskatītas atsevišķi, tomēr visbiežāk biomasas pārstrādes procesi ietver vairākus tehnoloģijas veidus.

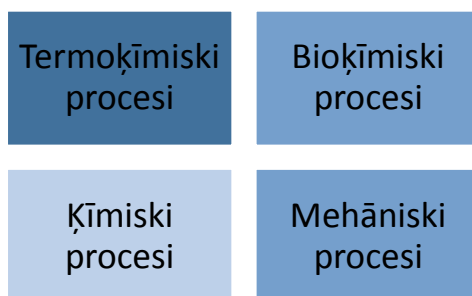
Biomasas pārstrāde ietver plašu tehnoloģiju klāstu, ko izmanto, lai no biomasas izejvielas (koksne, zāle, lauksaimniecības kultūras, organiskie atkritumi u. c.) izdalītu tās sastāvā esošos ogļūdeņražus, proteīnus, triglicerīdus un citas vielas, ko var izmantot produktu ražošanā. Biomasas pārveide enerģijā, degvielā un produktos notiek ar dažādu pārveides procesu vai to kombināciju palīdzību.

Savu metodiku biomasas pārstrādes procesu un galaproduktu klasifikācijai ir piedāvājusī Starptautiskā Enerģētikas aģentūra. Metodikas pamatā ir ideja, ka ikvienu individuālu biomasas pārstrādes sistēmu ir iespējams raksturot četros dažādos aspektos [56]:

- tehnoloģiju platforma;
- produkti;
- izejviela;
- procesi.

Lai no bioresursiem ražotu biodegvielas, bioķīmiju, biomateriālus, pārtiku un lopbarību, tiek izmantoti dažādi pārveides procesi. Vispārīgi biomasas pārveides procesi iedalāmi četrās lielās grupās (3.1. attēls) [57]:

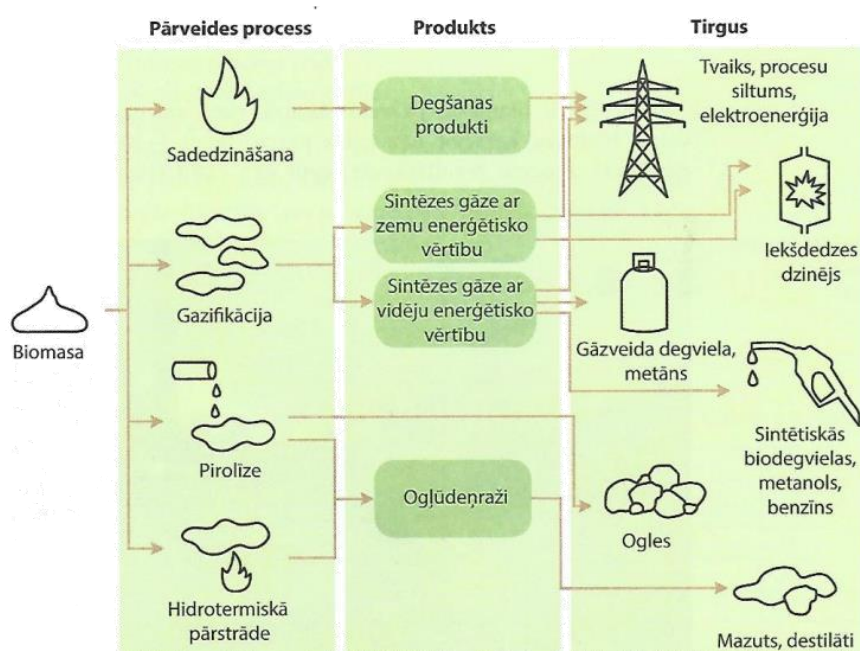
- bioķīmiskie procesi (fermentācija un anaerobā fermentācija), kas noris “vieglākos” apstākļos (zemākā temperatūrā un spiedienā), izmantojot mikroorganismus un enzīmus;
- termokīmiskie procesi (sadedzināšana, gazifikācija, pirolīze, hidrotermiskā pārveide), kur izejvielas nonāk “ekstremālos” apstākļos (ļoti augsta temperatūra un/vai spiediens, izmantojot vai neizmantojot katalizatoru);
- mehāniskie procesi (ekstrakcija, šķiedru atdalīšana, presēšana, mehāniskā frakcionēšana, destilācija u. c.), kas nemaina biomasas ķīmisko sastāvu, bet panāk daļiņu samazinājumu vai atsevišķu komponentu izdalīšanu no biomasas izejvielas;
- ķīmiskie procesi (hidrolīze, pāresterifikācija, hidrogenēšana, oksidācija u. c.), kuru laikā notiek ķīmiskas izmaiņas substrātā.



3.1.attēls. Bioresursu tehnoloģisko pārveides procesu klasifikācija.

### 3.1. Bioresursu termoķīmiskie pārveides procesi

Termoķīmiskā biomasas pārveide nozīmē paaugstinātas temperatūras un spiediena ietekmi uz biomasu, lai sarautu biomasas struktūru veidojošās ķīmiskās saites un atbrīvotu enerģiju vai nu tiešā veidā kā sadedzināšanas procesā, vai ķīmiskās pārveides ceļā, iegūstot tālāk izmantojamus produktus. Termoķīmiskie biomasas pārveides procesi, enerģijas nesēji un galaprodukti no biomasas izejvielām ir ilustrēti 3.2. attēlā [58].



3.2.attēls. Termoķīmiskie bioresursu pārveides procesi [58].

Šajā nodaļā tiks apskatīti galvenie bioresursu termoķīmiskie pārveides procesi, kurus var pielietot meža biomasas pārveidei.

#### 3.1.1. Pirolīze

Pirolīze ir biomasas pārveide šķidrā, cietā vai gāzveida stāvoklī, biomasu karsējot bez gaisa pievadīšanas (~ 500 °C temperatūrā). Procesa rezultātā var iegūt gan cietu (bioogles), gan šķidru (bioeļļu), gan gāzveida produktu. Šī iemesla dēļ pirolīzi komerciāli izmanto dažādu produktu ražošanai, ieskaitot degvielas, šķīdinātājus, ķīmikālijas. Ir trīs pirolīzes procesa veidi [59]:

- lēnā pirolīze jeb karbonizācija;
- ātrā pirolīze;
- superātrā pirolīze.

Atkarībā no pirolīzes procesa parametriem (temperatūras un procesa ātruma) mainās attiecība, kādā iegūst galaproduktus:

- šķidrā agregātstāvoklī – bioeļļu;
- cietā agregātstāvoklī – bioogles;
- gāzveida agregātstāvoklī – sintēzes gāzi.

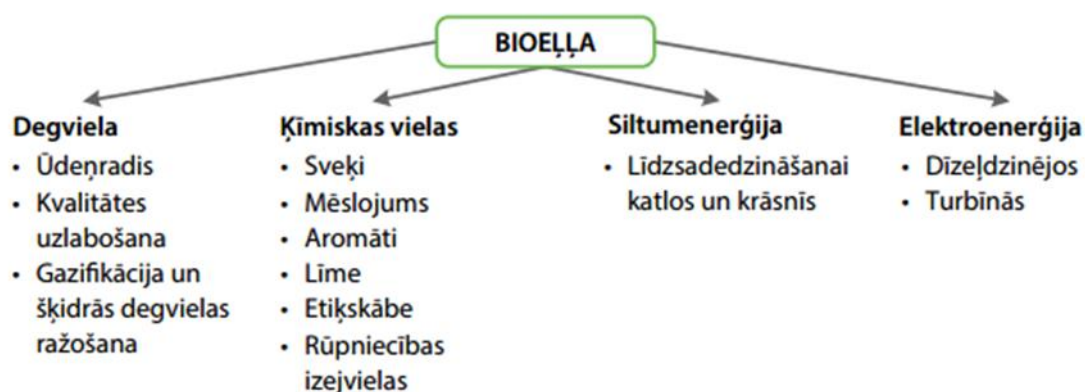
Bioogles ir cieta viela vai materiāls ar kokoglei līdzīgām īpašībām. Bioogļu augstākais sadegšanas siltums ir vidēji 26 MJ/kg, kas ir tuvu vidējas kvalitātes akmeņogļu augstākā sadegšanas siltuma vērtībai.

Pirolīzes sintēzes gāze sastāv galvenokārt no ūdeņraža un oglekļa monoksīda, bet nelielos daudzumos satur oglekļa dioksīdu, ūdeni, slāpekli un ogļūdeņražus  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , darvu, pelnus u. c. piejaukumus atkarībā no izejviela sastāva un pirolīzes procesa apstākļiem. Sintēzes gāzi no biomasas pirolīzes var izmantot kā degvielu iekšdedzes dzinējos vai rūpnieciskajos degšanas procesos.

Bioeļļa ir šķidrums, kas galvenokārt sastāv no ūdens, organiskajām skābēm, dažādiem ogļūdeņražu savienojumiem un citiem komponentiem. Bioeļļai ir plašas lietojuma iespējas (skatīt 3.3. attēlu). Bioeļļu var izmantot tiešā veidā, sadedzinot kurtuvēs vai citā aprīkojumā ar tiešu degvielas padevi. Tomēr jāņem vērā, ka, lai izmantotu bioeļļu, tai piemītošo īpašību dēļ (augsts skābums, kas izraisa koroziju, nestabilitāte uzglabājot un pārvadājot, polimerizācija, pakāpeniska viskozitātes palielināšanās u. c.) ir jāveic pielāgošanas pasākumi. Tie var būt vērsti gan uz aprīkojuma pielāgošanu, gan bioeļļas priekšapstrādi. Turklāt bioeļļai ir salīdzinoši zema enerģētiskā vērtība: tās augstākais sadegšanas siltums ir aptuveni 20 MJ/kg [57].

Bioeļļu ir iespējams gazificēt un iegūt pirolīzes eļļas sintēzes gāzi. Tas paver iespējas ražot sintētisko degvielu, ar ko iespējams aizstāt fosilo transporta degvielu. Par sintēzes gāzi vairāk aprakstīts turpmākajās apakšnodaļās. Transporta degvielu no bioeļļas var ražot arī, uzlabojot tās kvalitāti. Bioeļļas kvalitātes uzlabošanas procesa mērķis ir atbrīvoties no bioeļļas sastāvā esošā skābekļa, un to dara ar katalizatora palīdzību [60].

Bioeļļa satur vairāk nekā 300 ķīmisku vielu, līdz ar to pastāv iespēja izmantot bioeļļu arī dažādu ķīmisku vielu un materiālu ražošanā. No bioeļļas var iegūt, piemēram, lignīnu, dažādus ogļūdeņražus un pārtikas rūpniecībā izmantojamas vielas. Tomēr jāņem vērā, ka daudzu elementu koncentrācija bioeļļā ir ļoti zema un to atgūšana no bioeļļas šobrīd nav ekonomiski pamatota.



3.3.attēls. Bioeļļas izmantošanas risinājumi [60].

No bioeļļas var iegūt arī ūdeņradi, izmantojot tvaika reformāciju, daļēju oksidāciju, superkritisko ūdens reformāciju un citas metodes. Galvenais izaicinājums, iegūstot ūdeņradi no bioeļļas, ir katalizatora deaktivizācija, ko izraisa koksēšana. Daudzi pētījumi [61], [62], [63] notiek tieši šajā jomā, lai atrastu jaunus katalizatorus nepārtrauktai ūdeņraža ieguvei no

bioeļļas. Bioeļļas fizikālās īpašības (lipīgums, sveķiem līdzīgā kvalitāte) padara to piemērotu izmantošanai arī citiem nolūkiem, piemēram, kā asfalta saistvielu, aizstājot līdz šim izmantotos naftas produktus.

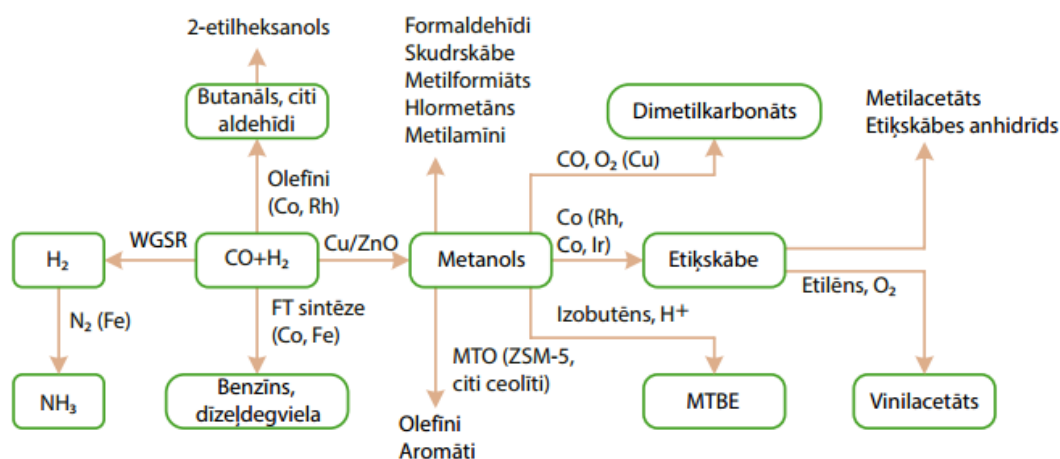
### 3.1.2. Gazifikācija

Gazifikāciju cilvēki pazīst un izmanto jau vairāk nekā 100 gadus, kad no ogļēm un kūdras tika iegūta gāze apsildei, ēdiena gatavošanai un arī apgaismojumam. Eiropā gazifikācija ienāca Otrā pasaules kara laikā, kad, iztrūkstot naftas piegādēm, no koksnes šķeldas tika ražota gāze transportlīdzekļu darbināšanai un elektroenerģijas ražošanai [58].

Galvenais biomasas gazifikācijas procesa princips ir cietās biomasas pārveidošana gāzveida produktos. Tas notiek, izmantojot daļēju biomasas oksidāciju augstā temperatūrā. Temperatūras diapazons ir robežās no 700 līdz 1500 °C, un spiediens var sasniegt 30 atmosfēras. Kā oksidējošo aģentu izmanto ne tikai gaisu, bet arī tīru skābekli, tvaiku vai šo gāzu maisījumu [57].

Gazifikācijas procesā iegūto gāzi, sauktu arī par sintēzes gāzi, veido CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> un citi ogļūdeņraži, kā arī piesārņotāji (cietās daļiņas, darva, slāpekļa savienojumi, sēra savienojumi, sārmu metālu savienojumi). Sintēzes gāzes sastāvu un kvalitāti lielā mērā ietekmē biomasas izejvielas fizikālās un ķīmiskās īpašības (pelnu un mitruma saturs, organisko vielu sastāvs).

Sintēzes gāzi var izmantot, gan tiešā veidā sadedzinot, gan kā degvielu gāzes dzinējos un turbīnās elektroenerģijas un siltumenerģijas ražošanai. Tāpat sintēzes gāzi ir iespējams izmantot kā izejvielu citu produktu ražošanā, piemēram, izdalot ūdeņradi, vai lai ķīmiskās sintēzes ceļā ražotu dažādus ķīmiskās rūpniecības produktus, piemēram, amonjaku.



Izmantotie saīsinājumi:

WGSR – ūdens tvaika katalītiskā konversija ar oglekļa monoksīdu

FT sintēze – Fišera-Tropša sintēze

MTO – olefinu sintēze no metanola

MTBE – metiltertbutilēteris (benzīna piedeva oktāna skaitļa palielināšanai)

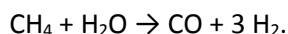
3.4.attēls. Sintēzes gāzes lietojuma iespējas [64].

### Sintēzes gāzes lietojums ūdeņraža ražošanā

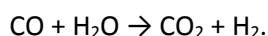
Ūdeņradis ir viena no svarīgākajām rūpnieciskajām ķīmiskajām vielām. Ūdeņradi plaši izmanto ne vien metanola un amonjaka ražošanā, bet arī tauku un eļļu hidrogenēšanai

pārtikas rūpniecībā, kā arī desulfurizācijas un reģenerācijas procesos benzīna pārstrādes rūpniecībā.

Šobrīd 95 % ūdeņraža tiek iegūti no fosilajām izejvielām: dabasgāzes, naftas un oglēm. Ūdeņraža ieguve no dabasgāzes notiek metāna pārtvaices procesā, kurā metāns 3–25 bāru spiedienā katalizatora klātbūtnē reaģē ar ūdens tvaiku augstā temperatūrā (700–1000 °C). Reakcijas rezultātā rodas ūdeņradis, oglekļa monoksīds un nelielā daudzumā oglekļa dioksīds:



Otrajā procesa solī iegūtais gāzu maisījums kopā ar ūdens tvaiku tiek laists pāri katalizatoram. Oglekļa monoksīds katalizatora klātbūtnē reaģē ar tvaiku, radot oglekļa dioksīdu un papildu ūdeņradi:



Ūdeņraža ražošana no dabasgāzes ir šobrīd vislētākais un visplašāk izmantotais paņēmiens. Tomēr jāņem vērā, ka dabasgāze ir fosilais resurss. Alternatīva iespēja ir ūdeņradi ražot no biomasas sintēzes gāzes.

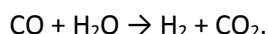
Ūdeņraža ieguve no biomasas sintēzes gāzes notiek līdzīgi kā no dabasgāzes. Sintēzes gāze tiek attīrīta, atdzesēta un saspiesta. Primārajā procesa solī sintēzes gāzes sastāvā esošais metāns un augstākie ogļūdeņraži tiek pārvērsti  $\text{H}_2$  un  $\text{CO}$  (temperatūra reaktorā ir 800–850 °C), un ūdens tvaika katalītiskajā reakcijā ar  $\text{CO}$  liela daļa  $\text{CO}$  un ūdens tiek pārvērsta  $\text{H}_2$  un  $\text{CO}_2$ . Atlikušais  $\text{CO}$  tiek izlietots reakcijās augstas (370–435 °C) un zemas temperatūras (220 °C) reaktos. Vēlāk ūdeņradis ir jāatdala no pārējo gāzu plūsmas, kas sastāv galvenokārt no  $\text{CO}_2$ , neizreagējušā  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$  un citiem ogļūdeņražiem. Šim nolūkam var izmantot, piemēram, PSA (spiediena maiņas adsorbcijas) vai membrānu separācijas sistēmas.

### ***Sintēzes gāzes lietojums 2. paaudzes biodegvielas ražošanai***

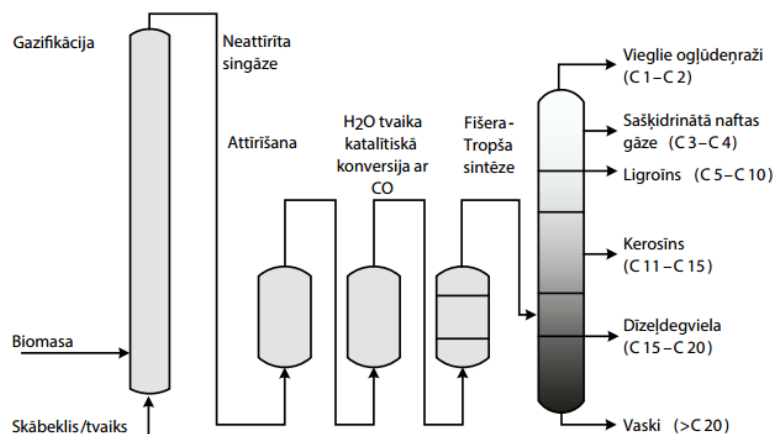
Šķidrās biodegvielas ražošanai no sintēzes gāzes izmanto Fišera-Tropša (FT) procesu. FT process ir pazīstams kopš 1920. gada, kad to radīja vācu izgudrotāji Francs Fišers (*Franz Fischer*) un Hanss Tropšs (*Hans Tropsch*). FT sintēzē lielākoties kā izejvielas izmanto ogles un dabasgāzi. Tomēr FT procesu ir iespējams īstenot arī ar biomasas izejvielu.

FT process ir katalītiska ķīmiska reakcija, kuras laikā sintēzes gāzi veidojošais oglekļa monoksīds un ūdeņradis tiek pārvērsti piesātinātajos ogļūdeņražos. Process notiek 200–250 °C temperatūrā un 25–60 bāru spiedienā katalizatora klātbūtnē. FT sintēzei var izmantot dažādus katalizatorus, no kuriem visbiežāk lietotie ir dzelzs, kobalts un niķelis.

Dominējošā procesa blakusreakcija ir ūdens tvaika katalītiskā konversija ar oglekļa monoksīdu:



Atkarībā no biomasas sastāva, FT reaktora veida, izmantotā katalizatora un darbināšanas apstākļiem (temperatūra, spiediens, ātrums) FT sintēzes rezultātā var iegūt dažādus ogļūdeņražus. To vidū ir metāns, propāns, butāns, metanols, etanols, izobutanols, dimetilēteris, metilacetāts, dimetilkarbonāts, benzīns, dīzeļdegviela un parafīna vaski. 3.5. attēlā parādīta Fišera-Tropša sintēze.



3.5.attēls. Šķidrās degvielas ražošana, izmantojot Fišera-Tropša metodi [64].

### 3.1.3.Hidrotermiskā pārveide

Bioeļļu var iegūt ne tikai biomasas pirolīzes rezultātā, bet arī hidrotermiskās sašķidrināšanas procesā. Biomasas hidrotermiskās pārstrādes tehnoloģiskie procesi ir trīs:

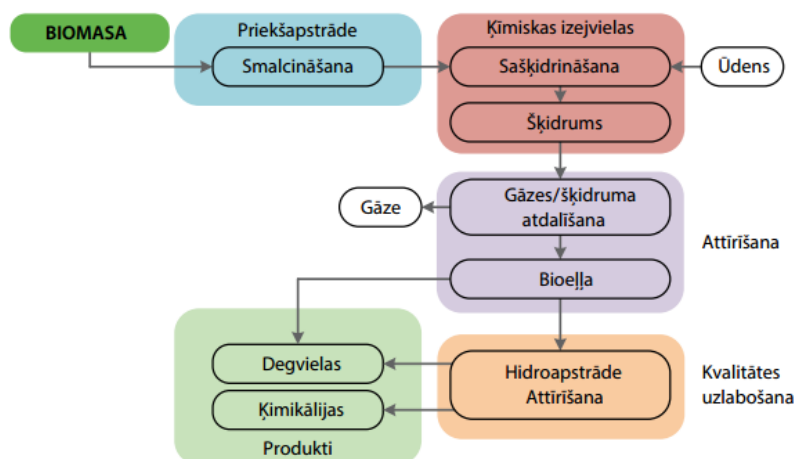
- sašķidrināšana;
- hidrotermiskā gazifikācija;
- hidrotermiskā karbonizācija [57].

Kopējais hidrotermiskās pārveides process parādīts 3.6. attēlā.

Sašķidrināšana pieder pie hidrotermiskajiem biomasas pārveides procesiem, kuru norisei kā reakcijas vide ir nepieciešams ūdens. Šī iemesla dēļ hidrotermiskā pārstrāde ir piemērota mitrai biomasas izejvielai.

Sašķidrināšana ir biomasas termiska pārveide no cietas vielas šķīdumā, kas tiek īstenota, nodrošinot noteiktus procesa parametrus:

- salīdzinoši zemu temperatūru (250–450 °C);
- augstu spiedienu (100–200 bāri);
- katalizatora klātbūtni (parasti tas ir nātrijs karbonāts).



3.6. attēls. Biomasas sašķidrināšanas un kvalitātes uzlabošanas procesa soļi un galaprodukti [58].



Process norit ūdens vidē, ko nodrošina paaugstinātais spiediens. Procesa būtība ir panākt, ka biomasas sastāvā esošais mitrums nevis iztvaiko, bet saglabā šķidro fāzi. Atšķirībā no pirolīzes sašķidrināšana ir ilgāks process un ilgst apmēram pusstundu. Sašķidrināšana ir arī dārgāka nekā pirolīze, tomēr iegūtā bioeļļa satur mazāk skābekļa (12–14 %) nekā pirolīzes ceļā iegūtā bioeļļa, kas padara degvielu ķīmiski stabilāku un ļauj vienkāršot tālāko pārstrādes procesu, lai iegūtu ogļūdeņraža produktus. Atšķirībā no tradicionālās gazifikācijas, kurā tiek izmantota sausa biomasas, hidrotermiskā biomasas gazifikācija ļauj izmantot biomasu ar tās dabisko mitruma saturu. Atkarībā no reakcijas apstākļiem gazifikatorā tiek iegūta degoša metāna vai ūdeņraža gāze.

Hidrotermiskās biomasas gazifikācijas ideja ir izmantot ūdeni kā šķīdinātāju un reakcijas partneri. Superkritiskos apstākļos notiek strauja biomasas hidrolīze un biomasas polimēriskās struktūras degradācija. Sekojošajās reakcijās, temperatūrai esot relatīvi zelai, salīdzinot ar tradicionālo gazifikāciju, veidojas gāze. Hidrotermiskā karbonizācija ir termokīmisks process, kas ļauj izmantot zemas kvalitātes, mitru biomasu. Biomasas tiek ievietota slēgtā reaktorā, kur temperatūra ir 108–250 °C. Hidrotermiskās karbonizācijas reakcijas laikā no biomasas tiek izdalīts ūdens, oglekļa dioksīds un citi savienojumi, tādējādi paaugstinot biomasas enerģētisko vērtību. Procesa rezultātā tiek iegūts tā saucamais hidrotermiskais ogleklis, kas ir porains, trausls, gandrīz putekļiem līdzīgs produkts, kuru var gan izmantot enerģijas ieguvei, gan, piemēram, iestrādāt augsnē kā CO<sub>2</sub> absorbentu. Savukārt šķidrā fāze satur vērtīgas ķīmiskas vielas, piemēram, organiskās skābes.

## 3.2. Bioķīmiskie pārveides procesi

Salīdzinot ar termokīmiskajiem procesiem, bioķīmiskie biomasas pārveides procesi norit zemākās temperatūrās (0 – 60 °C), un reakciju ātrums ir mazāks. Bioķīmiskā biomasas pārveide ietver enzīmu, baktēriju un mikroorganismu izmantošanu, lai sadalītu biomasu gāzveida vai šķidrā degvielā. Divi populārākie bioķīmiskie procesi ir fermentācija un anaerobā fermentācija.

### 3.2.1. Fermentācija

Fermentācijā izmanto mikroorganismus un enzīmus, lai pārvērstu substrātu tālāk izmantojamos produktos (parasti alkoholos vai organiskajās skābēs). Šobrīd vispieprasītākais fermentācijas produkts ir etanols, tomēr daudz tiek pētīta arī dažādu citu ķīmisku vielu, piemēram, ūdeņraža, metanola un dzintarskābes, iegūšana fermentācijas ceļā. Heksozes (monosaharīdi ar sešiem oglekļa atomiem), galvenokārt glikoze, ir visbiežāk izmantotais fermentācijas substrāts, kamēr, lai izmantotu pentozes (pieci oglekļa atomi), glicerīnu un citus ogļūdeņražus, ir jāizmanto speciāli fermentācijas organismi, lai nodrošinātu to pārveidi etanolā [65].

Anaerobā fermentācija ir bioķīmisks process, kura laikā biosadalāmais organiskais substrāts bezskābekļa vidē baktēriju ietekmē sadalās. Galvenie procesa galaprodukti ir biogāze (gāzes maisījums, ko veido metāns, CO<sub>2</sub> un dažādi piemaisījumi) un pārstrādātais substrāts jeb digestāts.

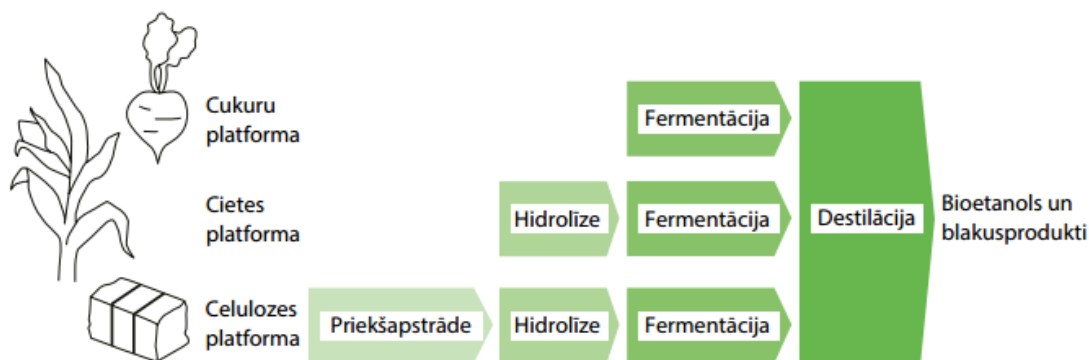
### ***Etanola fermentācija***

Fermentācija ir pasaulē labi zināma un plaši lietota, lai ražotu etanolu no cukuru un cieti saturošiem augiem. Fermentācija ir anaerobs process (notiek bezskābekļa vidē), kas ietver virkni ķīmisku reakciju. Fermentācijas procesu vienkāršoti raksturo vienādojums:

Glikoze  $\rightarrow$  etanols + CO<sub>2</sub>.

Fermentācijas process nevar notikt bez rauga baktēriju klātbūtnes. Raugs ir mikroorganisms, kas darbojas kā reakcijas katalizators. Etanolu vēlāk destilē un dehidrē, lai palielinātu alkohola koncentrāciju un sasniegtu nepieciešamo tīrības pakāpi, kas ļauj degvielu izmantot transportlīdzekļos. Fermentācijas procesa pārpalikumus var izmantot lopbarībai vai kā kurināmo [66].

Bioetanola ražošanā parasti izmanto augus ar augstu cukura saturu (cukurniedres, kukurūzu, saldus kartupeļus). Šīs izejvielas ir uzskatāmas par pirmās paaudzes bioresursiem. Citi biomasas veidi, ko izmanto fermentācijas procesos, ir cieti saturoši materiāli, tādi kā kvieši, mieži, auzas un rīsi, kā arī lignocelulozi saturoši materiāli – lauksaimniecības atkritumi un koksnes biomasas. Pilnu Bioetanola ražošanas shēmu skatīt 3.7. attēlā.



3.7. attēls. Bioetanola ražošanas no pirmās un otrās paaudzes izejvielām.

Lignocelulozes biomasas gadījumā atšķirība ir tā, ka bez celulozes un hemicelulozes, ko var pārvērst cukuros, tā satur arī nefermentējamu frakciju, ko sauc par lignīnu. Tāpēc ir nepieciešami vairāki priekšapstrādes un hidrolīzes soļi, lai pārrautu celulozes un hemicelulozes šķiedras aptverošās lignīna sienīņas. Tādā veidā šīs šķiedras kļūst pieejamas fermentācijas procesam. Tomēr 15–30 % no ievadītās biomasas masas paliek pāri kā neizreaģējušais lignīns – komplekss polimērs, kas sastopams lielākajā daļā augu. Tā vietā, lai noglabātu lignīna masu atkritumu poligonā, tas var kalpot kā vērtīgs blakusprodukts, ko var izmantot gan enerģijas un degvielas, gan citu produktu ražošanā. Lai gan lignocelulozes izejvielas sadalīšana fermentējamos cukuros ir sarežģītāka, fermentācijas, destilācijas un dehidrēšanas posmi ir praktiski identiski gan bioetanola ražošanai no graudaugiem, gan no lignocelulozi saturošas biomasas.

### ***Anaerobā fermentācija***

Anaerobā fermentācija ir organisko vielu mikrobioloģiska sadalīšanās bezskābekļa apstākļos. Biogāzes veidošanās procesā ir četri secīgi posmi: hidrolīze, skābju veidošanās, acetona grupas savienojumu veidošanās un metāna veidošanās. Katrā posmā ir iesaistīti mikroorganismi, kas nodrošina procesa norisi.

Hidrolīze ir anaerobās fermentācijas pirmais posms, kura laikā polimēri (ogļhidrāti, lipīdi, nukleīnskābes, proteīni) tiek sadalīti mazākās vienībās – monomēros un oligomēros (glikozē, glicerolā, purīnā, piridīnā u. c.). Procesu norisi nodrošina hidrolīzes baktērijas, kas izdala hidrolīzes enzīmus, kuri ļauj pārveidot biopolimērus vienkāršākos un šķīstošos komponentos. Skābju veidošanās posmā vienkāršie cukuri, aminoskābes un taukskābes tiek sadalītas acetātā, oglekļa dioksīdā un ūdeņradī (70 %), kā arī gaistošajās taukskābēs un alkoholos (30 %). Procesu norisi nodrošina fermentatīvās acidogēnās baktērijas. Acetona grupas savienojumu veidošanās ir anaerobās fermentācijas trešais posms, kura laikā produkti no skābju veidošanās posma tiek pārvērsti ūdeņradī, oglekļa dioksīdā un etiķskābē. Lai ražotu etiķskābi, acetona grupas savienojumus veidojošajām baktērijām ir nepieciešams skābeklis un ogļskābā gāze. Šim nolūkam tiek izmantots izšķīdušais vai saistītais skābeklis. Tādējādi acetona grupas savienojumus veidojošās baktērijas rada anaerobus apstākļus, kas ir nepieciešami, lai metānu veidojošie mikroorganismi varētu īstenot pēdējo – metāna veidošanās – posmu. Metāna un oglekļa dioksīda ieguvu no starpproduktiem veic metanogēnās baktērijas. Tās pārvērš etiķskābi, oglekļa dioksīdu un ūdeņradi metāna (50–75 %) un oglekļa dioksīda (25–45 %) maisījumā, kas nelielos daudzumos satur arī ūdens tvaikus, slāpekli, sērūdeņradi un citus komponentus [66].

Anaerobās fermentācijas efektivitāte ir atkarīga no vairākiem būtiskiem parametriem, kā, piemēram, temperatūras, pH, barības vielu piegādes, skābekļa neesamības, maisīšanas intensitātes, kā arī inhibitoru klātbūtnes un daudzuma. Lai nodrošinātu mikroorganismiem piemērotus apstākļus, ir jāatrod un jāuztur optimāls reaktora darba režīms.

### ***Bioloģiskie ūdeņraža ieguves procesi***

Ūdeņradis tiek uzskatīts par nākotnes enerģijas nesēju, kas piedāvā virkni ieguvumu. Tas ir atjaunojams, sadegšanas procesā nerada emisijas, satur lielu enerģijas daudzumu, un to var vienkārši pārveidot elektroenerģijā, izmantojot degvielas šūnas.

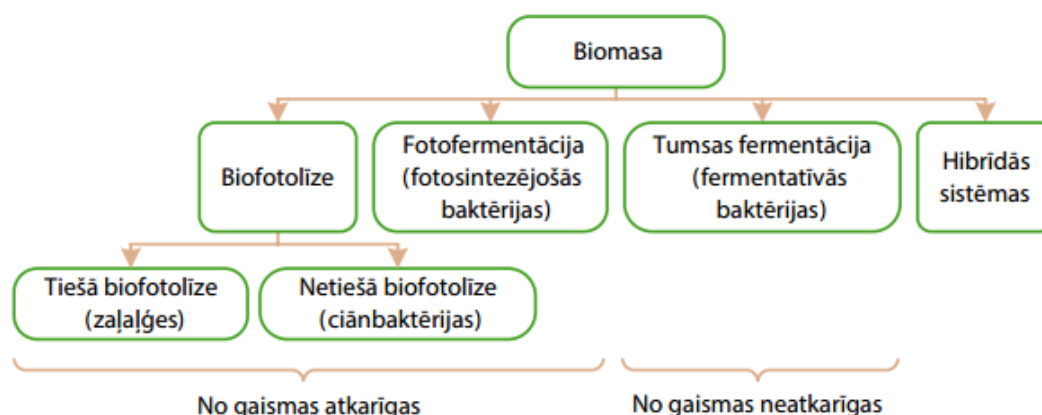
Šobrīd ūdeņradi galvenokārt ražo no fosilā kurināmā – dabasgāzes un oglēm. Bioūdeņradis ir ūdeņradis, kas ir iegūts no atjaunojamām biomasas izejvielām. Bioūdeņraža ražošanai var izmantot dažādas metodes [67]:

- ķīmiskās;
- termokīmiskās;
- bioloģiskās;
- bioķīmiskās;
- biofotolītiskās.

Šajā nodaļā ir aplūkoti bioloģiskie ūdeņraža ieguves veidi. Bioloģiskā ūdeņraža ieguve balstās uz mikrobioloģisku ūdens, saules gaismas un organiskā substrāta pārveidi ūdeņradī. Šobrīd ir zināmas divas galvenās metodes, kā iegūt ūdeņradi, izmantojot bioloģiskus organismus. Pirmajā metodē tiek iesaistīti mikroorganismi, kas ir spējīgi izmantot gaismas fotonus, lai no ūdens atdalītu ūdeņradi. Otrajā metodē tiek izmantotas biotehnoloģijas – mikroorganismu spēju noteiktos apstākļos dabiski ražot ūdeņradi. Bioloģiskos ūdeņraža ieguves procesus var iedalīt četrās grupās (skatīt 3.8. attēlu) :

- ūdens biofotolīze, izmantojot zaļajās un ciānbaktērijas;
- fotofermentācija;

- tumsas fermentācija;
- hibrīdās sistēmas.



3.8. attēls. Bioloģiskās ūdeņraža ieguves metodes.

Bioloģiskā ūdeņraža ražošana nevar notikt bez ūdeņradi ražojošu enzīmu klātbūtnes. Šim nolūkam tiek izmantoti hidroģenēzes un nitroģenēzes enzīmi, kas katalizē bioloģisko ūdeņraža ražošanu.

### 3.3. Ķīmiskie pārveides procesi

Ķīmiskie biomasas pārveides procesi apver plašu ķīmisko reakciju klāstu, kas maina biomasas molekulāro struktūru. Visbiežāk lietotie ķīmiskie biomasas pārveides procesi ir hidrolīze un pāresterifikācija. Citas svarīgas ķīmiskās reakcijas biomasas pārstrādē ir Fišera-Tropša sintēze, metanācija un pārtvaice, par kurām rakstīts iepriekšējās šīs nodaļas apakšnodaļās.

#### 3.3.1. Esterifikācija

Ar esterifikāciju apzīmē ķīmisku reakciju, kuras laikā divi reaģenti (parasti alkohols un skābe) veido esteru kā reakcijas produktu. Reakcija notiek paaugstinātā temperatūrā koncentrētās sērskābes klātbūtnē. Esteri ir plaši sastopami dabā. Tie piešķir aromātu ziediem, augiem un augļiem. Mūsdienās daudzus aromātiskos esterus, ko izmanto pārtikas un parfimērijas rūpniecībā, iegūst rūpnieciskajā sintēzē.

Arī tauki un vaski ir esteru. Esterifikācija ir efektīvs veids, kā pazemināt augstu brīvo taukskābju saturu pārstrādātajās eļļās. Iespēja izmantot zemas kvalitātes izejvielas biodīzeļdegvielas ražošanas ciklā ir nozīmīgs aspekts, lai samazinātu biodīzeļdegvielas ražošanas izmaksas un tā varētu konkurēt ar tradicionālajām fosilajām degvielām [68].

Pāresterifikācija ir termins, ko lieto attiecībā uz nozīmīgu organisko reakciju klasi, kuru laikā viens esteris tiek pārveidots citā, apmainoties alkoksigrupām. Visbiežāk sastopamā pāresterifikācijas metode ir estera reakcija ar alkoholu skābes katalizatora klātbūtnē. Pāresterifikāciju izmanto rūpnieciskajos procesos, piemēram, polietilēntereftalāta (PET) ražošanā un akrilskābes un tās atvasinājumu ražošanā, kas ir svarīgas izejvielas polimēru ražošanā.

Pāresterifikācija ir šobrīd vispopulārākā biodīzeļdegvielas ražošanas metode. Tas ir ķīmiskais process, kas ietver augu eļļu pārveidi taukskābju metilesterī vai etilesterī jeb

biodīzeļdegvielā. Procesā kā blakusprodukts rodas glicerīns – ķīmiska viela, kas ir komerciāli plaši lietojuma [69].

Biodīzeļdegvielas ražošana sākas ar katalizatora (bieži – NaOH) un metanola sajaukšanu, kā rezultātā NaOH izšķīst metanolā. Šķīdumu kopā ar augu eļļu ievada reaktorā un silda. Reaktorā notiek pāresterifikācija, kurā iegūst biodīzeļdegvielu un jēlglicerīnu. Tālāk abus produktus ievada nostādināšanas tvertnē. Tā kā glicerīna blīvums ir daudz lielāks par biodīzeļdegvielas blīvumu, tvertnē notiek to gravitācijas separācija. Glicerīns nogulsņējas tvertnes apakšējā daļā, no kurienes to izvada uz neitralizācijas reaktoru.

Jēlglicerīns ir netīrs produkts, kas satur katalizatora paliekas, metilspirtu, ūdeni, taukskābju sāļus u. c., tāpēc tas ir jāneitralizē. Neitralizācija notiek, izmantojot skābes, kā rezultātā tiek atdalītas brīvās taukskābes. Pēc neitralizācijas jēlglicerīnu apstrādā destilācijas kolonnā, kurā atdestilē metilspirtu, un tas ir izmantojams atkārtoti. Destilācijas atlikums ir tehniskais glicerīns, kurā glicerīna saturs ir 80–88 %. Ja tehnisko glicerīnu tālāk rafinē, iegūst glicerīnu, kas izmantojams parfimērijā un farmācijā.

Biodīzeļdegviela pēc nostādināšanas ir jāmazgā ar ūdeni, lai to attīrītu no piesārņojumiem. Ūdens ir smagāks par biodīzeļdegvielu, tāpēc absorbē katalizatora paliekas un suspendētās taukskābju daļiņas. Pēc nostādināšanas ūdeni no apakšējās daļas aizvada. Biodīzeļdegvielu tālāk apstrādā destilācijas kolonnā, kurā atdala metanolu, lai to varētu izmantot atkārtoti.

Pēc šīs procesu shēmas biodīzeļdegvielu var ražot ne tikai no tradicionālajām augu eļļām un dzīvnieku taukiem, bet arī no aļģēm. Šī ir trešās paaudzes biodīzeļdegvielas ražošanas tehnoloģija. Tādā gadījumā pirms biodīzeļdegvielas ražošanas procesa notiek aļģu kultivēšana un ražas novākšana, aļģu biomasas pārstrāde (atūdeņošana, sabiezināšana, filtrācija, žāvēšana), eļļas ekstrakcija.

### 3.3.2. Ekstrakcija

Ekstrakcijas process ir daudzu rūpniecības nozaru pamatā – cukura iegūšana no cukurbiešu grauzījumiem, augu eļļu iegūšana no sēklām, dažādu ekstraktu un tinktūru iegūšana no ārstniecības augiem, miecvielu iegūšana no miecvielu saturošiem augiem, kolofonija un terpentīna iegūšana no celmiem [70].

Ķīmiskajā rūpniecībā šķīdumu ekstrakciju plaši lieto penicilīna un citu antibiotiku izdalīšanā no tīrkultūras. Biodīzeļdegvielas ražošanas process ietver biomasas priekšapstrādi, eļļas ekstrakciju un iegūtā produkta kvalitātes uzlabošanas ar divām atšķirīgām metodēm – pāresterifikāciju vai hidrogenēšanu [70].

Atkarībā no vielu agregātstāvokļa ekstrakcijas procesu iedala divās grupās: šķīdumu ekstrakcija un cietu vielu ekstrakcija. Šķīduma ekstrakcijas procesa pamatā ir šķīduma esošo vielu dažāda šķīdība ekstrahētā. Ekstrakcija realizējama, ja vielu šķīdums atrodas ciešā kontaktā ar šķīdinātāju. Ekstrahējot šķīdumus, ekstrahents nedrīkst šķīst ekstrahējamā šķīdumā. Tas nepieciešams, lai pēc ekstrakcijas ar vienkāršiem paņēmieniem iegūto sistēmu varētu sadalīt. Šķīduma ekstrakcijas rezultātā iegūst rafinādi (masa, kas paliek pāri pēc ekstrakcijas) un ekstraktu.

Cietas vielas ekstrakcija ir ekstrakcijas un šķīdināšanas process. Ekstrakcijas procesā ar šķīdinātāju no cietās fāzes, tās sastāvdaļu dažādās šķīdības dēļ, atdala vienu vai vairākas

komponentes. Šķīdināšana ir vienkāršākais ekstrahēšanas veids. Šķīdināšanai pakļautas cietas vielas ar niecīgu nešķīstošo piemaisījumu saturu.

### 3.4. Mehāniskie pārveides procesi

Lignocelulozes biomasa ir uz Zemes visplašāk pieejamais bioresurss. Šī biomasa ietver sauszemes augus: kokus, krūmus, zāli, dažādu rūpniecības nozaru mazvērtīgos blakusproduktus un atlikumus (piemēram, kukurūzas salmus, cukurniedru izspaidas, salmus, zāgētavu atlikumus), kā arī enerģētiskās kultūras. Lignocelulozes biomasa sastāv no trīs pamatkomponentiem: celulozes, hemicelulozes un lignīna. Celuloze un hemiceluloze ir polimēri, kas sastāv no cukuriem un ir potenciāls fermentējamo cukuru avots. Hemicelulozi var viegli hidrolizēt ar vieglu skābi vai bāzi. Celuloze ir izturīgāka, un tādēļ tā nopietnāk jāapstrādā. Savukārt lignīns – lielmolekulārs savienojums, kas veido apvalku ap celulozes šķiedrām un arī aizpilda koksnes šūnu starpas – kavē hidrolīzes procesu. Tāpēc, lai lignocelulozi varētu izmantot degvielas un produktu ražošanā bioķīmiskajos procesos, pirms tam ir jāveic biomasas priekšapstrāde.

Priekšapstrādes mērķis ir padarīt sākotnējo izejvielu vieglāk “pieejamiem” enzīmiem, kas hidrolīzes procesā ogļhidrātu polimērus sadala fermentējamos cukuros. Biomasas priekšapstrādi īsteno, izmantojot bioloģiskas, mehāniskas un ķīmiskas metodes, kā arī dažādas to kombinācijas.

Pie mehāniskajiem biomasas priekšapstrādes procesiem pieder mehāniska biomasas daļiņu izmēra samazināšana maļot, smalcinot, drupinot un šķelidojot. Biomasas daļiņu izmēra samazināšana nenodrošina dažādu frakciju (celulozes, hemicelulozes un lignīna) atdalīšanu. Tomēr tas uzlabo turpmāko ķīmisko procesu efektivitāti, pateicoties reaģēšanas virsmas laukuma palielināšanai. Enerģijas patēriņš biomasas smalcināšanai ir atkarīgs gan no vēlamā daļiņas izmēra, gan biomasas veida. Tomēr parasti tas ir diezgan liels.

Daļiņas izmēra samazināšana kā biomasas priekšapstrādes posms tiek izmantota, ne tikai lai nodrošinātu labāku ķīmisko procesu norisi turpmākajos biomasas apstrādes posmos, bet arī, piemēram, gatavojot šķeldas kurināmo vai skaidas briķešu vai granulu ražošanai.

Bez biomasas daļiņas izmēra samazināšanas briķešu un granulu ražošanas procesā tiek izmantoti arī citi mehāniskās pārstrādes veidi – presēšana un griešana.

Vēl pie mehāniskajiem biomasas pārstrādes procesiem pieder eļļas spiešana no biomasas, šķīrošana (piemēram, lai atdalītu dažādas sadzīves atkritumu plūsmas), sijāšana u. c. līdzīgi procesi, kas nemaina biomasas ķīmisko sastāvu, bet gan fizikālās īpašības vai nodrošina, ka produkts vai izejviela atbilst prasītajam standartam.

## 4. Potenciālie inovatīvie produkti un to virzieni nozaru griezumā

Pētījuma 1. un 2. nodaļā ieskicēti inovatīvo produktu no meža biomasas galvenie pētniecības un komercializācijas virzieni gan Latvijā, gan citās pasaules valstīs. Šajā nodaļā nozaru griezumā apkopota vispārēja informācija par tiem inovatīvajiem bioproduktiem, kas iekļauti daudzkritēriju analizē produktu komercializācijas potenciāla izvērtēšanai, kā arī par produktiem, par kuriem informāciju sniedza Latvijas zinātniskās institūcijas, kas nodarbojas ar bioproduktu izstrādi (Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts, Latvijas Valsts mežzinātnes institūts "Silava", AS "Biolat", SIA „Meža un koksnes produktu pētniecības un attīstības institūts” (MeKA)). Daudzkritēriju analizē tika iekļauti tikai tie produkti, par kuriem bija sniegta pietiekama informācija.

Produkti sadalīti 4 nozaru grupās: enerģētika, pārtikas rūpniecība, tekstilrūpniecība, biokompozītmateriāli un būvmateriāli. Piektajā grupā iekļauti tie produkti, kuri neatbilst iepriekš minētajām nozarēm vai arī kuri ir plaši ietojumi un attiecināmi uz vairākām nozarēm, jo ir kā starpprodukts. Arī nozaru grupās daļa no iekļautajiem produktiem ir starpprodukts (izejviela produktu ražošanai), nevis galaprodukts. Šī pētījuma ietvaros produkti netika dalīti pēc tā, vai tie ir starpprodukti vai galaprodukti. Netika arī mērķtiecīgi izvēlēti tikai galaprodukti, jo pētījuma veicējs apzinās, ka pētījuma pasūtītājs nav ieinteresēts uzsākt ļoti specifisku produktu ražošanu (piemēram, medikamenti, kosmētikas produkti).

Ņemot vērā pētījuma pasūtītāja uzstādījumus, šajā pētījumā apzināti netiek iekļauts tāds ļoti perspektīvs inovatīvs produkts kā betulīns, ko izgatavo no bērza tāss, jo šī produkta un tā komercializācijas potenciāla izpēti jau ir uzsākusi AS "Latvijas Finieris". Pētījumus par šo produktu un tā ražošanas tehnoloģijām Latvijā veic Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts un Rīgas Tehniskās universitātes Organiskās ķīmijas tehnoloģijas institūts [71, 72, 73, 74, 75].

### 4.1. Enerģētika

#### 4.1.1. Bioeļļa

Bioeļļa jeb pirolīzes eļļa ir viela, ko iegūst no bioloģiski noārdāma materiāla pirolīzes ceļā, karsējot biomasu bezskābekļa vidē. Gala iznākums ir augsts bioeļļas sastāvs, kā arī bioogles un pirolīzes gāze. Bioeļļu bez iepriekšējas apstrādes iespējams izmantot šķidrā kurināmā katlos. Veicot pēcapstrādi, iespējams to izmantot kā iekšdedzes dzinēju degvielu vai arī no tās izstrādāt vērtīgus ķīmiskus savienojumus. Produkta galvenā mērķauditorija ir katlu mājas, kurās izmanto šķidro kurināmo, kā arī ķīmijas un degvielas ražošanas uzņēmumi, pārdevēji un patērētāji.

Biodegvielu iespējams ražot arī no pārtikai izmantojamiem produktiem (piemēram, kviešiem, kukurūzas utt.), tomēr, ņemot vērā pasaulē augošo iedzīvotāju skaitu un pieprasījumu pēc pārtikas, notiek pāreja uz 2. paaudzes biodegvielas ražošanu no koksnes resursiem. Bioeļļas ražošanai vēlams izmantot koksni ar augstu lignīna saturu. Ķīmijas nozarē liela daļa ķīmisko savienojumu tiek iegūti no fosilajiem resursiem, tāpēc to ražošana no bioresursiem ir kā alternatīva, ar kuras palīdzību iespējams samazināt rūpniecības radīto negatīvo ietekmi uz klimatu, apkārtējo vidi un cilvēku veselību. Bioresursu izmantošanai enerģētikas nozarē ir

nākotne, ņemot vērā fosilo resursu krājuma samazināšanos, kā arī faktorus, kas saistīti ar paaugstināta piesārņojuma radīšanu.

Atkarībā no izmantotās izejvielas un tās mitruma satura, kā arī no izmantotā tehnoloģiskā risinājuma veida, iespējams iegūt bioeļļu ar atšķirīgu ķīmisko sastāvu. Ir divi pirolīzes veidi – lēnā un ātrā pirolīze –, no kā būtiski atšķiras iegūstamais bioeļļas apjoms, un ķīmisko savienojumu veids. Izmantojot lēnās pirolīzes metodi, bioeļļas iznākums ir tikai apmēram 30 %, tāpēc šī metode netiks aplūkota sīkāk. Ar mazāku izejvielas mitruma saturu iespējams arī iegūt bioeļļu ar zemāku mitruma saturu un augstāku sadegšanas siltumu. Ražošanai nepieciešamā izejviela ir jebkāda veida biomasa – var izmantot gan malku, gan šķeldu, gan ražošanas procesu pārpalikumus, kā arī mizu un mežizstrādes atlikumus (zarus, galotnes). Ražošanai iespējams izmantot arī koksnes pārpalikumus no kokzāģētavām un mēbeļu ražotnēm. Var izmantot gan skaidas, gan mizu, gan citus pārpalikumus. Iegūtais bioeļļas apjoms ir atkarīgs tieši no izmantotās koksnes veida, un tas var svārstīties 50–80 % robežās no ievadītās izejvielas apjoma (izmantojot ātrās pirolīzes tehnoloģijas). Ražošanas nodrošināšanai nepieciešama gāze verdošā slāņa veidošanai, kas nesatur skābekli, jo pirolīzes process notiek bezskābekļa vidē, lai nenotiktu degšana. Parasti tiek izmantots slāpekļis ( $N_2$ ). Pirolīzes reaktorā nenotiek degšana, līdz ar to visa izejviela tiek pārvērsta produktos – bioeļļā, biooglēs un pirolīzes gāzē –, kurus visus var atsevišķi savākt. Galaprodukts var atstāt ietekmi uz augsni, ja tas tiešā veidā tiek izgāzts augsnē, veicinot augsnes paskābināšanos un eitrofikāciju, bet, ja produkts tiek izmantots tam paredzētajā veidā, ietekme uz vidi ir ekvivalenta citu enerģētiskā izmantoto koksnes produktu ietekmei [76, 3, 77].

Koksnes vēlamais mitruma saturs ir līdz 10 %, lai novērstu augstu ūdens saturu galaproduktā. Ja koksne ir ar augstāku mitruma saturu, pirms ievadīšanas pirolīzes reaktorā tā ir jāžāvē. Lai iegūtu maksimālu eļļas daudzumu, vēlams veikt arī smalcināšanu, jo koksnes daļiņas izmēram nevajadzētu būt lielākam par 3–5 cm. Tālāk koksne tiek ievadīta pirolīzes reaktorā, kur tā tiek karsēta aptuveni 500 °C temperatūrā pāris sekundes, un tad ar gāzes plūsmu tiek izvadīta no reaktora, kur tālāk ciklonā tiek atdalīta cietā frakcija. Savukārt gāzveida frakcija nonāk kondensatorā, kur tā tiek kondensēta un tiek iegūta bioeļļa, kā arī pirolīzes gāze, kas tiek aizvadīta prom. Pirolīzes nodrošināšanai var izmantot verdošā slāņa reaktoru, kurā verdošo slāni veido uzkarstas smiltis, caur kurām plūst inerta gāze ( $N_2$ ), tādējādi nodrošinot koksnes daļiņu uzsildīšanu un galaproduktu aizvadīšanu. Iespējams nodrošināt nepārtrauktas darbības procesu, kur ik pēc noteikta laika tiek padota jauna izejvielu porcija, kā arī nepieciešamā reaktora temperatūra tiek nodrošināta visu laiku, pievadot uzkarstas smiltis no kurināmā katla. Ražošanas procesā rodas tādi atkritumu produkti kā bioogles (10–25 %) un pirolīzes gāze (10–25 %), kurus tālāk var izmantot kā papildu kurināmo procesa siltumenerģijas nodrošināšanai [77, 78, 79].

Latvijā līdz šim darbojusies pirolīzes iekārta, kurā pārstrādātas nolietotās riepas un ražota pirolīzes eļļa, kā arī cietā un šķidrā frakcija. SIA “Fortums Jelgava” bija mērķis attīstīt bioeļļas ražošanu no šķeldas, tomēr projekts vismaz pagaidām nav sākt. Latvijā pēc bioeļļas pagaidām nav liela pieprasījuma un noieta tirgus, bet to ir iespējams eksportēt uz valstīm, kur ir attīstītāka ražošana, kurā kā izejvielu izmanto bioeļļu. Neapstrādātas bioeļļas cena ir pielīdzināma mazuta cenai.



#### 4.1.2. Bioetanols

Bioetanols ( $C_2H_5OH$ ) ir viela, ko iegūst no bioloģiski noārdāmām izejvielām turpmākai degvielas ražošanai. Atšķirībā no parasta benzīna, tā sastāvā ir skābekļa atoms, kas sekmē pilnīgāku degvielas sadegšanu. Pateicoties augstam oktānskaitlim bioetanolā, ir iespējams sasniegt augstāku motora lietderības koeficientu.

Mūsdienās tirgū pastāv augsts un pastāvīgs pieprasījums pēc bioetanola, kuru veicina Eiropas Parlamenta un Padomes direktīva 2003/30/EC "Par biodegvielu un citu atjaunojamo degvielu izmantošanas veicināšanu transportā". Balstoties uz normatīvajiem aktiem, Latvijas Republikā visam A95 markas benzīnam ir jāpievieno 5 % bioetanola. Līdz ar to šim produktam ir plašs noieta tirgus. Savukārt E85 markas benzīna sastāvā ir 85 % bioetanola, tomēr šī benzīna izmantošanas apjoms ir salīdzinoši neliels, jo, lai izmantotu šādu degvielu, mašīnām ir jāmodificē dzinējs.

Bioetanols ir pieejams Latvijas tirgū. Viens no lielākajiem ražotājiem un produkta piegādātājiem ir SIA "Jaunpagasts Plus", kur par izejmateriālu tiek izmantoti graudi. Saskaņā ar Ministru kabineta 2016. gada rīkojumu Nr. 270 ir noteikts arī bioetanola ražošanas atbalsts 0,37 eiro par litru [80].

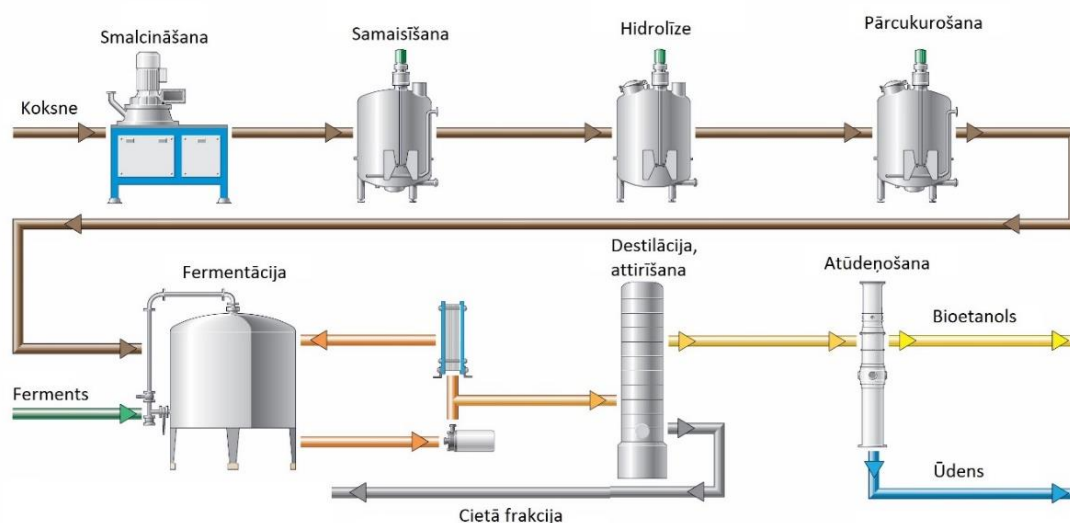
Bioetanolu ir iespējams ražot no dažādām izejvielām. Sākotnēji bioetanolu plaši ražoja no pārtikas produktiem. Tomēr iedzīvotāju skaits pasaule nemitīgi aug, un pārtikas produkti ir nepieciešami cilvēku iztikai. Līdz ar to notiek pareja uz otrās paaudze bioetanola ražošanu no koksnes [81]. Viens no galvenajiem nosacījumiem izejvielas izmantošanai ir pēc iespējas augstāks lignocelulozes saturs [82].

Pastāv dažādas bioetanola ražošanas tehnoloģijas. Līdz ar to nedaudz var atšķirties arī saražotā bioetanola īpašības (sadedšanas siltums, tīrības pakāpe), tāpēc var mainīties arī bioetanola izmantošanas veids un cena. Izejvielu daudzums var atšķirties atkarībā no izmantotās koku sugas koksnes, galvenokārt no lignīna, celulozes un hemicelulozes proporcijas. Piemēram, vienas tonnas bioetanola ražošanai no apses ir nepieciešams 3130 kg sausas koksnes. Koksnes hidrolīzes un pārcukurošanās procesa norisei ir nepieciešami 85,8 kg kaļķa, 118 kg sērskābes, kā arī 13,4 kg citu vielu, ieskaitot vinilacetātu un diamonija fosfātu. Kaļķu cena ir 20 eiro par 100 kg, sērskābes cena 75 eiro par 100 kg [83].

Par izejmateriālu bioetanola ražošanai var izmantot ne tikai apaļkoku sortimentus, bet jau citos ražošanas procesos radītos koksnes atlikumus un mežizstrādes atlikumus. Viens no galvenajiem resursiem, kas tiek izmantots bioetanola ražošanas procesā, ir kaļķi. Kopējie kaļķakmens krājumi Latvijā pārsniedz 500 miljonus tonnu, bet to ieguves apjoms gada laikā svārstās ap 500 tūkstošiem tonnu. Līdz ar to šo izejvielu daudzums Latvijā ir pietiekams, un to var aktīvi izmantot jaunu produktu ražošanā [84]. Sērskābe netiek brīvi pārdota Latvijas tirgū. Tomēr šo vielu var pasūtīt no Eiropas Savienības valstīm, kā arī citām valstīm, kur to ražošanas un pārdošanas apjomi ir pilnīgi pietiekami.

Bioetanola ražošanas procesa sākumā notiek koksnes sagatavošana. Koksnes materiāls tiek smalcināts līdz nepieciešamajam izmēram. Ja nepieciešams, biomasa tiek samaisīta un tad tiek apstrādāta ar tvaiku un skābi. Biomasas pirmsapstrādes laiks ilgst apmēram 2 minūtes. Šajā ražošanas posmā koksne atrodas augstā temperatūrā (tuvu 200 °C) nepārtrauktā sērskābes katalizatoru ietekmē. Rezultātā tiek atbrīvoti hemicelulozes cukuri un citi

savienojumi. Tālāk notiek hidrolīzes process, kura rezultātā biomasa sadalās cietajā un šķīdrajā frakcijā. Lai minimizētu vērtīgo vielu zaudēšanu ar šķīdumu, tam tiek pievienots kaļķis, un hidrolīzes rezultātā tiek iegūts gipsis. Tālāk notiek fermentēšanas un pārcukurošanās process. Tas notiek anaerobos apstākļos un, lai nodrošinātu aktīvu fermentēšanas procesu, tiek pievienots ferments. Celulozes pārvēršana etanolā var prasīt samēra ilgu laiku, līdz pat 7 dienām. Tālāk viss maisījums nonāk destilatorā, kur no šķīduma tiek atdalīts cietās frakcijas materiāls, kas paliek pāri pēc fermentācijas. Tas parasti tiek izmantots siltuma un elektroenerģijas ražošanā kā kurināmais. Šķīdums, kas satur etanolu, nonāk speciālā tvertnē, kura notiek atūdeņošanas process, kuru rezultātā bioetanolis tiek atdalīts no ūdens (4.1. attēls).



4.1. attēls. Bioetanola ražošanas shēma.

Šis bioetanola ražošanas process ir ievērojami draudzīgāks videi, klimatam un cilvēka veselībai nekā benzīna ražošanas process. Ražošanas procesa gaitā neveidojas bīstamie atkritumi. Videi kaitīgo emisiju daudzums ir minimāls. Lielāko piesārņojumu rada sēra dioksīds un etilēns. Saražojot 1 kg bioetanola, vidēji rodas 1,94 g sēra dioksīda un 1,44 g etilēna. Bioetanola ražošana atstāj pozitīvu ietekmi uz cilvēka veselību, jo ar bioetanolu tiek aizstāts benzīns. Šādā veidā tiek samazināts siltumnīcefekta gāzes apjoms, kurš varēja rasties benzīna ražošanas gaitā [83], jo bioetanola ražošanai tiek izmantoti 75 % atjaunojamo resursu.

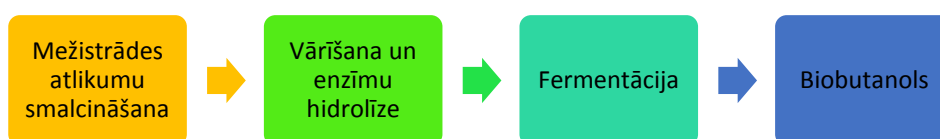
Ir patentētas vairākas bioetanola ražošanas metodes [85, 86]. Būtiskākās šo patentēto ražošanas metožu atšķirības ir izmantotās izejvielas un blakusproduktu plūsmas. Kā inovācija bioetanola ražošanas tehnoloģijās sāk parādīties bioetanola ražošana, izmantojot mikroorganismus [87].

#### 4.1.3. Biobutanols

1-butanols (saukts arī par butilspirtu vai n-butanolu) ir bezkrāsains, četru oglekļa lineārās virknes alkohols ar molekulāro formulu  $C_4H_9OH$ , kura viršanas temperatūra ir 118 °C [88]. Degvielai vispiemērotākais ir n-butanols. Biobutanolu iegūst - pārstrādājot augu celulozi, tajā skaitā arī no nezālēm, mežizstrādes vai koksnes pārstrādes atliekām (celulozes sašķelšana un

raudzēšana), iegūstot, tā saucamās otrās pakāpes biobutanolu. Biobutanols neatdalās ūdenī, tāpēc to var jaukt tieši pārstrādes rūpnīcās un transportēt, izmantojot jau esošo degvielas infrastruktūru un cauruļvadus. Biobutanolam ir potenciāls aizstāt gan etanola, gan bio-dīzeļa tirgus daļu [88]. Biobutanols spēj atstāt lielu iespaidu uz SEG emisiju samazināšanu. Atbilstoši literatūrā minētajam SEG emisiju samazinājums ir 32–48 % salīdzinājumā ar benzīnu [89].

Jau agrāk butanolu ražoja no kukurūzas fermentācijas iekārtās ar baktērijas *Clostridium acetobutylicum* palīdzību. Šī baktērija saražoja 15 gramus butanola uz 1 litru ūdens. Ražošanas procesā ieguva acetonu, butanolu un etanolu. Blakusprodukti ir ūdeņradis, izopropanols, skābeņskābe, pienskābe un citi maznozīmīgāki produkti [90]. Biobutanola ieguves metodes ir dažādas, bet pēdējā laikā akcents tiek likts tieši uz fermentācijas metodi, kas uzskatāma par bioloģisko metodi. Latvijā ir patentēts biobutanola bez atlikuma ieguves tehnoloģija ar fermentācijas metodi, kurā izmanto anaerobās baktērijas.



4.2 attēls. Biobutanola ražošanas process.

Biobutanola ražošanas process ietver šādus 4 posmus (4.2. attēls):

- bioreaktorā ievadāmās biomasas pirmatnējā apstrāde, kura sagrauj šūnu apvalku struktūru un neitralizē lignīnu;
- celulozes un hemicelulozes hidrolīze līdz parastajiem cukuriem, izmantojot enzīmus;
- parasto cukuru pārvēršana (fermentācija) butanolā, izmantojot tīrkultūras *Clostridium beijerinckii* P206 anaerobās baktērijas;
- butanola ieguve.

Procesa unikalitāte ir tajā, ka pēdējie 3 posmi ir savienoti un norit vienā bioreaktorā [90]. Uz šo RTU zinātnieku izstrādāto tehnoloģiju ir apstiprināts Eiropas īmeņa patents [91]. Ražošanas procesā netiek izmantotas bīstamas vai videi kaitīgas lignocelulozes apstrādes metodes (hidrolīze ar skābi, sārmu, paaugstināts spiediens). Ražošanas izmaksu samazināšanai tiek izmantota membrānu atdalīšana. Tehnoloģiju iespējams pielāgot gan bioetanola, gan biobutanola ražošanai. [92]

Neskatoties uz faktu, ka skābekļa saturs biobutanolā ir zemāks nekā bioetanolā, biobutanolu var pievienot benzīnam daudz lielākā koncentrācijā. Augstāks biobutanola saturs benzīnā neprasa nekādu motoru modifikācijas [93]. Butanolu šobrīd pasaulē ražo jau 7 uzņēmumi: Lielbritānijā, ASV, Brazīlijā, Ķīnā, Indijā un Vācijā. Biobutanols tiek veiksmīgi izmantots ne tikai autotransportā, bet arī lidmašīnās un ūdens transportā. Uzņēmuma *Butamax* pētījumi norāda, ka, jau butanola piemaisījumam sasniedzot 16 %, benzīna ekonomija ir tāda pati kā 10 % bioetanola piemaisījuma gadījumā, bet enerģija divkāršojas un SEG emisiju samazinājums arī ir divreiz lielāks. *Butamax* ir veiksmīgi sasniedzis jau 24 % biobutanola piemaisījumu [94].

#### 4.1.4. Biodīzeļdegviela

No meža biomasas ražota biodīzeļdegviela ir uzskatāma par otrās paaudzes biodegvielu, jo tiek izmantots atjaunojamais resurss – nepārtikas augu valsts biomasa. Pašlaik nav normatīvo aktu, kas noteiktu, ka biodegvielas ražošanai nedrīkst izmantot pārtikas kultūraugus, bet, ņemot vērā iedzīvotāju skaita pieaugumu un attiecīgi pieprasījuma palielināšanos pēc pārtikas un degvielas, otrās paaudzes biodīzeļdegvielas noieta tirgus ir garantēts. Biodīzeļdegvielas izmantošana fosilās degvielas vietā ir veids, kā samazināt cilvēka darbības radīto negatīvo ietekmi uz vidi un klimatu, kā arī ilgtspējīgi izmantot dabas resursus [95].

Biodīzeļdegvielu iespējams ražot ar vairākām tehnoloģijām, kuras aizvien tiek attīstītas un kļūst efektīvākas un videi draudzīgākas. Pazīstamākās no biodīzeļdegvielas ražošanas tehnoloģijām ir pirolīzes tehnoloģija (izšķir ātro un lēno pirolīzi) un gazifikācija. Šo tehnoloģiju rezultātā iegūst bioeļļu. To var izmantot otrās paaudzes biodegvielas ražošanai, atdalot ūdeni un veicot tās modifikāciju. Bioeļļu var modificēt par transportlīdzekļu degvielu vairākos veidos: samazinot ūdens un skābekļa daudzumu ar katalizatoru, apstrādājot ar ceolītu, veidojot bioeļļas emulsiju ar dīzeļdegvielu, izmantojot kopā ar biooglēm kā izejvielu ūdeņraža ieguvei. Izmantotās tehnoloģijas izvēle atkarīga no tā, kāds ir pamatprodukts, ko vēlas izgūt ražošanas procesā, jo atšķiras iegūtais bioeļļas daudzums. Ātrajā pirolīzē tas ir apmēram 75 %, lēnajā pirolīzē apmēram 30 %, bet gazifikācijā tikai 5 % [3]. Ņemot vērā bioeļļas iznākuma daudzumu, koksnei tiek rekomendēts izmantot ātrās pirolīzes tehnoloģijas [96].

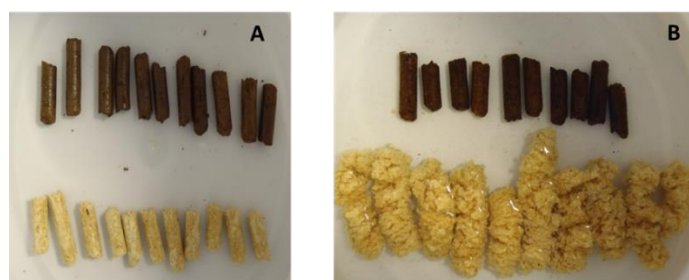
Ātrā pirolīze ir biomasas termokīmiskā pārveide, kuras rezultātā no izejvielas rodas bioeļļa, bioogles un gāze. Procesu raksturo liels karsēšanas ātrums no 2–3 °C līdz pat 100 °C minūtē. Temperatūra reaktorā ir augsta – robežās no 450 līdz 700 un vairāk Celsija grādiem. Pirolīze notiek trijos posmos. Pirmajā posmā biomasas temperatūra pieaug līdz 122–202 °C un iztvaiko ūdens, un veidojas dažādi gaistošie savienojumi. Paaugstinot temperatūru līdz 300–600 °C, notiek biomasas aktīva sadalīšana. Rezultātā veidojas bioogles un pirolīzes tvaiks. Augot temperatūrai, bioogles pārveidojas pirolīzes tvaikā, kas sastāv no kondensējamās un nekondensējamās daļas. Procesa beigās tvaiks tiek dzesēts līdz apkārtējās vides temperatūrai un pārveidojas bioeļļā. Ātras pirolīzes rezultātā iegūtas bioeļļas sadegšanas siltums parasti svārstās no 16 līdz 21 MJ/kg. Bioeļļas sastāvā atrodas liels ūdens daudzums. Ūdens veido no 20 līdz 25 % no iegūtā bioeļļas daudzuma [3].

Ievadot 1 tonnu biomasas, ir iespējams iegūt 600 kg bioeļļas. Kā blakusprodukti rodas gāze un bioogles, kuru apjoms ir 130 un 150 kg. Šos produktus arī var izmantot tālāk citos procesos, galvenokārt siltumenerģijas iegūšanai. Papildus pirolīzes laikā rodas 110 kg ūdens un 10 kg pelnu [97, 96].

Šobrīd vēl biodīzeļdegvielas ražošana no koksnes nevar konkurēt ar fosilo degvielu augsto ražošanas izmaksu dēļ. Izmaksas ietekmē biomasas mitruma saturs. Pētījumi liecina, ka bioeļļas ražošanas izmaksas, izmantojot ātrās pirolīzes tehnoloģijas, no slapjas koksnes ir 0,50–1,48 USD/gal, bet no sausas koksnes 0,40–0,71 USD/gal (1 gal. = 4,54609 l) [96].

#### 4.1.5. Kurināmā granulas ar uzlabotām īpašībām

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūtā ir izstrādāts inovatīvs process, kas ietver granulu no augu biomasas pirmsapstrādi mikroviļņu laukā un turpmāku tās virsmas modifikāciju ar dabiskas izcelsmes eļļām, kas ļauj būtiski palielināt granulētās biomasas sadegšanas siltumu un pozitīvi ietekmēt citas īpašības. Piemēram, komerciālo koka granulu apstrāde pēc izstrādātās tehnoloģiskās shēmas nodrošina to siltumspējas pieaugumu no 18 MJ/kg līdz 24 MJ/kg un enerģētiskā blīvuma pieaugumu no 12,0 MJ/m<sup>3</sup> līdz 16,5 MJ/m<sup>3</sup> salīdzinājumā ar neapstrādātajām granulām. Apstrādātas granulas ilgstošā kontaktā ar ūdeni (nedēļa un vairāk) ir izturīgākas salīdzinājumā ar neapstrādātām granulām (4.3.attēls). Modificēto granulu degšanā pieaug siltumenerģijas iznākums, samazinās kaitīgo emisiju daudzums, salīdzinot ar neapstrādātām granulām [98].



4.3 attēls. Izejas (dzeltenas) un modificētas (brūnas) koksnes granulas pirms (A) un pēc (B) 15 min. kontaktā ar ūdeni [98].

Šīs tehnoloģijas izmantošana ļauj paaugstināt iegūtā biokurināmā kvalitāti un samazināt tā ražošanas enerģijas patēriņu, salīdzinājuot ar tradicionālām augu biomasas torefikācijas metodēm, kas ir priekšnosacījums ražošanas izveidošanai ar augstiem tehn-ekonomiskajiem rādītājiem. Pētījumi, kas nepieciešami režīmu atstrādāšanai granulu kompleksai apstrādei, tika veikti izmantojot laboratorijas un pilota mēroga mikroviļņu reaktorus, kas ir izveidoti Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūtā šo darba īstenošanai. No mūsdienīgas cirkulārās ekonomikas koncepcijas skatpunkta, lignocelulozes izejvielas patēriņš enerģētiskiem mērķiem bez iepriekšējas tās izmantošanas zemmolekulāru ekstraktvielu savienojumu ieguvei ir neefektīva vairākkomponentu atjaunojamā resursa izmantošana. Ekstraktvielu savienojumi, kas izdalīti no ekoloģiski tīras lignocelulozes biomasas, ir vērtīgs atjaunojams resurss dažādām nozarēm, ieskaitot farmāciju. Piedāvātā tehnoloģija granulētās augu biomasas kurināmā raksturlielumu paaugstināšanai, apstrādājot tās mikroviļņu laukā un turpmāk uznesot uz tās virsmas augu vai naftas izcelsmes apstrādātus šķidrus energonesējus, ļauj izmantot kā sākuma izejvielu biomasas atlikumu pēc veiktajiem ekstrakcijas cikliem. Tādā veidā produkts, iegūts vienā ražošanas stadijā, tiks izmantots kā resurss nākamajam ciklam. Turklāt iespējamā biomasas enerģētiskās vērtības samazināšanās ekstraktvielu atdalīšanas dēļ, tiks kompensēta un pat ievērojami paaugstināta granulu mikroviļņu apstrādes un sekojošā šķidro energonesēju uznešanas rezultātā [98].

2015. gadā saņemta Latvijas Zinātņu akadēmijas balva “Latvijas zinātnes nozīmīgākais sasniegums 2015. gadā – praktiskajos pielietojumos” par izstrādātu inovatīvu procesu kurināmo granulu ieguvei ar uzlabotām īpašībām.

Inovācija izstrādāta ERAF projekta (2014/0042/2DP/2.1.1.1.0/14/APIA/VIAA/054) "Granulēto augu biomasas kurināmā kvalitātes paaugstināšana impregnējot tās virsmas slāni ar augstās

enerģētiskās ietilpības šķidro energonesēju atkritumiem, iepriekš apstrādājot biomasu zemas intensitātes mikroviļņu laukā" ietvaros. Ir iesniegts patenta pieteikums (P-16-04) par "Kurināmo granulu iegūšanas paņēmiens no augu materiāla" (īpašnieks: Latvijas valsts koksnes ķīmijas institūts).

## 4.2. Koksnes izmantošana pārtikas rūpniecībā

### 4.2.1. Lignāns kā uztura bagātinātājs

Publikācijās, kurās pētīta lignāna ārstnieciskā iedarbība uz cilvēku veselību, ir uzrādītas lignāna kā antioksidanta īpašības, kā arī ir apstiprināta tā pozitīvā iedarbība iekaisumu gadījumā [99]. Pētījumi ir uzrādījuši, ka lignāns ir anti-kancerogēns, tā lietošanu uzturā var saistīt ar pazeminātu risku saslimt ar krūts un prostatas vēzi [100]. Lignānu pārtikas piedevu ražošanai pašlaik visbiežāk iegūst no linsēklām, jo tajās ir augsts lignāna saturs. Ar lignāna izmantošanu pārtikā kā uztura bagātinātāju vismaz daļēji iespējams aizstāt citus sintētiski ražotus medikamentus vai pārtikas piedevas. Kā inovācija tiek piedāvāta lignāna iegūšana no mežizstrādes atlikumiem, precīzāk – koku mizām, vai celulozes blakusproduktiem. Abos gadījumos tiktu pārstrādāts bioresurss, bet linu audzēšanai, atšķirībā no mežiem, ir lielāka ietekme uz vidi (industrializētā agrotehnika), kas konkurē ar linsēklu un lineļļas izmantošanu pārtikā. Izejvielas no meža biomasas ir brīvi pieejamas, un tā būtu iespēja no ražošanas atlikumiem izgatavot produktu ar augstu pievienoto vērtību.

Literatūrā pārsvarā pieejama informācija par lignāna iegūšanu no linsēklām, kas ir līdzīga arī maltu koku mizu izmantošanas gadījumā. Izejmateriālu ekstrahē 4 °C temperatūrā ar *diexam*: etilspirta maisījumu proporcijā (1:8), 24 stundas mēreni maisot. Pēc tam suspensiju filtrē un iztvaicē 40 °C temperatūrā, nosūcot tvaiku. Iegūst sausu jēlmateriālu – lignānu. To šķīdina mikserī hidrolizējošā aģentā 24 stundas. Suspensiju filtrē, un ekstraktu iztvaicē 45 °C temperatūrā. Iegūst biezu viskozu materiālu, ko paskābina ar koncentrētu sālsskābi līdz pH 3,0, un produktu glabā 4 °C temperatūrā [101]. Biomasu (linsēklu vai mizu atlikumi) pēc ekstrakcijas ir izmantojama siltuma ieguvei vai augsnes ielabošanai.

### 4.2.2. Putnu un dzīvnieku barības piedeva no skuju koku zaleņa

Produkts ir premikss (dzīvnieku barības piedeva), kas nesatur svešķābes, lai novērstu barības sauso sastāvdaļu salipšanu. Kā pildviela barībai tiek izmantoti dolomītmilti (85–99 %), klāt tiek pievienots bioaktīvu vielu komplekss no skuju koka zaleņa (1–15 %). Bioloģiski aktīvo vielu kompleksam no skuju koku zaleņa piemīt biostimulatora, antioksidanta, fitoantibiotiķa un imūnmodulatora īpašības. Šīs īpašības novērš pelējuma attīstīšanos barībā. Lai izgatavotu šādu barību, dolomītmiltus samaisa ar bioaktīvo vielu kompleksu no skuju koku zaleņa, sākotnēji sakarsētu līdz 50–60 °C. Abas sastāvdaļas maisa, kamēr tiek iegūta viendabīga oranžas krāsas masa ar sausu un irdenu konsistenci. Pētījumos pierādīts, ka šādas piedevas lietošana putnu barošanai samazina putnu gaļas holesterīna līmeni par 23,66 % un veicina masas pieaugumu par 4,11 % [102].

Ir veikts arī pētījums par egļu skuju ekstraktvielu piedevas staltbrīžu ziemas barībā lietošanas ietekmi uz šo dzīvnieku gaļas kvalitāti. Arī šajā pētījumā pierādīts, ka, lietojot egļu skuju ekstraktvielas piedevu, staltbrīžu gaļā samazinājās holesterīna līmenis par 19,57 % un palielinājās muskuļaudu īpatsvars par 3,1 % [103].

Šādu piedevu iespējams izgatavot sausā, smalkā, irdenā vai granulētā veidā, lai nodrošinātu tās ērtāku lietošanu. Šis produkts ir patentēts Latvijas Republikas Patentu valdē, bet nav komercializēts.

#### 4.2.3. Vanilīns

Vanilīns ir garšviela, ko izmanto pārtikas, dzērienu un zāļu ražošanā. Pamatā vanilīnu iegūst no vaniļas pākstīm, bet lielā pieprasījuma dēļ vanilīna ekstraktu iegūst to mākslīgi sintezējot. 2001. gadā vanilīna pieprasījums sasniedza 12 000 tonnu, kamēr no vanilīna pākstīm visā pasaulē bija iespējams iegūt tikai 1 800 tonnu vanilīna [104]. Kopš 1920. gada tiek izmantotas vairākas pieejas, kā sintētiski ražot vanilīna ekstraktu. Vanilīnu mēdza iegūt no koksnes masas, kas bagāta ar lignīnu, bet šis process, lai gan tika izmantota papīra ražošanas blakusprodukts, bija pārāk kaitīgs apkārtējai videi. Mūsdienās vanilīnu ražo no izejvielas guaiakola [105]. Guaiakolu ražo virkne organismu, bet parasti aromātisko guaiakola eļļu iegūst no *Guaiacum* ģints krūmiem un kokiem vai izmantojot koksnes kreozi, pirolīzes ceļā iegūtu vielu, kas ES ir ierobežota, jo ir kancerogēna, to agrāk izmantoja kā antiseptiķi [106, 107]. Inovācija vanilīna ražošanas procesā ir uzņēmuma *Borregaard* (Norvēģija) biorafinēšanas līnijas izmantošana. 2013. gadā ES ir izsniegusi *Borregaard* patentu par šo produkcijas līniju, kas derīgs līdz 2029. gada decembrim [108]. *Borregaard* produkcijas līnija ir viena no videi draudzīgākajām papīra fabrikām, to panākot ar dažādu blakusproduktu apstrādi, rezultātā iegūstot virkni tirgojamu produktu līdzās saražotajam papīram. Piemēram, ja ieejošā plūsma būtu 1000 kg koksnes, tad izmantojot viņu produkcijas līniju, iespējams saražot 400 kg celulozes, 400 kg lignīna, 50 kg etanola un 3 kg vanilīna. Atlikušā masa, kas ir < 10 %, tiek izmantota enerģijas saražošanai. Vanilīnu var ražot no papīra ražošanas blakusprodukta lignīna un lignīnu saturošiem savienojumiem (lignosulfonātiem). Vanilīnu *Borregaard* produkcijas līnijā ražo, oksidējot lignosulfonātu. Nātrija lignosulfonāts tiek katalizēts ar  $\text{Cu}^{2+}$  paaugstinātā temperatūrā (120, 140, 160 °C), skābā vidē, ~10 bāru (1 milj. paskāļu) spiedienā. Pievienojot reaktoram ar skābekli bagātinātu gaisu iespējams iniciēt hidrolīzi un vanilīna un vanilīnskābes sintēzi. Pārējo šīs biorafinērijas shēmas produktu izmantošanas iespējas aprakstītas citos šī pētījuma produktu aprakstos [109].

#### 4.2.4. Zivju barības piedeva no mikroorganismu proteīniem

Augošais zivju barības pieprasījums kombinācijā ar pārāk lielu dabīgo nozveju un zivju daudzuma samazināšanos okeānos ir sekmējis akvakultūras industrijas attīstīšanos, lai nodrošinātu pieprasījumu pēc jūras veltēm. Mūsdienās zivju barība ir proteīnu pamatavots zivīm, kuras audzētas akvakultūrās. Tomēr zivju barības pieejamība drīzumā varētu izsīkt, jo pieprasījums pēc tās pārsniedz saražoto apjomu. Zivju barības trūkuma dēļ ir jārod alternatīvas proteīnu avotam zivju barībā. Ar proteīniem bagāti mikroorganismi (vienšūņu proteīni) ir perspektīva opcija zivju barības aizstāšanai, un papildus tam šos proteīnus būtu iespējams saražot, izmantojot kokapstrādes blakusproduktus kā galveno izejvielu. Tiem ir jābūt ar augstu lignīna saturu, piemēram, kā atlikumproduktam no papīrrūpniecības (sulfīda šķīduma permeāts) vai tekstilizstrādājumu ražošanas no koksnes. Tāpēc šādas proteīniem bagātas zivju barības piedevas ražošanu var savienot ar citu produktu ražošanas procesu un veidot tīras jeb bezatlikumu ražošanas shēmu [110].



Kā piemērs šādas zivju barības piedevas no mikroorganismiem ražošanai tiks aplūkots 50 l reaktors laboratorijas apstākļos. No meža biomasas iegūtā lignīnu saturošā masa tiek atšķaidīta ar ūdeni, lai sasniegtu optimālu ogļhidrātu koncentrāciju attiecībā pret biomasas pieaugumu. Mikroorganismu (*P. variotii* un *F. venenatum*) vairošanās notiek 30 °C, pH 6 un maisīšanas ātrums tika palielināts līdz ar viskozitātes palielināšanos, lai nodrošinātu pietiekamu skābekļa pieejamību kultūrā. Kultivāciju veic “*fed-batch fill and draw*” režīmā (patstāvīga piebarošana un noņemšana). Sākotnējais reakcijas tilpums 10 l, pēc 24 h kultivēšanas (nepārtraukti pievadot barības vielas) reaktors tiek piepildīts līdz 50 l. 40 l no tā tiek ievākti, un jauns kultivēšanas cikls tiek uzsākts uz nākamajām 24 h līdz atkal tiek sasniegts 50 l tilpums. Piepildīšanas un ievākšanas procedūra tiek turpināta aptuveni 10 reizes, pēc tam visa kultivēšana tiek atsākta no jauna, iniciējot to ar svaigi sagatavotiem reaģentiem un mikroorganismiem. Ievāktā biomasa tika atdalīta no šķidrās frakcijas, izmantojot vakuuma filtrāciju. Iegūtais filtrāts tiek skalots divkārsā destilēta ūdens daudzumā un izžāvēts 75 °C. Proteīnu daudzums ir vidēji 55 g/100 g sausās biomasas. Barībai tiek izmantots 9,5 % un 19 % vienšūņu proteīns no kopējās barības satura. Zivju barību izgatavo, sajaucot kopā visas sastāvdaļas, izžāvējot iegūto mīklu un saberžot to drupačās. Maksimālā biomasas koncentrācija, ko iespējams iegūt audzējot *P. variotii* sulfīda šķīduma permeātā un *F. venenatum* šķiedru dūņu hidrolizātā, bija 9 g/l un 25 g/l. Šāda veida biomasa nesatur bīstamu daudzumu mikotoksīnu. Pētījumi pierāda, ka zivis, kuras barotas ar *P. variotii* 66 % piemaisījumā, uzrāda vislielāko dzīvības pieaugumu, kas bija par 12 % lielāks nekā kontroles grupai [110].

Latvijā zivsaimniecība, izmantojot akvakultūras, attīstās tāpat kā visā pasaulē kopumā, tāpēc pieprasījums pēc lētākas zivju barības pieaug. Standarta zivju barības cena ir 1,427.45 USD par tonnu [111]. Izmantojot biomasu zivju barības ražošanai, būtu iespējams gūt pievienoto vērtību kokapstrādes (papīrrūpniecības) atkritumproduktiem.

### 4.3. Koksnes izmantošana tekstilrūpniecībā

#### 4.3.1. Liocels (tekstils no koksnes)

Liocels (*lyocell*) ir no celulozes mākslīgi iegūta tekstilšķiedra. Liocels ir radies krietnu laiku pēc viskozes, kad tika meklēts dabai draudzīgāks šķīdinātājs tekstilizstrādājumu ražošanai. Liocels uzrādīja daudz labākas īpašības nekā viskoze. Tas ir mīkstāks nekā zīds, vēsāks nekā lins, 50 % vairāk absorbējošs nekā kokvilna, labs jutīgai ādai un zīdaiņiem, dabīgi hipoalergisks, bez pesticīdiem vai citām lauksaimniecības ķīmikālijām (kā tas ir, piemēram, kokvilnai), izturīgs pret izbalēšanu un sarukšanu, augstas stiprības dabīgas šķiedras, kas bioloģiski noārdās [112]. Austrijas uzņēmums *Lenzing* ražo liocelu jau 20 gadus, un nepārtraukti pētījumi tikai pierāda, ka šī inovācija ir tekstila nākotne. Pēc šī produkta pieprasījums tirgū ir pakāpeniski pieaugošs, pateicoties tā īpašībām, videi draudzīgajām tehnoloģijām un iespējām bioloģiski noārdīties vai pārstrādāt [113]. Liocels ir gandrīz uz pusi izturīgāks nekā viskoze [114].

Austrijā liocela ražošanai pārsvarā izmanto eikaliptu, bet to ir iespējams ražot no egles, priedes un kļavas, un paredzams, ka arī no bērza vai apses vai jebkura cita koka, pat augiem [115, 116, 117]. Liocela tehnoloģija balstās uz organisko šķīdinātāju *N-methylmorpholine-N-oxide* (NMMO). Taču pati ražošana dažādos pētījumos mazliet atšķiras. Vienkāršotā ražošanas procesā ir šādi posmi: celuloze – šķīdināšana – vērpsana – mazgāšana –



pēcapstrāde/žāvēšana – šķiedra. Augstas kvalitātes celulozes iegūšanai no koka, izmanto magnija bisulfītu vai amīna N-oksīdu. Tālāk celulozi izšķīdina pastas veidā ar NMMO, un masa tālāk iet cauri augstas temperatūras šķīdināšanas vienībai, lai iegūtu skaidru, viskozu šķidrumu. Tas tiek filtrēts un savērpts atšķaidītā NMMO. Šķiedras mazgā un žāvē, un pako ķīpās. Izgriešanas/centrifūgas vannas un mazgāšanas šķidrumi tiek nodoti šķīdinātāju reģenerācijas sistēmā, kas koncentrējas uz NMMO noteiktā līmenī un tiek atkārtoti izmantoti 99,5 % apmērā [112, 118].

NMMO ir labs šķīdinātājs, taču tam ir arī trūkumi – šķīdinātājam ir ķīmiskā un siltuma nestabilitāte, kas sniedz iespēju pievienot stabilizētājus, bet nenovērš bīstamas noplūdes reakcijas (celulozes degradācija - sadalīšanās) [119]. Tomēr, neskatoties uz to, vairāki uzņēmumi izmanto tieši šo šķīdinātāju [120].

#### 4.3.2. *Ioncell-F* (tekstils no koksnes)

*Ioncell-F* (ibre) ir nākamās paaudzes liocels – tekstils no koksnes. Tā ir jauna tehnoloģija, kas ir izpētīta Ālto Universitātē, Somijā. Mākslīga (*man-made*) celulozes šķiedra, no kuras var iegūt augstas kvalitātes audumu. Procesā tiek izmantots videi draudzīgs jonu šķidrums (*ionic liquid*). *Ioncell-F* uzrāda krietni lielāku izturību salīdzinājumā ar viskozi un kokvilnu un nedaudz lielāku salīdzinājumā ar liocelu [121]. Jau kopš 2001. gada ir vērojams pieprasījuma pieaugums tieši MMCF (*man made cellulosic fibres*) jeb celulozes šķiedrām. Vidējais pieaugums ir 5,6 % gadā [122].

*Ioncell-F* eksperimenti ir veikti ar bērza koksni, lai atrastu stabilāku šķīdinātāju par NMMO (*N-methylmorpholine-N-oxide*) un iegūtu audumu ar vēl labākām īpašībām (izturību). Galvenā jonu šķidruma priekšrocība ir tā, ka iegūtais celulozes risinājums ir augsta izšķīdināšanas jauda un zema viskozitāte (NMMO ir augsta viskozitāte), tādējādi var piemērot zemas vēršanas temperatūras (par 20–25 % zemākas nekā NMMO), kas nodrošina labu procesu un produktu stabilitāti. Taču jonu šķidruma trūkums, salīdzinot ar NMMO šobrīd, ir tāds, ka ūdens ir jānosmeļ, kamēr NMMO gadījumā ir jākoncentrē tikai tā monohidrāts ar atlikušo ūdens saturu 13,3 masas %. Tas nozīmē, kamēr jonu šķidrums nav plaši komercializēts, tas būs dārgāks nekā NMMO [123]. Ālto Universitātē, Somijā, *Ioncell-F* nākotnes pētījumi tiks vērsti uz jonu šķidrumu atgriešanu ražošanas procesā, lai nodrošinātu slēgtā cikla procesu [124].

*Ioncell-F* ražošana ir notikusi tikai laboratorijas apstākļos un sastāv no trīs galvenajiem posmiem: celulozes šķīdināšanas, šķiedru vēršanas un šķīdinātāja atgriešanas procesā. Izejmateriāls ir celuloze, kas iegūta no koka. *Ioncell-F* ir balstīts uz tiešo celulozes šķīdināšanu (tāpat kā liocels, bet ne viskoze, kas tiek vispirms pārvērsta šķīstošā atvasinājumā), tādējādi saīsinot ražošanas procesu. Šķīdināšanas posmā masa tiek sajaukta ar jonu šķidrumu. Augstās viskozitātes dēļ šajā posmā maisīšana notiek speciālā reaktorā. Iegūtais celulozes šķidrums tiek filtrēts, lai novērstu iespējamo cieto daļiņu klātesamību, un izmantots šķiedras vēršanai. Šķiedru vēršanai izmanto sausās sprauslas slapjo vēršanas tehnoloģiju. Šajā posmā veidojas šķidruma pavedieni, kas pēc tam iet caur gaisa sprauslu uz recēšanas vannu. Tā ir papildīta ar ūdeni, antišķīdinātāju, un rezultātā celuloze tiek reģenerēta. Tiek savākti šķiedras pavedieni tālākai apstrādei. Šķiedru izturība rodas, pateicoties gaisa spraugai, kurā šķidruma pavediens tiek izstiepts. Tālākā apstrāde ietver pavedienu griešanu, šķiedru

atvēršanu, mazgāšanu un virsmas apstrādi. Pēc tam šķiedras var pārvērst diegos, izmantojot diegu ražošanas tehnoloģijas, kas ietver kāršanu un vērpšanu. Šķīdinātāja atgriešana procesā nodrošinātu ilgtspējīgu ražošanas tehnoloģiju, jo ir nepieciešams slēgts ražošanas cikls. Šķiedru vērpšanas laikā jonu šķidrums ir izšķīdināts ūdenī, kas ir vērpšanas vannās, to vajag atgūt kā ūdens šķīdumu. Pēc tam jonu šķidrums tiek atdalīts no ūdens un attīrīts, lai novērstu uzkrāšanos šķīstošo piemaisījumu slēgtajā šķīdinātāju cilpā. Pētījumi par šo posmu tiek turpināti [125].

#### 4.3.3. Viskoze (tekstils no koksnes celulozes)

Celulozes izmantošanas tekstilšķiedras ražošanai senākā zināmā metode ir viskozes ražošana [126]. Viskozi ražo no koka celulozes, pārsvarā eikalipta un bambusa, bet šobrīd sāk izmantot arī citas koku sugas vai to maisījumus, piemēram, egli. Celulozes viskoze sākotnēji tika ražota kā lēts zīda aizstājējs. Sākotnēji viskozes ražošanas process bija samērā ķīmisks un videi kaitīgs. Taču pēdējos gados tika pievērsta uzmanība labai draudzīgāku tehnoloģiju ieviešanai. Viskozes ražošanas process ir garš un veido atlikumus procesa laikā, salīdzinot ar jaunākas paaudzes līdzīgiem produktiem, kur šis process ir vienkāršāks un tiek nodrošināta slēgtā cikla ražošana, maksimāli izmantojot esošos un jau izmantotos resursus. Lai gan viskoze aizņem lielu celulozes šķiedru tirgus daļu, pieprasījums pēc viskozes ir ar negatīvu zīmi. Lielāka uzmanība tiek pievērsta jaunākiem tekstilizstrādājumiem, piemēram, liocelam, kas uzrāda labākas īpašības kā viskoze un sāk kļūt par tirgus līderi celulozes šķiedru pieprasījumā. Viskozes ražošanai ir augstas investīciju un uzturēšanas izmaksas, taču tās cena ir nokritusies pat zem kokvilnas cenas [127, 128].

Turpmāk īsumā raksturots viskozes ražošanas no koksnes process. Vispirms koksni šķel, izmantojot magnija bisulfītu, tad balina bez hlora. Pēc žāvēšanas tiek iegūta alfaceluloze, kas ir ar augstu celulozes saturu. Celulozi tālāk apstrādā ar stipru 18 % NaOH, lai iegūtu sārmainu celulozi. Kad nepieciešamā iedarbība panākta, lieko NaOH novada presējot, lai izveidotos vēlamais sausnas saturs un sasmalcināšanas procesā panāktu lielāku sārmu celulozes reaģējošu virsmu. Pirmsnogatavināšanas procesā sārmu celuloze reaģē ar gaisu, un vidējās molekulu ķēdes garums samazinās. Šajā posmā viskozitāte tiek regulēta ar temperatūru, piemēram, 45 °C un 5 h. Lai paātrinātu šo procesu, var izmantot tādus katalizatorus kā dzelzs (Fe), mangāns (Mn) vai kobalta (Co) savienojumi. Tālāk seko ksantācija (*xanthation*) un šķīdināšana: sārmu celuloze reaģē ar sēroglekli (CS<sub>2</sub>) un rodas celulozes ksantonegāts (*xanthogenate*), reakcijas ātrums slēgtā reaktorā ir apmēram 1 h 23 °C temperatūrā. Celulozes ksantonegāts tiek šķīdināts maisītājā vājā NaOH, lai radītu viskozi. Viskoze tiek nogatavināta 20 °C temperatūrā no 5 līdz 24 h. Šajā savienošanā viskoze tiek filtrēta 2–3 reizes, lai noņemtu nereaģējušās celulozes šķiedras un citus piemaisījumus. Gaiss un gāzes burbuļi viskozē tiek noņemti ar vakuuma palīdzību. Tipiska viskoze ir kā sīrups, un satur 5–7 % nātrija un 7–10 % celulozes. Viskoze tiek iesūkņēta vērpšanas sprauslās. Tad tā tiek ievietota vērpšanas vannās ar Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (10–30 %), H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (6–10 %) un ZnSO<sub>4</sub> (1–4 %) 40–60 °C temperatūrā. Ja vērpšanas mašīna ir ar 150 – 400 vērpšanas sprauslām, tad vērpšanas ātrums ir 40 līdz 80 m/min. Svarīgs posms pēc vērpšanas ir izstiepšana, lai radītu viskozes šķiedru izturību. Pirmreizējā mazgāšana notiek pirms šķiedru nogādāšanas nepārtrauktās šķiedras griezējā. Viskozi mazgā ar ūdeni un NaOH šķīdumu, lai noņemtu oglekli. Lai

neitralizētu šķiedru, tiek veikta paskābināšana ar etiķskābi. Ražošanas procesa noslēguma fāzē notiek žāvēšana, atvēršana un pakošana ķīpās [129].

## **4.4. Biokompozītmateriāli un būvmateriāli**

### **4.4.1. Acetilēta koksne**

Acetilētā koksne ir dimensiāli stabila koksne, kas nerūk un nebriest mitruma ietekmē. Kalpošanas laiks acetilētai baltalkšņa koksnei, kas nesaskaras ar ūdeni vai zemi, ir apmēram 50 gadi (piem., fasādēs, konstrukcijās). Acetilētai koksnei, kas saskaras ar ūdeni vai zemi, vidējais kalpošanas laiks ir 25 gadi (piem., pāji, laipas utt.). Acetilēto koksni nenoārda ne koksnes sēnes, ne kukaiņi. Pēc literatūras datiem acetilēt iesaka baltalkšņa koksni, jo tā vieglāk pakļaujas acetilēšanas tehnoloģijai. Nav novērotas mehāniskās stiprības samazināšanās acetilētai koksnei, salīdzinot ar neacetilētu koksni [98].

Koksne satur OH grupas savienojumus, kas ir hidrofilī. Minētas ķīmiskās grupas reaģē ar ūdeni, tās "atpazīst" koksnes noārdošās sēnes un kukaiņi. Ar acetilēšanas tehnoloģiju koksnes OH grupas tiek aizstātas ar COH grupām, un koksne iegūst pozitīvas īpašības. Minētā tehnoloģija ir izstrādāta 20. gs. sešdesmitajos gados, bet tad pētījumi Latvijā ir pārtraukti. Pēc publiskās informācijas, vienīgā acetilētas koksnes pētnieciskā un ražošanas iekārta darbojas Accoya grupas uzņēmumos (Holande un Anglija). Tehnoloģijas pamatā ir autoklāvs, kurā piesūcina koksni ar etiķskābes anhidrīdu ( $(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$ ) [98].

### **4.4.2. Caurspīdīga koksne**

Caurspīdīga koksne ir pavisam jauns un inovatīvs produkts. Pirmo reizi informācija par caurspīdīgas koksnes iegūšanu tika publiskota 2016. gadā pavasarī. Produktu izstrādājuši Zviedrijas Karaliskas Tehniskas universitātes zinātnieki. Caurspīdīgai koksnei ir unikālas īpašības. Materiālam saglabājas tādas koksnei raksturīgas īpašības kā izturīgums, blīvums un siltumvadītspēja, bet, izmantojot speciālo ražošanas tehnoloģiju, tas kļūst praktiski caurspīdīgs. Jauno materiālu var izmantot parasta stikla vietā, piemēram, logu ražošanā. Ņemot vērā produkta augsto izturīgumu, to var plaši izmantot celtniecībā, piemēram, aizstājot daļu no sienas ar caurspīdīgu koksni. Rezultātā tiks palielināts ēkā nonākošais saules gaismas daudzums, samazināta nepieciešamība pēc mākslīgas gaismas un panākts elektroenerģijas ietaupījums. Pateicoties labajām siltumvadītspējas īpašībām, ēkām tiktu samazināts kopējais siltuma zudumu apjoms. Pagaidām produkts vēl nav komercializēts. Tomēr izgudrotāji uzskata, ka ir iespējams uzsākt produkta ražošanu arī rūpnieciskos apjomos, lai produkts nonāktu tirgū plašā lietošanā. Pagaidām pasaulē nav līdzīgu – caurspīdīgas biomasas plāksnes – produktu. Pieejamā informācija liecina par to, ka Japānā no koksnes biomasas izdevies iegūt caurspīdīgu papīru [130, 131, 132].

Galvenā izejviela caurspīdīgas koksnes produkta iegūšanai ir koksne, kas tiek izmantota plākšņu veidā. Lignīna atdalīšanai tiek izmantota 1 % koncentrēta  $\text{NaClO}_2$ . Vielas daudzumam jābūt pietiekamam, lai tajā pilnīgi ievietotu koksnes plāksni. Metilmetakrilāts tiek izmantots, lai padarītu koksni caurspīdīgu. Patērētā metilmetakrilāta daudzums nav definēts, jo tas var atšķirties atkarībā no izmantotās koku sugas. Metilmetakrilāts aizpilda brīvos kanālus koksne pēc lignīna izvadīšanas. Ražošanas procesā tiek patērēts noteikts siltumenerģijas daudzums, lai nodrošinātu nepieciešamo temperatūru, atdalot lignīnu un pievienojot metilmetakrilātu.

Nātrija hlorīta un metilmetakrilāta ražošanas process neatstāj negatīvu ietekmi uz klimatu un bioloģisko daudzveidību. Nātrija hlorīta ražošanā par izejvielām izmanto hlora dioksīdu un nātrija hidroksīdu. Savukārt metilmetakrilāta ražošanai par galvenajām izejvielām kalpo ciānūdeņradis, sērskābe un acetons [130, 131, 132].

Caurspīdīgas koksnes ražošanas process ir salīdzinoši vienkāršs. Sākumā no koksnes ar ķīmisko procesu palīdzību tiek izdalīts lignīns jeb dabisko polimēru maisījums. Lignīns galvenokārt veido koksnes šūnu sienas. Lai atdalītu lignīnu, koksne tiek sagriezta plānās plāksnēs, kuru biezums nepārsniedz 3 mm. Šīs plāksnes tiek novietotas vannās ar  $\text{NaClO}_2$  un tiek mērcētas 6 stundu garumā 80 °C temperatūrā. Rezultātā koksne kļūst balta. Pēc mērcēšanas koksnei tiek pievienots metilmetakrilāts. Metilmetakrilāts tiek karsēts, kamēr viela kļūst viskoza, un tad apklāj koksnes plāksnes ar šo vielu. Lai panāktu pilnīgu vielas iesūkšanos, plāksnes ar metilmetakrilātu tiek karsētas četras stundas 100 °C temperatūrā. Rezultātā tiek iegūts caurspīdīgs kompozītmateriāls. Caurspīdīgas koksnes ražošanas procesa ietekme uz vidi, klimatu un cilvēka veselību nav detalizēti izpētīta, ņemot vērā pavisam neseno produkta iegūšanas tehnoloģijas radīšanu. Tā kā ražošanas procesā netiek ražoti bīstamie atkritumi un kaitīgas emisijas, var secināt, ka produkta ražošanas tehnoloģija neatstāj būtisku negatīvu ietekmi uz apkārtējo vidi, klimatu un cilvēku veselību [130, 131, 132].

Caurspīdīgas koksnes ražošanas procesā kā blakusprodukts rodas lignīns. Šo produktu var izmantot kā kurināmo siltumenerģijas iegūšanai un novirzīt caurspīdīgas koksnes ražošanas procesam, lai nodrošinātu nepieciešamo temperatūru koksnes pārveidošanās stadijās, vai arī izmantot citu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai, piemēram, kā izejvielu dažādu līmju, ķīmikāliju, mēslojumu un skābju ražošanā [133].

#### **4.4.3. Celulozes siltumizolācijas vate**

Ēku siltināšana ir viens no galvenajiem risinājumiem, lai samazinātu ēku siltumenerģijas patēriņu un padarītu tās energoefektīvas. Mūsdienās eksistē plaša siltumizolācijas materiālu izvēle, ko veicina augsts pieprasījums pēc šī produkta. Siltumizolācijas materiālus var izmantot gan jaunu, gan esošo māju siltināšanai. Par celulozes siltumizolācijas vates mērķauditoriju var uzskatīt gan būvniecības nozares pārstāvjus, gan produkta galapatērētājus – cilvēkus, kuri dzīvo vai strādā ar šo materiālu siltinātās ēkas.

Siltumizolācijas materiāls, kas izgatavots no koksnes skaidām un ģipša, izceļas ar labiem gan siltuma vadīšanas, gan izturības rādītājiem. Viena no galvenajām produkta priekšrocībām ir saistīta ar relatīvi zemām ražošanas izmaksām. Celulozes siltumizolācijas vates ražošanai tiek izmantoti atjaunojami resursi un netiek pievienotas kaitīgas vielas, līdz ar to produktu var uzskatīt par videi draudzīgu. Šis produkts ir inovatīvs, jo tiek piedāvāts jauns tehnoloģisks risinājums. Atšķirībā no citiem izolācijas materiāliem, celulozes vate atrodas suspensijas veidā un to ar spiedienu iepūš iepriekš noslēgtās formās. Ir divu veidu celulozes vates – žāvēta un mitrināta. Žāvētu galvenokārt izmanto bēniņu, grīdu vai jumtu izolācijai, bet mitrinātu celulozes vati izmanto zem betona plāksnēm un starpsienu izolācijai. Galvenā atšķirība no citiem siltumizolācijas materiāliem ir tā, ka netiek izmantota koksne, bet tikai viena no koksnes sastāvdaļām – celuloze, un pirms lietošanas tā atrodas suspensijas veidā un ar to var ērti piepildīt visdažādākās formas. Celulozes vate 85 % sastāv no koksnes celulozes,

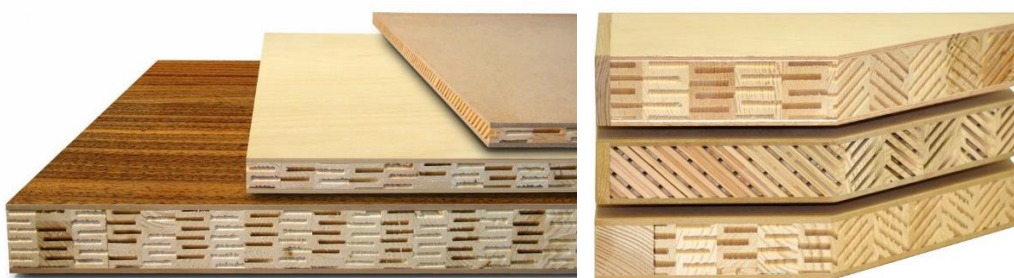
7,5 % no amonija sulfāta, un pārējie 7,5 % ir bora savienojumi. Tāpēc šādu produktu var ražot paralēli citiem produktiem, kuriem nepieciešams lignīns un hemiceluloze. Celulozes vates izgatavošanai nepieciešamo izejvielu iegūšana neatstāj negatīvu ietekmi uz apkārtējo vidi, klimatu un cilvēku veselību. Celulozes izolācijas materiāla ražošanas process ir vienkāršs un sastāv no diviem galvenajiem posmiem: celulozes iegūšanas no koksnes un izolācija materiāla tekstūras veidojošo un ugunsizturību veicinošo vielu pievienošanas [134, 135].

Celulozes vate ir pieejama tirgū Eiropā un ASV. Ņemot vērā to, ka celulozes vates uzklāšanas process ir visai specifisks, parasti ar to nodarbojas specializēti uzņēmumi.

#### 4.4.4. *DendroLight* šūnmateriāls

2010. gadā Latvijā, Ventspilī, ar Eiropas Reģionālās attīstības fonda atbalstu tika atvērta jauna rūpnīca un uzsākta *DendroLight* šūnmateriāla ražošana. Tajā laikā tā bija pirmā koksnes šūnmateriāla rūpnīca pasaulē. Apgrozāmo naudas līdzekļu trūkuma dēļ rūpnīca savu darbu pārtrauca jau 2013. gadā, un tika izsludināta uzņēmuma maksātnespēja. Lai gan šis mēģinājums uzsākt šūnmateriāla ražošanu Latvijā nevainagojās ar panākumiem, tas tomēr nenozīmē, ka šādam inovatīvam produktam, prātīgi saimniekojot, nav potenciāla tikt komercializētam.

*DendroLight* šūnmateriālu var izgatavot no mazvērtīgiem kokmateriāliem, piemēram, papīrmalkas, kas var būt arī nestandarta izmēra, jo materiāls tiek līmēts kopā no nelieliem gabaliem. *DendroLight* šūnmateriālu ražo no unikāli profilētiem egļu, priedes vai apses dēļiem, kas savā starpā salīmēti perpendikulārā leņķī, veidojot bloku, kuru pēc tam sazāgē šūnmateriāla sloksnēs (4.4. attēls). Unikālā profilēšanas tehnoloģija samazina masīvkoka svaru aptuveni par 40 %, sasniedzot 250 kg/m<sup>3</sup> mazu blīvumu un mazinot iekšējo spriedzi. Slāņu līmēšanai izmanto PVAc (D3/D4) vai EPI saistvielas, kuru kopējais īpatsvars nepārsniedz 5 %. Šo materiālu var izmantot logu, durvju, mēbeļu, paneļu un būvniecības sistēmu izgatavošanai. *DendroLight* izgatavotājs šo materiālu pozicionēja kā dabai un cilvēkam draudzīgu produktu [136].



4.4 attēls. *DendroLight* šūnmateriāls [137].

Nav pieejama informācija par to, cik daudz atlikumu rodas šī produkta izgatavošanas procesā (koka skaidas un atgriezumus), bet jebkurā gadījumā tos ir iespējams izmantot citu produktu ražošanai vai kā kurināmo.

Lai gan šis produkts ir jau bijis komercializēts, tomēr pastāv iespēja šī produkta ideju pilnveidot un izveidot jaunu inovatīvu produktu, piemēram, piestrādājot pie šūnmateriāla slāņa savienojuma principiem un integrējot materiāla gaisa šūnās siltumizolācijas materiālus, tā padarot šo produktu funkcionālāku.

#### 4.4.5. Koka – plastmasas kompozīti

Koka–plastmasas kompozīti ir kompozītmateriāli, kas izgatavoti no koka šķiedras un termoplastiskas. Ķīmiskās piedevas ir praktiski "neredzamas" (izņemot minerālo pildvielu un pigmentu, ja ir pievienotas) kompozīta struktūrā. Piedevas tiek lietotas, lai nodrošinātu polimēra un koksnes miltu (pulvera) sasaisti. Papildus koka šķiedrai un plastmasai kompozīti var saturēt arī citas lignocelulozes un/vai neorganiskas pildvielas materiālus. Koka–plastmasas kompozīti pirmo reizi tirgū parādījās deviņdesmito gadu sākumā. Koka–plastmasas kompozīti joprojām ir jauni materiāli, salīdzinot ar zāgmateriālu kā celtniecības materiālu ilgo vēsturi. Koka–plastmasas kompozītu visizplatītākā izmantošana Ziemeļamerikā ir āra terašu grīdām, bet tie tiek izmantoti arī kā materiāls margām, žogiem, apšuvumiem, parka soliņiem, apdarei, logu un durvju rāmjiem un iekštelpu mēbelēm. Produkts tiek izmantots, lai pārstrādātu kokapstrādes pārpalikumus un blakusproduktus kvalitatīvā produktā. Koksnes daudzums koka–plastmasas kompozītos var sasniegt 80 %. Šis produkts satur atjaunojamus resursus – kokapstrādes pārpalikumus un blakusproduktus, tādējādi aizstājot dēļus, kas iegūti tikai no polimēriem. Salīdzinot ar koka dēļiem, koka–plastmasas kompozītiem ir labāka noturība pret apkārtējās vides ietekmi, un tos var salīdzinoši viegli formēt un iegūt arī dažādus toņus [138, 139, 140].

Koka–plastmasas kompozīti un to ražošanas tehnoloģijas ir patentēti daudzās valstīs visā pasaulē [141]. Līdz ar to produkts tiek ražots komerciālos apjomos, ir brīvi pieejams tirgū, arī Latvijā. Piemēram, 2012. gadā Ziemeļamerikā tika saražots 1 100 000 t koka–plastmasas kompozītu, Ķīnā 90 000 t un Eiropā 260 000 t. 67 % no Eiropā saražotās produkcijas bija terases dēļi un 24 % materiāli auto industrijas vajadzībām. Tiek prognozēts, ka nākotnē pieprasījums pēc koka–plastmasas kompozītiem turpinās augt par 10 % gadā. Gala produkcijas cena ir aptuveni 28–50 eiro par kvadrātmētru. Salīdzinot ar koka terases dēļiem, to cena ir apmēram divas reizes lielāka, bet koka–plastmasas dēļu ilgmūžība un vieglā kopšana ir aspekts, kas nodrošina pietiekami lielu pieprasījumu pēc šī produkta.

Šī produkta ražošanai ir nepieciešami koksnes putekļi, kas iegūti no dažādiem kokapstrādes pārpalikumiem un blakusproduktiem, polimēri un piedevas. Koka–plastmasas kompozītos koka putekļu daudzums visbiežāk svārstās 60–70 % robežās. Polimērmateriālu un piedevu izmantošana un ražošana var atstāt negatīvu ietekmi uz klimatu, apkārtējo vidi un bioloģisko daudzveidību. Salīdzinot ar koka dēļiem, rodas lielāka ietekme uz vidi, taču, salīdzinot tikai ar plastmasas dēļiem, – tā tiek samazināta. Pašlaik zinātniskajā literatūrā atrodams, ka koksnes putekļu daudzumu galaproduktā ir iespējams palielināt līdz 80 %. Izmantojot reciklētus polimērus, iespējams samazināt radīto produkta ietekmi uz vidi [138, 139, 140].

Koka–plastmasas kompozīti tiek ražoti, rūpīgi sajaucot sasmalcinātas koksnes daļiņas un uzsildītus termoplastiskus sveķus. Izmantojot koksnes putekļus, kompozīti tiek ražoti daudz zemākā temperatūrā nekā tradicionālās plastmasas ekstrūzijas un spiedliešanas līnijās. Koka–plastmasas kompozītu apstrādā apmēram 28 °C augstā temperatūrā. Visbiežākās izplatītās ražošanas metodes ir ekstrūzija un spiedliešana. Koka–plastmasas kompozītus var iegūt gan no pirmlietojuma, gan no pārstrādātiem polimēriem. Tiek lietotas arī piedevas, piemēram, krāsvielas, sakabes aģenti, UV stabilizatori, putu aģenti, putošanas aģenti un smērvielas, lai pielāgotu galaprodukta īpašības. Izmantojot ekstrūzijas metodi, tiek iegūti gan pildīti, gan dobi koka–plastmasas kompozītu profili. Spiedliešanas veidnes izmanto, lai izveidotu



sarežģītākas formas produktus, kas nepieciešami, sākot ar automobiļu durvju paneļiem beidzot ar mobilo telefonu vāciņiem [138, 139, 140].

#### **4.4.6. Koka putu siltumizolācija**

Dabisko siltumizolācijas materiālu pētniecībā parādīties jauns izpētes objekts – putas, kas izgatavotas no koka putekļiem. Koka šķiedras samaļot ļoti smalki, veidojas šķidra masa, kura tiek uzputota, izmantojot gāzi, kas liek masai sacietēt. Radītais materiāls ir viegls, jo tam ir poraina struktūra. Ņemot vērā, ka šī produkta izgatavošanai tiek izmantots koka pulveris, tad kā izejmateriālus koka pulvera izgatavošanai var izmantot kokapstrādes un mežizstrādes atlikumus, tādējādi ilgtspējīgi izmantojot bioresursus un radot produktu ar augstāku pievienoto vērtību. Zinātnieki pēta iespējas, kā nodrošināt putu sacietēšanu ar koka biomasā dabiski esošajām vielām vai pievienojot citas ķīmiskas vielas. Šī produkta inovācijas pamatā ir radīt materiālu, kas aizstātu šobrīd plaši izmantotās no naftas produktiem ražotās izolācijas putas, tā samazinot fosilo resursu izmantošanas radīto negatīvo ietekmi uz apkārtējo vidi, klimatu un bioloģisko daudzveidību. Mūsdienās tirgū ir plaši pieejamas ne tikai siltumizolācijas putas, plātņveida un beramie siltumizolācijas materiāli no naftas produktiem, bet arī no dabiskiem izejmateriāliem. Tomēr valda uzskats, ka dabiskas izcelsmes siltumizolācijas materiāli ir mazāk izturīgi, absorbē mitrumu un ātri deformējas. Koka putu siltumizolācijas materiālā šīs problēmas ir novērstas un tā īpašības ir tikpat labas kā siltumizolācijas materiāliem no naftas produktiem. Turklāt putu siltumizolācija ir plašāk lietojama nekā līdzšinējie dabiskie siltumizolācijas materiāli, kas vairākumā gadījumu paredzēti standarta ēku siltināšanas risinājumiem [142].

Pagaidām šis produkts nav komercializēts, jo vēl notiek tā pilnveidošanas izpēte. Literatūrā atrodama informācija, ka pie šī produkta izstrādes šobrīd strādā zinātnieki Amerikas Savienotajās Valstīs un Vācijā.

#### **4.4.7. Koksnes polimēra kompozīti ar termiski modificētas koksnes atlikumiem**

Produkts koksnes polimēra kompozīti ar termiski modificētas koksnes atlikumiem ir viens no Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūtā izstrādātajiem produktiem. Atšķirībā no plaši zināmajiem koksnes polimēru kompozītiem, šajā produktā koksnes daļa tiek aizstāta ar termiski modificētiem koksnes atlikumiem.

Koksnes polimēra kompozīti (KPK) ir biokompozītmateriāli, kas galvenokārt sastāv no koksnes atlikumiem (skaidām, koksnes miltiem u. c.) un termoplastiska polimēra (PP, HDPE, LDPE u. c.), kura mīksttapšanas temperatūra nepārsniedz 200 °C. Koksnes atlikumu daudzums parasti ir robežās no 40 % līdz 70 % no kopējās kompozītmateriāla masas. Īpašību uzlabošanas nolūkā tiek izmantotas dažāda veida piedevas: krāsvielas, stabilizatori, starpfāžu modifikatori, plastifikatori, biocīdi u. c. Šāda veida materiālus visbiežāk izmanto terases dēļu, margu, ārtelpu mēbeļu, logu rāmju, sētu, iepakojumu un dažādu automašīnu paneļu ražošanā. No KPK kausējuma var izgatavot sarežģītas formas produktus, piemēram, neregulāras formas paneļus. Kompozītmateriāliem piemīt relatīvi labas mehāniskās īpašības, nav nepieciešama tik regulāra apkope, kā tas ir koksnes gadījumā, ražošanā var izmantot visdažādākās dabas šķiedras, kā arī otrreiz pārstrādātas plastmasas. Pieņemot, ka piedevu daudzums kompozītā ir 10 masas %, atlikušos 90 masas % veido plastmasas atkritumi. Paši KPK arī ir otrreiz pārstrādājami, kur materiālais zudums pārstrādes procesā ir minimāls, kas ir

Ļoti būtiski automašīnu ražošanas sektorā, kur saskaņā ar Eiropas Parlamenta direktīvu 2000/53/EC vismaz 95 % no automašīnas masas ir jābūt reciklējamai (mehāniski 85 % un termiski 10 %) [143, 144]. Konkrētais piedāvājums ir izmantot tieši termiski modificētas koksnes atlikumu produktus, kas veidojas termiski modificētas koksnes ražošanas procesā, kā arī pēcapstrādē. Saskaņā ar veiktajiem pētījumiem ir noskaidrots, ka, izmantojot šādu pildvielu, uzlabojas KPK materiāla bioizturība, samazinās ūdens absorbcijas, palielinās dimensionālā stabilitāte, palielinās materiāla stingums (lielāks lieces modulis), bet pasliktinās triecienizturība un produkti ir pieejami tikai tumšā krāsā [98].

KPK materiāli ir piedzīvojuši ļoti strauju pieprasījuma palielināšanos visā pasaulē pēdējo 10 gadu laikā, pateicoties to relatīvi mazajai cenai, labajām īpašībām un videi draudzīgai pieejai. KPK ar termiski modificētas koksnes atlikumiem šobrīd ražo tikai viens uzņēmums *LunaComp* (Somija), kas arī uzsver, ka viņu produkts ir ar ļoti labu dimensionālo stabilitāti un izturību pret sēņu iedarbību. To pārdod mazumtirgotāji 9 valstīs (Lielbritānijā, Somijā, Vācijā, Ungārijā, Lietuvā, Singapūrā, Zviedrijā, Taizemē un Turcijā). Tas ir ļoti izplatīts Somijā. Lietuvā ir viens mazumtirgotājs, kurš piedāvā šo produktu (terases dēli) par cenu 45 eiro/m<sup>2</sup>. Latvijā, Igaunijā, Krievijā, Baltkrievijā, Polijā u. c. šis produkts nav pieejams [145]. *LunaComp* uzņēmums uzsāka savu industriālo ražošanu 2011. gadā. Atšķirībā no *LunaComp* kompozīta, Latvijas Valsts Koksnes ķīmijas institūta piedāvātajam produktam ir izejvielas izvēles iespējas, piemēram, izmantot termiski modificētas lapkoksnes atlikumus, kas KPK nodrošina mazāku ūdens absorbciju un lielāku dimensionālo stabilitāti, nekā izmantojot termiski modificētas skuju koku skaidas, kā arī izmantot dažādos režīmos termiski modificētus koksnes atlikumus. Pastāv arī iespējas izmantot citādu sastāvu, kas nodrošinās atšķirīgas īpašības un līdz ar to paplašinās izmantošanas sfēra [98].

Produkta mērķauditorija ir privātmāju, dārzu un lauksaimniecības ēku īpašnieki, kuri var izmantot produktu kā terases dēli, sētas materiālu, ārtelpu mēbeli u. c., kā arī automašīnu ražotāji, iepakojumu ražotāji un pašvaldības. Būtiskākās pircēju prasības attiecībā uz šo produktu ir saglabāt sākotnējās materiāla īpašības pēc iespējas ilgākā laika posmā, neveicot papildu materiāla apstrādes, piemēram, krāsošanu. Šo produktu varētu izmantot turpat, kur parastos KPK materiālus, bet tas varētu būt arī nišas produkts tādās sfērās, kur parastā KPK īpašības nespēj nodrošināt vēlamās prasības [98].

Kompozīts ar termiski modificētas koksnes atlikumiem varētu pavērt jaunas izmantošanas iespējas tieši šāda veida materiāliem. Tos varētu izmantot īpaši mitrās vietās, kur parastie KPK nespēj nodrošināt gan izturību pret sēnītēm, gan dimensionālo stabilitāti. Tā kā arī termiski modificētas koksnes ražošanas apjomi pēdējo gadu laikā strauji pieaug, tad termiski modificētas koksnes atlikumu pieejamība tikai palielināsies.

Šobrīd Latvijā darbojas vairāki uzņēmumi, kas ražo termiski modificētu koksni, un kā ietekmīgāko ražotāju var minēt *Stora Enso* (Launkalne). Būtiski ir piebilst, ka, izmantojot termiski modificētas koksnes atlikuma produktus, KPK ražošanā nav nepieciešama šo skaidu ķīmiska pirmsapstrāde, piemēram, apstrāde ar sārmu, jo jau pašas termiski modificētās skaidas nodrošina pietiekami labas materiāla īpašības. Līdz ar to arī šeit parādās gan ekonomisks, gan videi draudzīgs aspekts. Šāda veida pildvielas izmantošana KPK materiālu ražošanā ir salīdzinoši maz pētīta, un līdz ar to turpmāka izpēte varētu nodrošināt citu, ar KPK materiāliem nesaistītu tirgu iekarošanu [98].



Vienas KPK produkta vienības saražošanai nepieciešams 0,5 vienības termiski modificētas priedes vai bērza koksnes atlikumu (0,2–0,4 eiro/kg), 0,42 vienības polipropilēna granulu (1,2–1,5 eiro/kg), 0,03 vienības starpfāžu modifikatora (1,5–3,0 eiro/kg) un 0,05 vienības UV absorbera (0,5–0,7 eiro/kg). Termiski modificētas koksnes atlikumi netiek izmantoti citu produktu ražošanā. Šie atlikumi parasti tiek sadedzināti siltumenerģijas ieguvei. No visa saražotā termiski modificētas koksnes apjoma aptuveni 3 % varētu veidoties kā atlikumi. Atlikumu pieejamība būtu atkarīga no termiski modificētas koksnes ražotājiem. Polipropilēna atkritumi rada vides piesārņojumu, jo tie bioloģiski nenoārdās. Šo atkritumu savākšana un otrreizēja pārstrāde veicinās vides kvalitātes uzlabošanos. To cena varētu būt robežās no 0,3 līdz 0,6 eiro/kg. Polipropilēna cena ir aptuveni 1,2–1,5 eiro/kg [98].

Termiski modificētas koksnes ražošanas process ir videi nekaitīgs. Turklāt termiski modificētas koksnes atlikumu otrreizēja pārstrāde atstāj pozitīvu ietekmi uz vidi, jo tad tā nenonāk vidē, kā arī tādā veidā tiek ietaupīti fosilie resursi. KPK materiālus var ražot, izmantojot ekstrūderi, spiedliešanas iekārtu, pultrūzijas iekārtu vai presi. Izmantotās iekārtas veids ir atkarīgs no vēlamā produkta, piemēram, terases dēļus ražo, izmantojot ekstrūderi. Skaidas, polipropilēns un piedevas tiek ievadītas ekstrūderī, lai notiktu masas vienmērīga samaisīšanās, tad notiek granulēšana vai gatavu produktu izstrādāšana. Ražošanas procesam nepieciešamās iekārtas ir iespējams iegādāties Latvijā [98].

Produkta izgatavošanai 90 % apmērā tiek izmantoti atjaunojamie dabas resursi. Tā sastāvā nav ķīmisku savienojumu, kuru nonākšana vidē var radīt piesārņojumu un kaitējumu dzīvajiem organismiem. To lietošanas cikla beigās iespējams 100 % apmērā reciklēt, tas atbilst ekodizaina pamatprincipiem un ir alternatīva plastmasas izstrādājumiem, tāpēc šis produkts uzskatāms par ekoloģisku, cilvēkam, videi un klimatam draudzīgu.

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūtā šis produkts izstrādāts Valsts pētījumu programmas 2014.10-4/VPP-6/6 "Meža un zemes dzīļu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas" (ResProd) (2014–2017) ietvaros. Tieši šāds kompozīts šobrīd nav komercializēts un nav pieejams tirgū. Vēl tiek veikti pētījumi.

#### **4.4.8. Kokšķiedras kompozītmateriāla grīdas segums**

Kokšķiedras kompozītmateriāla grīdas segumu veido koka šķiedra, kaļķakmens pulveris, PVC, vinilhlorīda–vinilacetāta polimērs. Ar koka šķiedru armētie kompozītmateriāli ir dabai draudzīgāki un ilgtspējīgāki. Atšķirībā no koka grīdas dēļiem tie kalpo ilgāk, jo ir noturīgāki pret abrāziju. Atšķirībā no WPC (*wood/plastic composites*) dēļiem, tiem ir lielāks dabisko materiālu īpatsvars un augstāka materiāla cietība. Koksnes pulveri vienu stundu 100 °C izžāvē (atkarībā no sugas, bet tā, lai mitruma daudzums būtu mazāks nekā 8 %). Sauso koksnes pulveri 30 min. sajauc ar vinilhlorīda–vinilacetāta polimēru, PVC un kaļķakmeni, tad atstāj žāvēties 100–180 °C (15–20 min.), 80–120 °C (5–10 min.), 60–100 °C (3–5 min.) un 30–50 °C (3–5 min.), kam seko malu apgriešana un pulēšana [146].

#### **4.4.9. Nanocelulozes cements**

Nanocelulozi tās īpašību dēļ var izmantot kā izolācijas materiālu vai kā cementa piejaukumu. Tas padarītu būvniecības procesu videi draudzīgāku, uzlabojot kvalitāti. Tiktu likvidētas

mikroplaisas, kas veidojas cementā. Produkts ir inovācija, jo īpaši Latvijā. Tas netiek ražots pārdošanai, un tam ir būvniecības nozares uzlabošanas potenciāls [147, 148].

Nanocelulozes cementa izgatavošanai Latvijā ir pieejamas visas nepieciešamās izejvielas: cements un koksnes resursi. Indijā veikts pētījums liecina, ka nanocelulozes ieguvei var izmantot arī papīra ražošanas un kokzāģētavu atlikumus [149]. Tātad Latvijā šāda produkta ražošanai varētu izmantot mežizstrādes un kokapstrādes atlikumus.

#### **4.4.10. ICLT (*interlocking cross-laminated timber*) – savstarpēji savienoti krusteniski laminēti paneļi**

ICLT (*interlocking cross-laminated timber*) – savstarpēji savienoti krusteniski laminēti paneļi – ir jauns produkts un vēl nav pieejams tirgū. Tas izgudrots Amerikas Savienotajās Valstīs, Jūtas Universitātē (*University of Utah*). Ražojot ICLT, iespējams izmantot defektētu koksni, kuru nav iespējams pārdot kā zāģbaļķus, vai arī no vecām koka ēkām demontētus kokmateriālus. Izgudrotāji ICLT izgatavošanai izmantojuši egles, kuras dabā plašā teritorijā cietušas no kaitēkļu bojājumiem, izraisot koku kalšanu plašās teritorijās, kas paaugstina ugunsbīstamības risku. Šāds koks nav pietiekami izturīgs, lai to izmantotu viengabalaina materiāla izgatavošanai, savukārt CLT (*cross-laminated timber*) slāņos tas kļūst pietiekami izturīgs [150]. CLT jau ir plašāk zināms, un līdzīgs produkts jau ir komercializēts. Šis produkts tiek izgatavots ar saistvielu, zem spiediena savstarpēji savienojot vairākos slāņos un pretējos virzienos liktus dēļus, tādējādi iegūstot lielāku un izturīgāku viengabalainu koka paneli. Šāda veida paneļu priekšrocības ir ne tikai tas, ka iespējams izmantot nestandarta izejmateriālus, bet arī tas, ka tiek paaugstinātas tā mehāniskās īpašības (to stiprība ir tuva betonam). Būvniecībā, izmantojot CLT paneļus, tiek palielināts būvniecības procesa ātrums un līdz ar to arī samazinātas izmaksas. Šobrīd CLT paneļi tiek izmantoti daudzstāvu māju būvniecībai. Īpaši lielu popularitāti tie ieguvuši Skandināvijas valstīs. Pirmā un pagaidām vienīgā CLT rūpnīca Latvijā tika atvērta 2015. gadā Jelgavā. Tāpēc CLT Latvijā vairs nebūtu uzskatāms par pētījuma pasūtītāja interesēm atbilstošu inovatīvu produktu. Savukārt ICLT ideju var attīstīt un rast risinājumu nestandarta un nekvalitatīvas koksnes izmantošanai inovatīva būvmateriāla ražošanai.



4.5. attēls. ICLT 5 slāņu profila šķērs griezumus [150].

ICLT slāņu savstarpējai savienošanai netiek izmantotas nekādas saistvielas, jo koka gabali tiek izfrēzēti dažādās formās un savstarpēji savienoti viengabalainā panelī (4.5. attēls). Tādējādi tiek izslēgta iespējamība, ka tiek izmantotas videi un cilvēka veselībai kaitīgas saistvielas, un šādu produktu pēc dzīves cikla beigām ir iespējams izmantot kurināmā ražošanai.

Izmantojot defektēto un nestandarta koksni ICLT paneļu ražošanai iespējams samazināt neizmantoto mežizstrādes biomasas atlikumu apjomu un vienlaicīgi esošajiem kokmateriāliem paugstināt pievienoto vērtību, nepalielinot ietekmi uz vidi. Tā kā AS “Latvijas valsts meži” ir ieguvuši PEFC sertifikātu, tad no šo mežu biomasas produktiem celtas ēkas arī varētu iegūt PEFC sertifikātu. Pēc dzīves cikla beigām ICLT var izmantot, piemēram, kurināmā ražošanai, jo tā sastāvā nav nekādu ķīmisku saistvielu.

Starptautiskajā patentu datubāzē nav pieejama informācija, ka ICLT būtu patentēts kā produkts vai tā ražošanas metode. CLT gan ir vairāki patenti [151, 152, 153].

#### 4.4.11. Skuju siltumizolācijas materiāls

Skuju siltumizolācijas materiāls ir izgatavots no mežizstrādes atlikumiem – skuju koku zaleņa (egļu un/ vai priežu skujas ar vai bez smalkajiem zariem). Produktu iespējams izgatavot plātņu vai granulu veidā (4.6. attēls). Lai tas turētos kopā, tiek likta klāt saistviela, kas izgatavota no cietes un ūdens maisījuma. Lai materiālu padarītu vēl izturīgāku un ne tik drūpošu, kā arī padarītu to ugunsdrošu, ir jāveic papildu pētījumi par vielām, kas vēl būtu pievienojamas saistvielai. Eksperimentos iegūtie siltumvadītspējas koeficienta ( $\lambda$ ) rezultāti skuju siltumizolācijas materiālam ir šādi:

- granulēts skuju siltumizolācijas materiāls:  $\lambda = 0,045\text{--}0,082\text{ W/mK}$ ;
- plātņveida skuju siltumizolācijas materiāls ar cietes saistvielu  $\lambda = 0,048\text{--}0,054\text{ W/mK}$ ;
- plātņveida skuju koku zaleņa siltumizolācijas materiāls  $\lambda = 0,056\text{--}0,065\text{ W/mK}$ ;
- bērtas egļu skujas:  $\lambda = \sim 0,035\text{ W/mK}$ ;
- bērtas priežu skujas:  $\lambda = \sim 0,075\text{ W/mK}$  [154, 155, 156, 157].

Produkts izmantojams ēku siltināšanai. Tā mērķauditorija ir “zaļās” būvniecības piekritēji, kuriem ir būtiski, ka telpas, kurās viņi uzturas, ir veidotas no videi un cilvēka veselībai nekaitīgiem materiāliem. Šis materiāls bioloģiski noārdās, un tā nonākšana vidē nerada nekādu piesārņojumu un neatstāj negatīvu ietekmi uz cilvēku veselību, klimatu un vidi.



4.6. attēls. Skuju siltumizolācijas materiālu paraugi.

Produkts izgudrots Rīgas Tehniskās universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūtā, un šis izgudrojums ir patentēts ar Latvijas Patentu valdē (patenti Nr. LV14792B “Kokskaidu siltumizolācijas materiāls” un Nr. LV15124A “Granulēts kokskaidu siltumizolācijas materiāls”) [158, 159]. Patentu īpašniece ir Rīgas Tehniskā universitāte. Šobrīd tirgū nav pieejami siltumizolācijas materiāli, kuru izgatavošanai būtu izmantota ne tikai koksne, bet arī skujas. Par līdzīgiem produktiem varētu uzskatīt kokšķiedras plātnes ( $\lambda = 0,053\text{ W/mK}$ ) un kokšķiedras vati ( $\lambda = 0,058\text{ W/mK}$ ).

Produkta ražošanas tehnoloģijas ir vienkāršas, un tam ir iespējams pielāgot jau esošas iekārtas. Atkarībā no skuju siltumizolācijas materiāla veida ražošanas process var atšķirties,

bet galvenie produkta ražošanas posmi ir izejmateriāla iegūšana no mežizstrādes atlikumiem cirmās, tā smalcināšana, sajaukšana ar saistvielu, formēšana un žāvēšana. Lielākās problēmas varētu būt tieši ar zaleņa ieguvu jau veiktajās cirtēs, jo šobrīd nav rasts risinājums, kā šo procesu mehanizēt, tajā skaitā veicot mehanizētu mežizstrādes atlikumu šķirošanu uz vietas cirmā, no tiem atdalot skuju koku zaleņi (smalkie zari diametrā līdz 5 mm ar skužām). Latvijā skuju koku zaleņa ieguve joprojām ir manuāls, cilvēkdarba ietilpīgs process.

Skuju koku zaleņi Latvijā komerciālu produktu ražošanai izmanto uzņēmumi AS "Biolat" un SIA "Vecventa", kas izgatavo dažādus produktus no skuju koku zaleņa ekstraktiem un atlikušo masu nelielos daudzumos izmanto lopbarībai un kā mulču. Vēl nav veikti pētījumi, bet, iespējams, skuju siltumizolācijas materiālu varētu izgatavot no skuju koku zaleņa masas, kas paliek pāri pēc ekstrakta iegūšanas, tādējādi iegūstot lielāku pievienoto vērtību no skuju koku zaleņa izmantošanas, jo tā izmantošanas procesā tiktu izgatavots vēl viens produkts ar lielāku pievienoto vērtību nekā līdz šim.

#### **4.4.12. Stikla šķiedras/koksnes miltu termoplastiskais hibrīdkompozītmateriāls**

Hibrīdkompozītmateriālu veido stikla šķiedra, koksnes milti un polimērs. To var izmantot logu rāmju, durvju, automašīnas salona paneļu, margu, apšuvuma, seguma un žogu ražošanā. Lielākais potenciāls saistāms ar automašīnu industriju. WPC (*wood/plastic components*) ir aktuālākais kompozītmateriāls pēdējā desmitgadē. Tas ir videi draudzīgāks, ar zemākām ražošanas izmaksām, it sevišķi, ja izmanto otrreizēji pārstrādātas izejvielas. Par nišas produktu hibrīdkompozītmateriālu var uzskatīt tāpēc, ka papildus koksnes šķiedrai/pulverim plastmasai tiek pievienota stikla šķiedra, kas paaugstina materiāla cietību. Atkarībā no nepieciešamajiem kompozītmateriāla parametriem izmanto pirmreizēji ražotus vai pārstrādātus materiālus nepieciešamajās proporcijās: stikla šķiedra (rūpniecības atkritumi (sasmalcināta 3 mm garumā), pārstrādāta stikla šķiedra), polimērs (PE, LDPE, PP, PVC, PS, ABS plastmasa, neilons) un koksnes milti (pārstrādāti koksnes atgriezumī, zāģu skaidas utt.) 250–500 μm diametrā. Palielinot koksnes miltu procentuālo īpatsvaru, pieaug polimēru matricas cietība, it sevišķi, pieaugot temperatūrai, kas polimēru mīkstina. Tāpat materiāla cietību uzlabo arī stikla šķiedra (atšķirība starp nepārstrādātu un pārstrādātu stikla šķiedru nav nozīmīga). Savukārt lieces stiprība paaugstinās, samazinoties koksnes miltu īpatsvaram. Pirms ražošanas polimēri (65 °C) un koksnes milti (105 °C) 24 h tiek žāvēti krāsnī, lai likvidētu mitrumu. Polimēra, koksnes miltu un stikla šķiedras sajaukšanai izmanto kinētisko maisītāju. Polimēru un pildvielas ievada sajaukšanas kamerā, strauji (~3 min.) maisījums tiek novests līdz polimēra kušanas temperatūrai (LDPE kušanas temperatūra ir 130 °C, PP – 160 °C), veidojot homogenizētu izkausētu masu, kuru atlej veidnē. Nepieciešamās veidnes iegūšanai (atkarībā no iecerētā mērķa) izmanto kompresijas iekārtu [160].

Lai gan šāda kompozītmateriāla sastāvā ir tikai 20–60 % atjaunojamo resursu, tas ir apkārtējai videi draudzīgāks nekā materiāli, kas 100 % apmērā tiek ražoti no naftas pārstrādes produktiem. Turklāt materiāla ražošanā iespējams izmantot reciklētu stiklašķiedru un plastmasu, tādējādi arī samazinot produkta ietekmi uz klimatu un apkārtējo vidi.

## 4.5. Citi jauni produkti ar augstu pievienoto vērtību

### 4.5.1. Aktivētā ogle kā adsorbents

Aktivētās ogles (AO) apvieno porainus oglekļa materiālus, kas iegūti, apstrādājot ogles ar oksidējošām gāzēm vai karbonizējot oglekļa saturošu materiālus ar vienlaicīgu ķīmisko aktivāciju. Visus šos oglekļa materiālus iegūst, lai sasniegtu augstu porainuma pakāpi un lielu iekšējās virsmas laukumu. Daudz un dažādas AO lietojuma iespējas ir apskatītas vairāk nekā 1500 rūpnieciskajos patentos visā pasaulē [161].

Ūdens attīrīšana ir vislielākā AO patēriņa pasaules nozare. To ietekmē tīra dzeramā ūdens nepieciešamība un daudzu valstu apkārtējās vides augstie normatīvi attiecībā uz notekūdeņiem. Arī citas nozares patērē AO, kā arī arvien palielinās spēkstaciju izplūdes gāzu un automobiļu dzinēja izmešu kontrole. Prognozēts, ka kopējais AO pasaules patēriņš līdz 2017. gadam būs dubultojies, t. i., no 2007. gada 890,5 tūkstošiem līdz 1,73 miljoniem tonnu 2017. gadā [161, 162]. AO patēriņš palielinās, pateicoties izmaiņām valstu normatīvajā regulējumā par labu vides aspektiem. Lai apmierinātu pieaugošo pieprasījumu un samazinātu atmosfēras piesārņojumu, ir jāizstrādā jaunas AO iegūšanas metodes un racionāli tās jāīsteno [98].

Šī produkta mērķauditorija ir jebkurš process un pakalpojums, kur nepieciešama gāzveida un šķidrās vides attīrīšana no nevēlamajiem piemaisījumiem, piemēram, izmantojot kā katalizatoru metalurģijā un benzīna attīrīšanā; peldbaseinu un bezalkoholisko dzērienu ūdens attīrīšanai no hlora savienojumiem; dzeramā ūdens un rūpniecisko gāzu izmešu attīrīšanai; šķīdinātāju un zelta atgūšanā; izšķīdušu organisko savienojumu adsorbīcijai; ūdens un gāzmasku filtrus; alus un degvīna dzidrināšanai. Līdz šim AO noieta tirgus ir tikai audzis – pēdējo 10 gadu laikā tas ir dubultojies, un tam ir tendence palielināties, jo aizvien palielinās prasības notekūdeņu un izplūdes gāzu attīrīšanai [162].

Pulverveida AO, kuras vēsturiski aizņēma lielāko daļu no kopējā patēriņa, pamazām piekāpjas granulveida aktivētajām oglēm (GAO), kuras pasaulē galvenokārt ražo no dabīgi blīva materiāla – kokosriekstu čaumalām. GAO galvenā priekšrocība ir to reģenerācijas spēja. Cena atkarībā no sortimenta ir aptuveni 2000–4000 eiro/t. GAO plaši izmanto kārtidžu sistēmās dažādu nevēlamu piemaisījumu atdalīšanai no pamatprodukta. Pēc šādām AO ir pastāvīgi augošs pieprasījums kā Amerikas Savienotajās Valstīs, tā Rietumeiropas tirgos. Koksnei kā GAO ražošanas izejvielai ir vairāki trūkumi – iegūtās AO ir ar mazu blīvumu un mehānisko izturību. Tādēļ AO, kas ražotas no koksnes, pārsvarā ir pulverveida, un to cena ir zema, bet, veicot hidrotermisko apstrādi un granulēšanu, ir iespējams iegūt GAO no koksnes [98].

AO ražotāji atrodami visā pasaulē, tāpēc varētu rasties šaubas par šī produkta novitāti, bet jāpievērš uzmanība tehnoloģijai, ar kuru šis produkts tiek saražots. LVKĶI ir izstrādāta oriģināla un videi draudzīga tehnoloģija, lai no mazvērtīgas lapu koku koksnes, kurai ir zema lietošanas un pievienotā vērtība, iegūtu augstas kvalitātes blīvas un mehāniski izturīgas sīkporainas GAO, kas ir lietojamas gāzes un šķidrā fāzē ar iespēju tās reģenerēt. LVKĶI pētījumu rezultātā ir noskaidrots, kā baltalkšņa koksnes hemiceluložu daļējās noārdīšanās process, neizmantojot neorganiskus katalizatorus, iespaido modificētas (hidrotermiski apstrādātas) koksnes granulū, pārogļotu granulū un AO struktūras veidošanos,

submikroskopisko uzbūvi un īpašības. Izstrādāta jauna kompleksa un videi draudzīga GAO iegūšanas tehnoloģija no modificētas un granulētas baltalkšņa koksnes. Balstoties uz veikto pētījumu rezultātiem, piedāvātā tehnoloģija apvieno hidrotermiskās apstrādes, granulēšanas un termiskās apstrādes metodes, kas sekmē jaunu GAO ražošanas tehnoloģiju attīstību. Iegūtie adsorbenti darbojas ne tikai gāzes, bet arī šķidrā fāzē ar izmantošanas iespējām farmācijā, ķīmiskajā un pārtikas rūpniecībā, kā arī vides un enerģētikas problēmu risināšanā [98].

1 t AO iegūšanai nepieciešams 5,9 t papīrmalkas vai kurināmās malkas. Kā izejvielu granulveida aktivēto ogļu iegūšanai var izmantot furfurola ražošanas atlikumu – lignocelulozi. Šobrīd furfurola ražošana Eiropā ir attīstības stadijā, tādēļ šādi atlikumi nav pieejami lielos daudzumos. Prognozējams, ka nākotnē Eiropā attīstīsies furfurola rūpnīcas, kurās 50–70% lignoceluloze tiktu dedzināta paša procesa enerģijas vajadzībām. AO ražošana no lignocelulozes būtu produkts ar lielāku pievienoto vērtību [98].

Aktivētās ogles ražošanas tehnoloģija LVKĶI izstrādāta valsts pētījumu programmas (2005.-2009. gads) projekta “Lapu koku audzēšanas un racionālas izmantošanas pamatojums, jauni produkti un tehnoloģijas” ietvaros. Pagaidām šī aktivētās ogles ražošanas tehnoloģija vēl nav patentēta un komercializēta. Kā galvenie iemesli, kāpēc šī AO ražošanas tehnoloģija un produkts vēl nav komercializēts, ir tas, ka nepieciešamas lielas investīcijas šādas ražošanas uzsākšanai un nav bijusi kvalitatīva inovācijas pārnese no zinātnes uz biznesu [98].

#### **4.5.2. Bioloģiski aktīvi savienojumi no priedes mehāniskās pārstrādes blakusproduktiem**

Priedes mehāniskās pārstrādes blakusprodukts, kas rodas priedes koka pārstrādes procesā, ir racionalizēti, papildinot to enerģētisku izmantošanu ar bioloģiski aktīvu, tai skaitā veselību veicinošu dabas vielu ieguvī. Izstrādātajā procesā ir integrēta ilgtspējīga attīstība atbilstoši cirkulārās ekonomikas stratēģijai, kur viena procesa blakusprodukts ir izejviela citam un tiek palielināta ekonomiskā vērtība bez papildu patēriņa pieauguma. Iegūtie ekstraktu savienojumi ir pasaulē zināmi, pateicoties to efektīvai iedarbībai uz sirds slimībām, Alcheimera slimību un citām slimībām. Tiem piemīt pretmikrobu un antibakteriālā aktivitāte, antimetastatiskā un pretiekaisuma, kā arī antioksidantā aktivitāte. Izstrādātā bioloģiski aktīvo savienojumu ieguve vēl tiek optimizēta, un pilnvērtīgai izejvielas izmantošanai ir nepieciešami papildu pētījumi [98].

Priede (*Pinus Sylvestris L.*) ir viena no nozīmīgākajām koku sugām Latvijas ekonomikā. Daudzi bioloģiski aktīvi savienojumi no priedes koksnes ir guvuši plašu atzinību, pateicoties to potenciālajām veselību veicinošām īpašībām, antimikrobiālām un antidiabētiskajām aktivitātēm. Tradicionāli tie tiek ekstrahēti, izmantojot šķidruma ekstrakciju, bet ieguves apstākļu pētījumi ir aktualizējušies un sistemātiski sākti pētīt pēdējā piecgadē, citviet Eiropā dažu šo savienojumu, piemēram, lignānu, ieguve ir komercializēta, tiem ir liela tirgus un komerciālā vērtība, pieejamo preparātu skaits arvien tiek papildināts [98].

Šī produkta izpēti veikta Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūtā starptautiska ERA-NET „WoodWisdom - Net” projekta „*Pinosylvins as novel Bioactive Agents for Food Applications (PINOBIO)*” ietvaros (projektā iesaistītas 5 zinātniskās institūcijas no 4 dažādām valstīm



(Somijas, Spānijas, Slovēnijas, Latvijas)). Šobrīd par šo produktu tiek izstrādāts patenta pieteikums.

#### 4.5.3. Ciete

Ciete ir visplašāk dabā sastopamais slēgtais ogļhidrāts un rodas augos fotosintēzes rezultātā. Cietes molekulas atrodas saknēs, zaros, sēklās un augļos. Ciete veido mazas granulas, kas nešķīst aukstā ūdenī [163]. Ciete ir polisaharīds, tā galvenā funkcija augos ir enerģijas uzkrāšana.

Ciete ir izejviela, ko var izmantot gan pārtikas rūpniecībā (kā cieti tiešā veidā vai lai izgatavotu sīrupu vai glikozi), gan kā izejvielu citās rūpniecības nozarēs, piemēram, tekstilrūpniecībā, saistvielu ražošanai vai bioplastmasas izgatavošanai. ES izplatītākais cietes lietojums ir papīra un kartona ražošanas industrija (apmēram 70 %). Citas būtiskas nozares ir saistvielu ražošana, tekstilrūpniecība, piedevu ražošana, kosmētikas ražošana, farmācija, būvniecība, krāsu ražošana, neapstrādātas eļļas ekstrakcija, agroķīmija un cietes plastmasas un kompozītu izgatavošana [164].

Cietes no koksnes mērķauditorija būtu uzņēmumi, kuriem savu produktu ražošanai ciete lielos daudzumos nepieciešama kā izejviela un paši ar šīs izejvielas izgatavošanu nenodarbojas. Tieši par cietes, kas izgatavota no koksnes, īpašībām un labākajām izmantošanas iespējām ir pieejama ļoti ierobežota informācija, līdz ar to nepieciešami papildu pētījumi. Bet tiek pieļauts, ka šo cieti varētu izmantot tādiem pašiem mērķiem kā citu augu cietes. Cietes iegūšanas no koksnes inovācija saistīta ar to, ka izejvielas (koksnes) audzēšana nodara videi daudz mazāku kaitējumu nekā lauksaimniecības kultūraugu audzēšana un ciete ir viens no visbiežāk sastopamajiem organiskajiem savienojumiem uz Zemes [165, 166].

Šobrīd nav daudz zinātnisku pētījumu par cietes iegūšanu no koksnes, tās specifiskajām īpašībām un izmantošanu [165]. Ir atrodama informācija, piemēram, par cietes iegūšanu no manioka auga [167]. Tas liecina par to ka, šis produkts un tā izgatavošanas tehnoloģijas ir inovācijas, tas nav vēl pilnībā izstrādāts, līdz ar to arī komercializētas. Starptautiskajā patentu datubāzē nav pieejama informācija, ka uz šāda veida produktu vai uz tā ražošanas tehnoloģiju būtu izsniegts patents. Pasaulē izplatītākie cietes ieguves kultūraugi ir kukurūza, (80,9 %), kvieši (8,6 %), kartupeļi (5,3 %) un rīsi. No šo augu sausas masas var iegūt 60–90 % cietes [168]. No koksnes izgatavota ciete nav pieejama tirgū, jo vēl ir tikai izstrādes stadijā. No citiem augiem iegūtas cietes (tai skaitā arī bioloģiskās) plašā klāstā ir pieejamas visā pasaulē. Latvijā nepieciešamos cietes apjomus galvenokārt nodrošina Alojas kartupeļu cietes ražotne, bet apmēram 80 % no savas produkcijas tā eksportē [169].

Cieti iespējams iegūt gandrīz no visiem augiem, jo tā atrodas augu šūnās. Visplašāk ciete tiek iegūta no kartupeļiem, graudiem, rīsiem un kukurūzas. Atkarībā no augu fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām atšķiras cietes iegūšanas tehnoloģijas. Kartupeļu cieti iegūst no sasmalcinātas kartupeļu masas, to skalojot ūdenī. Izskalojot ciete tiek atdalīta no šķidruma un kaltēta. Lai iegūtu cieti no koksnes, ir jāizmanto pavisam citas tehnoloģijas. Nav pieejami pētījumi, kuros konkrēti būtu minēti dati par to, cik daudz cietes var iegūt no Latvijā augošajām koku sugām un vai cietes iegūšanai var izmantot mežizstrādes vai kokapstrādes atlikumus, kā arī to, vai ir atšķirības starp Latvijā valdošajām koku sugām un kuras no tām

būtu vispiemērotākās cietes iegūšanai. Dabisko cieti var modificēt ķīmiski, fiziski un ar enzīmiem vai kombinējot vairākas metodes. Rezultātā iegūst hidratētu vai želejveida cieti. Viens nozīmīgs faktors, kas jāņem vērā, ražojot cieti, ir depolimerizācija (polimēru pārvēršana monomēros). Depolimerizācija notiek 160–180 °C, kā rezultātā strauji pieaug viskozitāte [168]. Koksne esošā ciete neatrodas tīrā veidā, un to nav iespējams izskalot ar ūdeni kā no kartupeļiem. Lai no koksnes iegūtu cieti, kas būtībā sastāv no cukuru glikozes, tā ir jāsašķel. Tāpēc zinātnieki radījuši speciālus enzīmus. Viens no tiem sašķel celulozi molekulās, otrs no tām izgatavo cieti. [165, 166]

#### 4.5.4. Furfuols un tā iegūšanas tehnoloģija no lapkoku koksnes

Furfuols (furān-2-karbaldehīds) šobrīd ir vienīgais rūpnieciski organiskajā sintēzē izmantotais monomērs, ko iegūst nevis no naftas, bet tikai no atjaunojamām izejvielām, kas satur pentozānus (ksilānu, arabinānu). Pašreiz rūpnieciskajā praksē par izejvielām furfuola ieguvē galvenokārt izmanto tādas biomasas pārpalikumus kā cukurniedru bagasi un kukurūzas kacenus, bet var izmantot arī lapkoku koksni un dažādu graudaugu salmus, jo tajos ir līdzvērtīgs pentozānu saturs [170]. Furfuols tikko iegūtā veidā ir eļļains bezkrāsains šķidrums ar mandeļu aromātu, kas saskarē ar gaisu kļūst brūns un tad melns. Furfuols ir heterociklisks savienojums, kas sastāv no furāna gredzena un aldehīdgrupas. Mūsdienās furfuols sekmīgi konkurē ar naftas ķīmijas produktiem, jo tam ir vienkārša iegūšanas shēma, kā arī tā ķīmiskajā molekulā esošā aldehīdgrupa un nepiesātinātās saites dod unikālas fizikālās un ķīmiskās īpašības. Līdz ar to furfuolu var uzskatīt par platformas ķīmikāliju, ko var izmantot vēl augstvērtīgāku produktu ieguvei (piemēram, antacīdi, mēslojumi, plastmasas, tintes, fungicīdi, nematocīdi, līmes un aromatizētāju sastāvdaļas). Galvenais furfuola iegūšanas mērķis ir, lai no tā iegūtu tādas atvasinājumus kā furilspirtu un tetrahidrofurilspirtu, kas arī nosaka furfuola saražotos apjomus pasaulē. 2015. gadā furfuola saražotais daudzums sasniedza 306 300 tonnas, bet tuvākajos piecos gados tiek prognozēts, ka šis apjoms pieaugs līdz 488 300 t/gadā [171, 98].

Šobrīd furfuolu komerciāli iegūst ar trim dažādiem rūpnieciskiem paņēmieniem: ķīniešu pārtrauktas darbības (*the Chinese batch process*), "Quaker" pārtrauktas darbības (*the Quaker batch process*) un "Rosenlew" nepārtrauktas darbības procesiem. Būtībā visos šajos procesos biomasa tiek sasmalcināta līdz nepieciešamajam izmēram un izturēta hidrolīzes reaktorā paaugstinātā temperatūrā zem spiediena un/vai bez katalizatora klātbūtnes. Atkarībā no tehnoloģijas darba temperatūra ir 150–180 °C, spiediens 5–10 bar, bet biomasas izturēšanas laiks 60–300 min. Kā katalizatoru izmanto atšķaidītu sērskābi, kuras daudzums nepārsniedz 2,5 % no biomasas masas [1]. Ar šīm metodēm praktiski var iegūt līdz 55 % no teorētiski iespējamā furfuola daudzuma, bet pāri palikušo biomasu var izmantot tikai kā kurināmo. Līdz ar to zinātnieki visā pasaulē strādā pie jaunu, efektīvu un videi draudzīgu furfuola iegūšanas tehnoloģiju izstrādes un ieviešanas ražošanā.

Arī Latvijā notiek aktuāli pētījumi šajā jomā. Latvijas Valsts Koksnes ķīmijas institūta (LVKKI) Biorafinēšanas laboratorijas Polisaharīdu nodaļa ir izstrādājusi oriģinālu furfuola iegūšanas tehnoloģiju no sašķeldotas lapkoku koksnes. Izmantojot fundamentāli jaunu pieeju furfuola iegūšanai nekā pārējā pasaulē, šī metode ļauj palielināt furfuola iznākumu līdz pat 80 % no teorētiski iespējamā daudzuma. Furfuola iegūšanas pētījumi tiek veikti ar unikālu vienā eksemplārā izgatavotu hidrolīzes iekārtu, kas ļauj modelēt reālu rūpniecībā izmantojamu



furfurola iegūšanas procesu. Izstrādātā tehnoloģija paralēli furfurolam ļauj iegūt arī etiķskābi, ko var izmantot pārtikā vai dažādos organiskās sintēzes procesos [98].

Pētījumu rezultātos ir noskaidrots, ka, mainot tehnoloģisko parametru lielumus, pēc hidrolīzes ir iespējams saglabāt arī augstu celulozes saturu biomasas atlikumā (lignoceluloze). Tādējādi rodas iespēja izstrādāt pilnvērtīgāku lapkoksnes pārstrādes tehnoloģiju, iegūstot tādus augstvērtīgus produktus kā bioetanolis, levoglīkozāns, levoglīkozenons, aktivētā ogle u.c. Neskatoties uz to, furfurola iznākums vēl joprojām tiek saglabāts 65–70 % robežās no teorētiski iespējamā daudzuma [98].

LVKĶI šis produkts pētīts ERAF projekta Nr. 2010/0288/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/038 "Bezatlíkuma tehnoloģija bioetanola un citu vērtīgu produktu ieguvei no lapkoku koksnes" ietvaros (2011.–2013. g.).

#### 4.5.5. Nanokristāliskā celuloze

Nanokristāliskā celuloze ir veidota no stienveida daļiņām, kas ir 5–70 nm platas un 100 nm vai dažus mikronus garas. Daļiņas ir veidotas no 100 % celulozes un ir ļoti kristāliskas. Aspekta attiecība, kas definēta kā garuma attiecība pret diametru, aptver plašu diapazonu, ko ietekmē kokmateriāla un apstrādes tehnoloģijas izvēle. Produkts ir izmantojams naftas un gāzes, adhezīvu, papīra un tekstila, cementa, polimēru un kompozītu, krāsu un pārklājumu, personīgās higiēnas, medicīnā, pārtikas un dzērienu, kā arī elektronikas industrijā. No nanokristāliskās celulozes var iegūt šādu veidu polimērus vai to izmantot kā pildījumu šādiem polimēriem: PLA, PHA, PHO, EVA, PDDA, PAH, PMMA, PAA, PEO, PP, PVC, PVOH, PU, PCL un citus.

Produktu var iegūt no kokapstrādes pārpalikumiem, rūpniecības pārpalikumiem un citiem blakusproduktiem. Galvenais nosacījums ir, ka pārpalikumiem ir jāsaturs celuloze. Šis produkts satur atjaunojamus resursus – celulozes pārpalikumus un blakusproduktus, pārvēršot tos augstas pievienotās vērtības produktā, kas ir lietojams vairākās tautsaimniecības nozarēs. Nanokristāliskā celuloze, no tās izgatavoti produkti un to izgatavošanas tehnoloģijas ir patentētas vairākās valstīs visā pasaulē un šis produkts tiek ražots komerciālos apjomos [172] [173, 174].

Nanokristāliskās celulozes ražošanai ir nepieciešama celuloze un skābes vai jonu šķidrums (*ionic liquids*). Sākumā notiek koksnes pirmapstrāde, kuras laikā atdala celulozes šķiedras. Šī procesa laikā izmanto mehāniskās (šķeldošana) un ķīmiskās pirmapstrādes (balināšanas ar oksidētājiem vai tvaika sprādziena) metodes. Nākamajā solī notiek hidrolīze, lai atdalītu amorfos celulozes reģionus. Tipiski procedūra sastāv no šādiem soļiem: (1) stipras skābes no tīras celulozes materiāla hidrolīze stingri kontrolētos temperatūras, kontaktlaika, sajaukšanās apstākļos un arī kontrolējot citus nosacījumus, piemēram, skābes uzvedību un koncentrāciju, kā arī skābes un celulozes attiecību; (2) atšķaidīšana ar ūdeni, lai apturētu reakciju, un atkārtotu mazgāšanu ar tai sekojošu centrifugēšanu; (3) spēcīga dialīze, lai pilnībā noņemtu brīvās skābes molekulas; (4) mehāniskā apstrāde, parasti apstrāde ar ultraskaņu, lai disperģētu nanokristālus un veidotu vienotu stabilu šķidrumu; (5) visbeidzot nanokristālu koncentrēšana un žāvēšana, lai iegūtu suspensiju vai cietu nanokristālisko celulozi. Ja turpmākajā gaitā iegūto nanokristālisko celulozi izmanto polimēru izgatavošanā, tad tehnoloģiskā shēma tiek papildināta ar klasiskajām polimērmateriālu iegūšanas

tehnoloģijām. Visizplatītās ražošanas metodes ir ekstrūzija un spiedliešana. Tiek lietotas arī piedevas, piemēram, krāsvielas, sakabes aģenti, UV stabilizatori, putu aģenti, putošana aģenti un smērvielas, lai pielāgotu gala produkta īpašības. Izmantojot ekstrūzijas metodi, tiek iegūti gan pildīti, gan dobi lignīna polimēru profili. Spiedliešanas veidnes izmanto, lai izveidotu sarežģītākas formas produktus, kas nepieciešami sākot ar automobiļu durvju paneļiem beidzot ar mobilo telefonu vāciņiem [173, 174].

Skābju šķīdumu izmantošana atstāj negatīvu ietekmi uz apkārtējo vidi. Zinātniskajā literatūrā atrodama informācija, ka skābju šķīdumu vietā var izmantot jonu šķīdumu - tādā veidā neradot negatīvu ietekmi uz vidi, jo jonu šķīdumi bioloģiski noārdās un darbojas noslēgtā ciklā. Nanokristāliskā celuloze ir bioloģiski noārdāma.

#### **4.5.6. Ksilāna atvasinājumi**

Ksilāns ir ksilāna tipa polisaharīdu maisījums. Tā ir ksilozes ražošanas izejviela, no kuras tālāk var iegūt ksilitolu (sadzīvē sauktu arī par ksilītu). Pēdējo lieto farmācijā un pārtikas ražošanā. Tā ir alternatīva saldsvieta (cukura aizstājējs) diabēta slimniekiem. Ksilānus saturošus biopolimērus un biokompozītus izmanto visdažādāko materiālu un izstrādājumu pārklājumiem to virsmas aizsargāšanai no korozijas u. c. Ksilānu pārklājumiem ir lubrikantu, pretpiedeguma u. c. īpašības. No ksilāniem ražota biosadalāma plēve der pārtikas iesaiņošanai. Tātad ksilāniem ir visplašākā mērķauditorija: sabiedrība (veselības aizsardzība, sadzīve), mašīnbūve un metālapstrāde (pretkorozija, sausais lubrikants, krāsošana, virsmas aktīvas īpašības) u. c. tautsaimniecības nozares [175, 176, 177].

Ksilāna un ksilitola, kā arī plaša spektra izstrādājumu ražošana un pārdošana ir komercializēta. Ksilāns un to saturoši produkti tiek ražoti daudzās valstīs, tajā skaitā Kanādā, Ķīnā u.c. lielvalstīs. Komercializācijas pakāpi raksturo šādi apjomi: augoša farmaceitiskās industrijas pieprasījuma rezultātā ksilitola globālā tirgus apjoms 2015. gadā pārsniedza 955 miljardus USD. Ksilitola tirgus apjoms bija 175 kilotonnas un 2024. gadā ir sagaidāms līdz 6 % pieaugums [178]. Citi Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūta dati: ksilitola ražošanas apjoms pasaulē ir 56,000 t/gadā, un ik gadu pieaug par 3–4 % [179]. Latvijā ksilitolu neražo un neimportē.

Ražošanā izmanto dažādas tehnoloģijas un izejvielu klāsts ir ļoti daudzveidīgs. Pamatresursi ir dažādu sugu (vēlams lapu koku) koksne, vai mežizstrādes un/vai kokapstrādes atlikumi, elektroenerģija un siltumenerģija, ūdens, ķimikālijas (sārmi, skābes, piemēroti katalizatori). Ksilānu ieguvei piemēroti ir visi Latvijā augošie lapu koki un to ieguves/apstrādes procesu atlikumi.

Hemicelulozes sastāvā esošo ksilānu izdalīšana no biomateriāliem sākās ap 20. gs. trīsdesmitajiem gadiem. Konvencionālās metodes pamatā ir ksilānu hidrolizēšana un izdalīšana no koksnes matricas. Tā prasa ilgstošu biomasas karsēšanu hidrolizējošā vidē augstā temperatūrā un/vai spiedienā. Tas izsauc ksilāna molekulu daļēju degradēšanos, kas pazemina produkta kā biopolimēra lietojuma iespējas, tādēļ tiek izstrādātas un patentētas modernākas metodes.

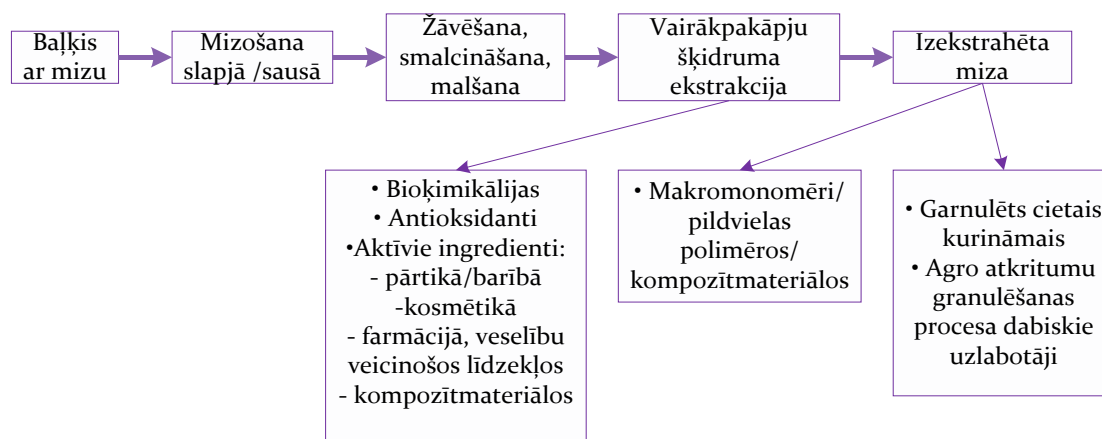
Alternatīva konvencionālai laikietilpīgai tehnoloģijai ir mikroviļņu izmantošana sārmainās ekstrakcijas laikā. Šāda energoefektīva mikroviļņu izraisīta biomasas karsēšana optimālos

ekstrakcijas apstākļos (8 sv % NaOH šķīdums, 1:8 (g:ml) biomasa pret šķīdumu) 25 minūtēs ļauj ekstrahēt 75 % no biomasā esošā ksilāna [180].

Ksilāns un ksiloze nav uzskatāmi par jaunu inovāciju, bet, ņemot vērā lielo pieprasījumu pēc šī produkta, kā inovācija tiek piedāvāta jauna ksilozes iegūšanas tehnoloģija. Jaunu ksilozes iegūšanas tehnoloģiju no bērza koksnes izstrādājis arī Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts. Ar šīs tehnoloģijas palīdzību 5 reizes tiek samazināts patērētais ūdens daudzums, tādējādi radot mazāku slodzi uz vidi un padarot ražošanas procesu ekonomiskāku. Paņēmiens ksilozes iegūšanai no biomasā esošā ksilāna (> 10 %), hidrolizējot to katalizatora klātbūtnē līdz ksilozei un tad izdalot mērķproduktu. Biomasu, kas satur ksilānu, samaisa ar sērskābes 10–20 % šķīdumu (< 30 % no sausas biomasas svara). Maisījumu apstrādā ar ūdens tvaiku 120–140 °C temperatūrā un ekstrahē ksilozi [179, 181].

#### 4.5.7. Latvijā augošu lapkoku mizas biorafinēšana – kompleksas izmantošanas tehnoloģiskā shēma

Kompleksa lapkoku mizas racionālas izmantošanas shēma, papildus enerģijas ieguvei, izstrādāta ekstraktvielu ieguve un izekstrahētās mizas alternatīvas izmantošanas iespējas parādītas 4.7. attēlā. Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūtā izstrādāts tehnoloģiskais klasteris lapkoku mizas pārvēršanai bez atlikumiem par produktiem ar augstu pievienotos vērtību, izstrādātā shēma vēl joprojām tiek papildināta un uzlabota, bet jau ir pieejami arī produkti tirgū: kosmētiskais krēms un uztura bagātinātājs. Pašlaik ir izstrādāti mizas produktu ieguves, pētījumu un raksturojuma parametri. Izstrādātajos procesos ir integrēta ilgtspējīga attīstība, atbilstoši cirkulārai ekonomikai stratēģijai. Racionāla izejvielu izmantošana atbilstoši to vērtībai ir ilgtspējīgas attīstības stratēģijas pamatā, sistemātiska efektīvu procesu un produktu izstrāde ir galaprodukta komercializācijas atslēga. Arvien pieaug interese un patēriņš dabīgas izcelsmes produktiem. Aktuāli ir aizstāt dabai nedraudzīgos un sintētiski iegūtos aktīvos savienojumus, kuru terapeitiskai iedarbībai arvien biežāk tiek konstatētas nevēlamas blaknes un kuru nokļūšana dabā rada piesārņojumu [98].



4.7 attēls. Latvijā augošu lapkoku mizas biorafinēšana – kompleksas izmantošanas tehnoloģiskā shēma [98].

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūtā šī tehnoloģiskā shēma izstrādāta valsts pētījumu programmas „Meža un zemes dzīļu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas” (ResProd) projekta Nr.3 „Biomateriāli un bioprodukti no meža resursiem ar daudzpusīgu pielietojumu” un valsts pētījumu programmas Nr. 2010.10-4/VPP-5 “Vietējo

resursu (zemes dzīļu, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana - jauni produkti un tehnoloģijas (NatRes)” ietvaros.

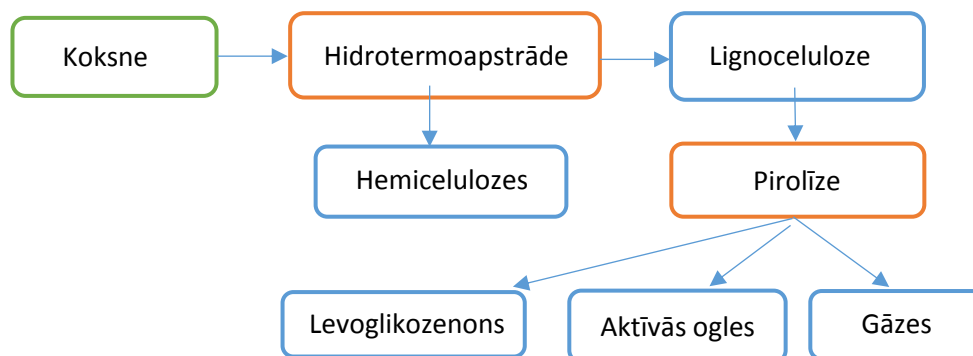
Šīs shēmas ietvaros Latvijas Republikas Patentu valdē ir apstiprināti Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūta izstrādāti 9 patenta pieteikumi:

- LV 14615B, Līdzeklis karbonila olbaltumvielu līmeņa pazemināšanai asins plazmā;
- LV14569B, Līdzeklis bifidobaktēriju un laktobaktēriju satura paaugstināšanai tievās zarnas gļotādā un pretinfekcijas aizsardzības imuno mehānismu stimulēšanai;
- LV14499B, Līdzeklis malondialdehīda (MDA) koncentrācijas pazemināšanai asins plazmā;
- LV 14394, Līdzeklis glikozes koncentrācijas pazemināšanai asins plazmā;
- LV 14361, Līdzeklis fagocitārās aktivitātes paaugstināšanai;
- LV14193, Pankreātāzes aktivitātes asinīs inhibējošs līdzeklis;
- LV14012, Eritrocītu hemoglobīna līmeni paaugstinošs līdzeklis;
- LV14030, Triglicerīdu koncentrāciju asins plazmā pazeminošs līdzeklis;
- LV14172, Preparāts, kas paaugstina glutatona līmeni asinīs.

#### 4.5.8. Levoglukozenons

Levoglukozenons jeb 1.6-anhidro-3.4-dideoksi-β-D-piranozīn-2-ons (LGO), ko iegūst, pirolizējot celulozi, izmantojot skābes kā katalizatorus, pievērš savu uzmanību ar unikālo uzbūvi un kā dabas vielu stereospecifisku savienojumu sintēzes izejviela, jo tajā var ievadīt hirālus centrus [182, 183]. Tāpat LGO iespējams izmantot aprotiskā šķīdinātāja cirēna (kas tiek uzskatīts par dimetilformamīda un citu videi un cilvēkam kaitīgu šķīdinātāju zaļo aizstājēju) un citu zaļās ķīmijas savienojumu sintēzē. LGO sākts pētīt septiņdesmitajos gados, bet joprojām nav rūpnieciskas ražošanas, kas saistīts ar sintēzes un attīrīšanas grūtībām, jo tradicionālo metožu rezultātā iznākums ir 5–8 %. LGO cena pašlaik ir 50 USD/g un vairāk, jo to iegūst daudzstadiju sintēzē, piemēram no D-galaktozes<sup>3</sup>, taču industrijai nepieciešamā cena ir 5 USD/kg. Pašlaik *Circa group* (Austrālija) attīsta ražošanu pēc savas patentētas tehnoloģijas, lai no celulozes iegūtu LGO, lai to izmantotu cirēna sintēzē, aizstājot N-metil-2-pirolidonu un dimetilformamīdu, kā arī smaržvielu sintēzē [184, 185, 186].

Procesā notiek celulozes priekšapstrāde 150–200 °C temperatūrā, izmantojot sulfolānu kā vidi un fosforskābi kā katalizatoru, mazgāšana ar ūdeni un pirolīze 300–450 °C temperatūrā vakuumā šneka reaktorā. LGO iznākums no celulozes ir 10–40 %, kā arī veidojas ūdens, furfurols, levulīnskābe, 5-HMF, etiķskābe un skudrskābe. Tomēr procesam ir savi trūkumi, kas saistīti ar tīras celulozes izmantošanu, lai iegūtu augstu iznākumu, vakuuma nodrošināšanu, notekūdeņiem, kā arī sarežģīto destilācijas sistēmu, kā rezultātā nav notikusi būtiska LGO cenas samazināšanās. Otrs virziens ir cietfāzes katalizatoru vai jonu šķīdumu izmantošana, kurā ir ievērojami mazāks notekūdeņu daudzums, bet arī mazāki iznākumi [187, 188]. LGO pašlaik tiek piedāvāts kā tīra ķīmikālija. Daudzumiem, kas pārsniedz 5–10 gramus jāsūta speciāls pieprasījums. LGO ražošana dotu iespēju attīstīt maztonnāžas ķīmiskā produkta ražošanu ar iespējām attīstīt tālāk nākotnē tā pārstrādi jaunajos produktos. Paraleli ražošanas procesā rodas ogles, kuras iespējams izmantot kā aktīvās ogles (4.8. attēls).



4.8. attēls. Levoglikozēnona ražošanas shēma [98].

LVKĶI LGO pētījumi (1996.–2005. gadā) tika veikti kopā ar Hamburgas BFH pētniekiem, kas rezultātā tapa bieži citētas publikācijas [369, 370, 371, 372]. Tika sasniegta LGO koncentrācija pirolīzes eļļā 50 % un tika konstatēts, ka vienlaikus rodas arī levoglukoziāns, kuru, kā arī citus cukurus, iespējams pārvērst LGO [373].

Produkta 1 vienības saražošanai nepieciešamas divas izejvielas: koksnes baltā šķelda 50 t (50 eiro/t) un 0,35 t fosforskābes (800 eiro/t) [98].

Pētījums izstrādāts valsts pētījumu programmas (2006.–2008. gadā) ietvaros. 2009. gadā par šo tēmu izstrādāts promocijas darbs “Ātrās pirolīzes izmantošana koksnes kompleksai (bezatkritumu) pārstrādei” (autore: I. Urbanoviča). Finansējuma trūkuma dēļ nav notikusi tehnoloģijas tālāka attīstība un izgudrojums nav patentēts. Šobrīd tirgū nav pieejami līdzīgi produkti.

#### 4.5.9. Lignīna polimēri

Lignīna polimēri tiek izgatavoti, izmantojot lignīnu no ražošanas pārpalikumiem un termoplastiku. Piedevas tiek lietotas, lai nodrošinātu polimēra un lignīna sasaisti. Lignīna polimēru visizplatītākā izmantošana ir iepakojumā pārtikas un arī nepārtikas rūpniecībā un dažādu polimēru sastāvā, kurus izmanto būvniecībā. Produkts tiek izmantots, lai pārstrādātu papīra rūpniecības un biomasas metanola rūpnīcu pārpalikumus un blakusproduktus kvalitatīvā produktā. Ir iespējams izmantot arī citus lignīna avotus. Lignīna daudzums lignīna polimēros pašlaik var sasniegt 50 %. Atlikušie 50 % ir izejvielas, kas nepieciešamas, lai iegūtu polimērus no fosilajiem resursiem. Tos var iegūt no reciklētiem plastmasas atkritumiem. Šis produkts satur atjaunojamus resursus – lignīna pārpalikumus un blakusproduktus, tādējādi aizstājot fosilos resursus, no kā pašlaik tiek iegūta lielākā polimēru daļa. Salīdzinājumā ar polimēriem, kas iegūti no fosilajiem resursiem, lignīnu saturošajiem polimēriem ir mazāks molekulārais svars. Gatavo produkciju var izmantot pārtikas rūpniecībā kā iepakojuma materiālu, kā arī būvniecībā, galvenokārt poliuretānu izgatavošanā. Pieprasījums pēc polimēra materiāliem aug, tai skaitā aug arī pieprasījums pēc bioloģiski noārdāmiem polimēriem [189]. Galaprodukcijas cena ir aptuveni tāda pati, kā ražojot produktus no fosilajiem materiāliem, jo tiek izmantota tā pati ražošanas tehnoloģija. Vienīgā atšķirība ir tajā, ka fosilos resursus aizstāj ar lignīnu [190, 191, 192].

Polimērmateriālu un piedevu izmantošana atstāj negatīvu ietekmi uz vidi. Pašlaik zinātniskajā literatūrā atrodams, ka lignīna daudzumu gala produktā ir iespējams palielināt līdz pat 100 %,

taču komerciāli pieejamos produktos maksimālais lignīna daudzums ir 50 %. Izmantojot reciklētos polimērus, ir iespējams samazināt produkta radīto ietekmi uz vidi.

Lignīna polimēri tiek ražoti, rūpīgi sajaucot sasmalcinātas lignīna daļiņas un uzsildītus termoplastiskas sveķus. Izmantojot lignīnu, kompozīti tiek ražoti daudz zemākā temperatūrā nekā tradicionālās plastmasas ekstrūzijas un spiedliešanas līnijās. Lignīna polimērus apstrādā apmēram 60–70 °C augstā temperatūrā. Visbiežākās izplatītās ražošanas metodes ir ekstrūzija un spiedliešana. Lignīna polimērus var iegūt gan no pirmlietojuma, gan no pārstrādātiem polimēriem. Tiek lietotas arī piedevas, piemēram, krāsvielas, sakabes aģenti, UV stabilizatori, putu aģenti, putošana aģenti un smērvielas, lai pielāgotu galaprodukta īpašības. Izmantojot ekstrūzijas metodi, tiek iegūti gan pildīti, gan dobi lignīna polimēru profili. Spiedliešanas veidnes izmanto, lai izveidotu sarežģītākas formas produktus, kas nepieciešami, sākot ar automobiļu durvju paneliem beidzot ar mobilo telefonu vāciņiem [191, 190, 192].

#### 4.5.10. Mikrokristāliska celuloze

Mikrokristāliskā celuloze (MKC) ir koksnes izcelsmes produkts ar augstu pievienoto vērtību un plašām lietojuma iespējām pārtikas rūpniecībā, farmācijā, kosmētikas industrijā un citur. To iegūst no celulozi saturošas biomasas. MKC iegūšanai var lietot jebkuru koksni, tāpēc var izmantot jebkurus kokrūpniecības atlikumus. Ražojot produktu Latvijā, var izmantot kokrūpniecības atlikumus, kuru pārvēršana resursos sekmētu atbildīgu un maksimāli efektīvu koksnes izmantošanu. Pieprasījums pēc MKC pasaulē pieaug [193]. Tas ir visapjomīgāk lietotais dabīgas izcelsmes biezinātājs un stabilizētājs pārtikas ražošanā [194], tablešu pamatsastāvdaļa farmācijā [195], piedeva kosmētikas izstrādājumiem, kā arī izejviela citiem produktiem [196]. Mikrokristāliska celuloze ir vērtīga pārtikas sastāvdaļa, ar kuru var ievērojami samazināt kaloriju uzņemšanu, nezaudējot pārtikas labās īpašības [98].

Latvijas uzņēmumi šobrīd visu nepieciešamo MKC iepērk ārvalstīs, bet, izstrādājot un attīstot MKC lielapjoma ražošanas tehnoloģiju, gan vietējiem uzņēmējiem tiktu radīta iespēja importētās izejvielas vietā iegādāties vietējās izcelsmes produktu, gan saražoto MKC eksportēt. Produkta komercializācija vēl nav nonākusi līdz posmam, kad ir zināma tā lielapjoma ražošanas pašizmaksa. Tā kā lielu daļu no tās veido tehnoloģiskajam procesam nepieciešamā enerģija, izmaksas lielā mērā noteiks tā brīža enerģijas cena. Latvijas mērogā klientu iespējams ieinteresēt, piedāvājot lokālas izcelsmes MKC no vietējiem koksnes resursiem, tādā veidā stimulējot viņa līdzatbildību par tautsaimniecības izaugsmi [98].

MKC ražošanai var lietot jebkuru celulozi saturošu biomasu. No koksnes atlikumiem iegūst celulozi, to termokatalītiski oksidē, tad mehāniskās apstrādes ceļā iegūst MKC. MKC tirgus cena svārstās atkarībā no produkta kvalitātes (piem., tīrības pakāpes) un atbilstības standartiem [98].

Šis produkts uzskatāms par videi, klimatam un cilvēka veselībai nekaitīgu, jo tiek izmantots atjaunojams dabas resurss, tā ražošanas tehnoloģija paredz atšķaidītas skābes lietošanu, bet iespējama tās izmantošana noslēgtā ciklā un bez kaitīgiem izmešiem, un šis produkts var būt kā alternatīva sintētiskiem šāda veida produktiem [98].

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūtā ir izstrādāts mikrokristāliskas celulozes iegūšanas paņēmieni, kas 1996. gadā tika patentēti (patents Nr.11184), bet šobrīd šis patents netiek

uzturēts finansējuma trūkuma dēļ. Trūka finansējums arī produkta reālā lietojuma eksperimentālajām izstrādņēm, kā rezultātā potenciālie lietotāji nevēlējās iegādāties neaprobētu izejvielu [98].

#### 4.5.11. Mikro (nano) fibrilēta celuloze, NFC; NFC

Materiāli no nanofibrilētās celulozes (NFC) ir alternatīva naftas bāzes materiāliem galvenokārt (bet ne tikai) vides apsvērumu dēļ. NFC var lietot kā izejvielu dažādiem materiāliem ar plašu īpašību klāstu. Vieglas putas, kurām raksturīga līdz pat 99,5 % porainība, un šūnu struktūru iegūst, liofilizējot (īpaša žāvēšanas metode, angļu val. *freeze-drying*) NFC ūdens suspensiju. NFC aerogelu ar 3D tīkla struktūru un lielu īpatnējo virsmas laukumu var iegūt ar īpašu (*supercritical*) žāvēšanu vai t-butanola sasaldēšanas žāvēšanu. Blīvas caurspīdīgas plēves, kas izgatavotas no NFC, sauktas arī par nanopapīru, var iegūt ar papīra ražošanas tehnoloģijām, iesaistot filtrāciju un žāvēšanu. Atsevišķu šķiedru augstās mehāniskās īpašības un to mijiedarbība nodrošina NFC materiālus ar augstu izturību. NFC plēves un putas var būt arī labs aizstājējs pašreizējiem iepakojuma materiāliem no sintētiskiem polimēriem, tām piemīt labas barjerīpašības un triecienabsorbējošas, savukārt aerogelu var izmantot nozarēs, kur nepieciešams augsts virsmas laukums, piemēram, uzglabāšanā, katalīzē un filtrēšanā. Orientējot NFC šķiedras materiālā, iespējams mainīt produktu īpašības. Turklāt NFC var izmantot arī biokompozītu izstrādē, kas vēl vairāk paplašina šobrīd pieejamo celulozes materiālu īpašību klāstu.

Pasaules interese par nanocelulozes materiāliem pieaug, pateicoties to unikālajām īpašībām un potenciālajiem lietojuma veidiem. To, no vienas puses, pierāda milzīgais zinātnisko publikāciju skaita pieaugums pēdējo desmit gadu laikā, un, no otras puses, vairāku uzņēmumu un pētniecisko institūtu interese nanocelulozes ražošanā Ziemeļamerikā, Eiropā un Āzijā. Tiek prognozēts, ka globālais tirgus nanocelulozes tehnoloģijās sasniegs 403 000 000 ASV dolāru apmēru līdz 2020. gadam [197]. To veicina pieaugošais lietojumu skaits un pieprasījums pēc videi draudzīgām alternatīvām naftas sintētisko polimēru un ķīmikāliju ražošanā. NFC ražošanai var lietot jebkuru celulozi saturošu biomasu Latvijā visizdevīgāk lietot kokrūpniecības atlikumus, tādējādi atlikumus pārvēršot resursos [98].

Ņemot vērā tās unikālās īpašības, NFC ir potenciāls, lai atrastu lietojumu daudzos galapatēriņa sektoros, sākot no kompozītmateriāliem un beidzot ar papīra un kartona, elektronikas un naftas rūpniecību. Tās īpašības, piemēram, vieglums, ārkārtīgi augstā izturība un stingrība ir galvenie faktori nanocelulozes komerciālo iespēju attīstībā. Tā kā nanoceluloze tiek uzskatīta par ideālu alternatīvu esošajiem materiāliem, noris ļoti daudz pētījumu, kā efektīvāk komercializēt šo biomateriālu. Kaut arī gandrīz visa pieejamā nanoceluloze tiek izmantota pētniecībā, lai izstrādātu jaunus produktus, tirgū pastāv daži komercializēti nanocelulozes produkti, tostarp cementa piedevas un farmaceitiskās pildvielas. Pētniecības darbs notiek arī, lai attīstītu uz nanocelulozi balstītus polimērus, ko varētu izmantot kosmiskajā aviācijā un autorūpniecībā. Šis produkts vēl nav komercializēts un pieejams tirgū [98].

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūtā veikti pētījumi par alternatīvām nanocelulozes ieguves metodēm [198].



#### 4.5.12. Nanocelulozes plēve

Nanocelulozes plēvi var izmantot ēdiena kvalitatīvai iepakojšanai videi draudzīgā materiālā, kas nodrošina svaiguma saglabāšanu pārtikai un garantē, ka no iepakojuma pārtikā nenonāks nekādi kaitīgi savienojumi. Pagaidām tas ir nišas produkts, jo kalpo kā bioloģisks iepakojums, kas attīstījies pēdējos gados. Nanocelulozes plēvi var izmantot arī kā pārklājumu kartona un papīra iepakojumiem, palielinot to stiprību un termisko izturību [199].

Ražošanas process ir dārgs un laikietilpīgs. Šobrīd ar nanocelulozes ražošanu nodarbojas 26 uzņēmumi pasaulē, tomēr tie lielākoties ir laboratorijas tipa pētnieciskie uzņēmumi. Un saražotā nanoceluloze tiek pārdota uzņēmumiem, kas plāno to testēt. Nanocelulozes ieguvei var izmantot ķīmisko un mehānisko metodi. Mehāniskā metode nodrošina 100 % koksnes izmantošanu, bet tiek patērēts lielāks enerģijas daudzums. Ķīmiskajā metodē tiek zaudēta puse no izmantotā resursa apjoma. Uzņēmumos galvenokārt izmanto ķīmisko metodi. Nanocelulozes cena ir atkarīga no metodes. Cenas svārstās no 0,89 eiro/g līdz 1,21 eiro/g. Nanocelulozes cena ir vēl augstāka, jo pēc tās izveidošanas ir jāveic vēl papildu apstrāde. Kā izejmateriālu nanocelulozes ražošanai var izmantot arī kokapstrādes un mežizstrādes atlikumus. Biomasa 2 stundas tiek mērcēta karstā ūdenī, tad mazgāta un diennakti žāvēta 105 °C karsta gaisa krāsnī. Sausa biomasa tiek samalta daļiņās ar izmēru līdz 2mm un izsijāta. Iegūtais pulveris 4 h tiek mērcēts 90 °C ūdenī, lai atdalītu sveķus un citus piejaukumus. Apstrādātais pulveris tiek žāvēts 6 h 105 °C, lai iegūtu nemainīgu masu. Nanocelulozes izgatavošanai sagatavotā biomasa tiek 2 h hidrolizēta 80 °C temperatūrā ar 0,05N HCl, esot nemainīgam mitruma saturam 10 %. Pēc tam viela tiek dzesēta līdz istabas temperatūrai un tās pH līmenis tiek noregulēts uz 9,0, ar amonija hidroksīda šķīduma palīdzību. Tad iegūtā viela tiek skalota ar destilētu ūdeni, līdz tas sasniedz neitrālu pH līmeni. Attīrītā biomasa masa tiek mērcēta dažādu koncentrāciju NaOH (2–6 %) un tad 4 h karsēta 70 °C, lai atdalītu hemicelulozi un lignīnu. Pēc minēto vielu atdalīšanas sārmu un biomasas maisījums tiek filtrēts. Iegūtais materiāls tiek mazgāts ar 0,01 N HCl un pēc tam skalots ar karstu destilētu ūdeni, līdz tiek sasniegts neitrāls pH līmenis.

Delignifikācija ir jāveic tīras nanocelulozes iegūšanai. Tam tiek izmantots dažādu koncentrāciju paskābināts nātrija hlorīda šķīdums. Tad masa tiek 2 h karsēta ūdens vannā 70 °C. Tad paraugs tiek filtrēts un tam tiek pievienots jauns paskābinātā nātrija hlorīda šķīdums. Šis process tiek atkārtots trīs reizes un kopumā ilgst aptuveni 6 h. Pēc tam cietais materiāls tiek filtrēts un mazgāts ar destilētu ūdeni, līdz pH 7,0 ( $\pm$  0,5). Materiāls tiek saglabāts mitrā stāvoklī, lai novērstu šķiedru mezglu veidošanos. Apstrādes laikā šķiedru krāsa mainās no brūnas uz tumši brūnu uz baltu. Baltā šķiedru krāsa norāda uz veiksmīgu celulozes iegūšanu un lieko vielu atdalīšanu. Mitrā masa tiek mehāniski apstrādāta, lai atdalītu nanošķiedras. Celulozes suspensijas filtrēšana ar membrānām tiek veikta, lai atdalītu no tām visu lieko mitrumu. No membrānām tiek noņemtas nanocelulozes plēves, kas 15 min. tiek presētas normālos apstākļos. Pēc tam tās diennakti tiek žāvētas istabas temperatūrā un beigās 12 h karsētas krāsnī 40 °C. Rezultātā tiek iegūta nanocelulozes plēve [200, 201].



#### 4.5.13. Nanoporains oglekļa materiāls uz biomasas bāzes superkondensatora elektrodiem

Pašlaik pasaulē aktīvo ogļu tirgū ir apmēram 200 dažādu aktīvo ogļu (AO) veidu, bet aktīvās ogles, kas ir paredzētas superkondensatoru (SK) elektrodiem, ir jauns un specifisks aktīvo ogļu tips, kas atrodas attīstības stadijā. Šī virziena aktualitāti nosaka ar NOM augsto potenciālu, praktiski izmantojot nanoelektronikā, katalīzē, jaunu kompozīcijas materiālu radīšanā, gāzu un bioloģisko sensoru, sorbentu un vairāku citu materiālu veidošanā. Radot kompozītus ar NOM piedevām, ir iespēja uzlabot zināmu materiālu funkcionālās īpašības. Zinātniskajā literatūrā līdz šim nav teorētiska pamatojuma AO struktūras un īpašību sakarībai ar SK energoietilpību un jaudu. AO mikroporainā struktūra, īpaši īpatnējā virsma, poru tilpums un īpatnējā elektriskā ietilpība ir atkarīgi no materiāla sintēzes apstākļiem un izejvielas veida. LVKĶI ir izstrādāta metode, kuras rezultātā iespējams iegūt AO, kuru īpatnējā kapacitāte un energoietilpība SK ar organisko un neorganisko elektrolītu ir par 25 % lielāka nekā pašlaik pieejamajiem labākajiem ārzemju uzņēmumu paraugiem, pastāvot līdzīgiem pārējiem parametriem (pretestība, lietderības koeficients utt.). SK pasaulē ražo 80 uzņēmumi, no tiem tikai 6 atrodas Eiropā, kas norāda uz tirgus attīstības iespējām. [98, 202, 374].

Šis produkts izstrādāts vairāku projektu ietvaros:

- ERAF 2014/0045/2DP/2.1.1.0/14/APIA/VIAA/050 „Nanostrukturētas aktīvās ogles” 2014.–2015;
- Latvijas Valsts pētījumu programma Nr.2.2.4. „Vietējo resursu (zemes, dzīvļu, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana un tehnoloģijas” sadaļa „Nanoporainie oglekļa sorbenti uz koksnes bāzes” 2010–2013;
- Latvijas Valsts sadarbības programma „Kontrolējamas porainības kompozītmateriālu sintēze un pētījumi plāno slāņu un to sistēmu iegūšanai enerģijas uzkrāšanas un pārveidošanas pielietojumiem”, apakšprojekts „Oglekļa materiālu ar kontrolētu porainību sintēze un izpēte”, 2014–2017;
- Latvijas Valsts pētījumu programma, „Meža un zemes dzīvļu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas” sadaļa „Multifunkcionālie oglekļa materiāli”, 2014–2017.

Veikto pētījumu rezultātā izstrādātais produkts ir patentēts (Nr. LV14683B, Oglekļa sorbenta iegūšanas paņēmieni, autori: G. Dobeļe, G. Teliševa, T. Dižbite, A. Volperts, D. Vervikiško, J. Škoļņikovs). Oglekļa sorbentu iegūst, karbonizējot lignocelulozes materiālu, pēc tam aktivējot ar sārmu un mazgājot ar ūdeni, sālskābes šķīdumu un ūdeni 50 °C temperatūrā līdz neitrālam pH un iegūto produktu žāvējot. Iegūto atdzesēto karbonizātu pirms aktivēšanas aplej ar 50 % sārma šķīdumu attiecībā 1:2 līdz 1:4, rēķinot uz sausu vielu, iztur 30 līdz 40 minūtes istabas temperatūrā, pēc tam maisījumu ievieto aktivēšanas reaktorā, kas uzkarsēts līdz 700–800 °C. Maisījumu iztur šajā temperatūrā 60 līdz 90 minūtes. Lignocelulozes materiāla karbonizēšanu veic pirolīzē izveidojušos gāzu atmosfērā, kur uzkarsēšanas ātrums ir 4–6 °C/min. līdz sasniedz 300–600 °C, beigu temperatūrā izturot 60–120 min. Par lignocelulozes materiālu izmanto koksnes skaidu frakciju ar izmēru no 5 līdz 20 mm [203].

#### 4.5.14. Suberīns – funkcionāla piedeva poliuretāna izstrādājumu ražošanai

Mežizstrādes atlikumos – koku mizās, it īpaši bērza mizā, kā arī celulozes ražošanas atlikumos – ir suberīns. Suberīni ļauj iegūt citus specifiskus ķīmiskos produktus, tajā skaitā arī bioaktīvas vielas. Tie ir augu aizsardzības līdzekļi un antibiotiski savienojumi, kam galvenās izmantošanas jomas ir medicīna/farmācija, veterinārija, augu aizsardzība, kosmētika. No suberīna pēc depolimerizēšanas iegūtie monomēri var kalpot kā funkcionālas piedevas (plastifikatori) poliuretāna un citu polimēru ražošanā. Suberīna taukskābju hidroksi- un epoksi- atvasinājumi ir potenciāli prekursori daudzu citu vērtīgu produktu ražošanai. Šobrīd pārsvarā kā plastifikatorus lieto difenilftalātu, salicilskābi,  $\beta$ -naftolu, trifenilfosfātu, dioktilftalātu, dibutilftalātu u. c., kas iegūti no fosilajiem resursiem. Suberīns no bioresursiem ir funkcionāla piedeva, kas darbojas kā plastifikators un papildus satur poliuretānā iestrādājamus dabiskas izcelsmes polimērmolekulu fragmentus [204].

Suberīna ražošanai nepieciešamas bērza mizas, holinija heksanoāts, ūdens un elektroenerģija. Holinija heksanoāta toksicitāte ir pārbaudīta, un tas atzīts kā praktiski nekaitīgs „zaļām” tehnoloģijām izmantojams šķīdinātājs [205]. Tas ir jonu šķidrums, kas bioloģiski noardās. Šķīdinātāju holinija heksanoātu sintezē, pievienojot heksanoīnskābi holinija hidrogenkarbonāta ūdens šķīdumam. Suberīna ražošanas tehnoloģijas ir vairākas. Tās izvēlas atkarībā no tā, cik pilnīgu depolarizēšanos vēlas sasniegt. Poliuretāna ražošanai optimāla, videi visdraudzīgākā suberīna iegūšanas tehnoloģija ir šāda: sasmalcinātu bērza mizu pulveri sajauc ar holinija heksanoātu (1:9) un maisot iztur 4 stundas 100 °C temperatūrā, notiek ekstrakcija, neizšķīdušo masu filtrē, mazgā ūdens pārpalikumā, filtrātu iztur 1 stundu 4 °C temperatūrā. Izkritušās suberīna nogulsnes centrifugē, mazgā ar ūdeni un žāvē [206]. Mizas atlikumus pēc ekstrakcijas var izmantot citu vērtīgu ķīmisko savienojumu izdalīšanai vai izmantot kā kurināmo, vai augsnes ielabošanai.

Par inovāciju šī produkta ražošanas jomā uzskatāma jauna tā ražošanas tehnoloģija, kas ir videi draudzīga, jo suberīna izdalīšanai tiek izmantota depolimerizēšanas metode, ekstrakcijai tiek izmantots bioloģiski noārdāms jonu šķidrums holinija heksanoāts [207, 205, 208]. Šī metodika izstrādāta eksperimentāli, izmantojot laboratorijas aprīkojumu.

Suberīns kā tīra viela nav komercializēts produkts. Suberīns varētu nonākt plašākā tirgū kā poliuretāna piedeva. Poliuretāna tirgus ir liels, piem., Ķīnā pieprasījums pēdējā dekadē ir strauji pieaudzis, un nākotnē prognozē vēl straujāku poliuretāna ražošanas un pieprasījuma izaugsmi [209].

#### 4.5.15. Suberīns kā saistviela ekoloģiskos šķiedru biokompozītos

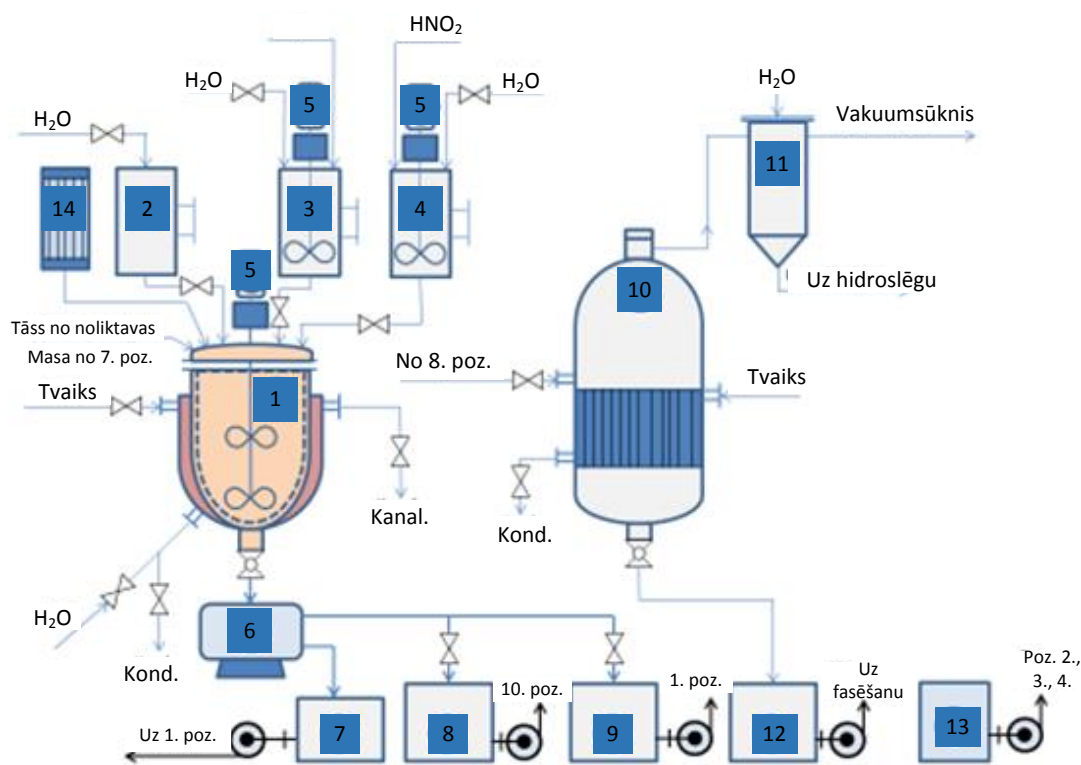
Vispārzināmais paņēmieni skaidu plātņu izgatavošanā ir skaidām kā pildvielai izmantot sintētiskās termoreaktīvās saistvielas: fenola – formaldehīda, karbamīda – formaldehīda un uz izocianātu pamata sintezētus sveķus [210, 211]. Šie kompozītmateriāli ir cilvēkam toksiski gan to izgatavošanas procesā, gan ekspluatējot gatavos izstrādājumus, jo notiek formaldehīda un fenola tvaiku emisija [212]. Ja formaldehīda koncentrācija gaisā ir virs 0,1 ppm, tas kairina acis, kakla un deguna gļotādu, apgrūtina elpošanu. Neskatoties uz to, pateicoties to labajām tehniskajām īpašībām, šīs saistvielas izmanto 85 % koksnes kompozītmateriālu [213]. Pašlaik rūpnieciski ražotie kompozītmateriāli satur līdz 15 % sintētiskās saistvielas, kas ir iegūtas no naftas resursiem. Tas savukārt veido līdz pat 50 % no

visām izmaksām. Šādi iegūti kompozītmateriāli ir nedraudzīgi videi un veselībai, kā arī rada utilizācijas problēmas [214]. Kā laba, pieejama un no koksnes pārstrādes blakusprodukta – mizām izgatavojama ekoloģiska saistviela ir suberīns, kuru izmanto suberīnskābju vai daļēji depolimerizēta un paskābināta suberīna veidā [215]. Šādu biokompozītmateriālu priekšrocības ir ekoloģiskums [98].

Šobrīd ir pieejamas dažas alternatīvas, lai kokšķiedru un MDF plātņu ražošanā aizstātu fenola – formaldehīda, karbamīda – formaldehīda un uz izocianātu pamata sintezētus sveķus [210]. Dažas alternatīvās saistvielas, kas iegūtas no atjaunojamiem resursiem, tādas kā sojas milti, neizdala formaldehīdu, taču šīm saistvielām piemīt 2 trūkumi – to iegūšana konkurē ar pārtikas ražošanu, kā arī vērojama plātņu stiprības samazināšanās mitruma iedarbībā [216]. Vienīgais paņēmieni, kā saglabāt plātņu stiprību mitruma iedarbībā, ir eļļas palmas cieti modificējot ar  $\alpha$ -epihlorhidrīnu [217]. Tomēr iegūtais produkts rada veselības aizsardzības speciālistu bažas, ka, lai gan saistvielas sastāvā nav formaldehīda, tajā esošā  $\alpha$ -epihlorhidrīna komponente, kaut zemā koncentrācijā, var iedarboties kā iespējama kancerogēnā viela, kā to nosaka Starptautiskā Vēža pētniecības aģentūra (SARC) [210]. Sojas milti jau tiek komerciāli piedāvāti kā saistviela, lai aizstātu formaldehīda sveķus koksnes produktu ražošanā un kā proteīns pārtikas rūpniecībā, lai aizstātu dzīvnieku izcelsmes proteīnus [218].

Tādēļ Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūta zinātnieki piedāvā izstrādāt uz atjaunojamiem resursiem bāzētu saistvielu – suberīnu [215]. Iegūtie šķiedru biokompozīti neemitēs formaldehīdu, to stiprība mitruma iedarbībā saglabāsies, kā arī izejviela – bērza miza – nekonkurē ar pārtikas rūpniecību un ir kā ražošanas atkritums. LVKĶI suberīna kā saistvielas ekoloģiskos šķiedru biokompozītos priekšizpēte veikta ERAF projekta Nr.2010/0289/2DP/2.1.1.1.0/10/APIA/VIAA/058 “Bioloģiski aktīvu vielu un polimērmateriālu izejvielu iegūšana no bērza mizu pārpalikumiem” ietvaros. Projektu finansēja Eiropas Reģionālās attīstības fonds un Izglītības un zinātnes ministrija, izmantojot Valsts Izglītības un attīstības aģentūras pakalpojumus [219]. Šobrīd ir apstiprināts viens patenta pieteikums (Nr. LV 15031 B; Kokskaidu plātņu izgatavošanas paņēmieni bez formaldehīda izmantošanas; īpašnieks: Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts; autori: Jānis Zandersons, Jānis Rižikovs, Aigars Pāže, Ausma Tardenaka, Baiba Spince) [220]. Izgudrojums attiecas uz galdniecībā un celtniecībā izmantojamu koksnes kompozītu, īpaši kokskaidu plātņu, izgatavošanas paņēmieniem, kuras nesatur un neemitē formaldehīdu vai citas veselībai kaitīgas vielas. Ir piedāvāts kokskaidu plātņu izgatavošanai kā saistvielu izmantot no bērza mizas un tāss iegūtu saistvielu, kas šim nolūkam kalpo kā cilvēkam nekaitīga dabiskas izcelsmes koksnes saistviela. Paņēmiena īstenošanai ir izmantots sastāvs, kuru iegūst, izgulsnējot apziepotās suberīnskābes kopā ar tāss lignooglūdeņražu kompleksu pēc tam, kad no tāss ir ekstrahēta tā otra galvenā sastāvdaļa – triterpēni, kā rezultātā rodas perspektīva kompleksi tāss pārstrādei par kokskaidu plātņu saistvielu, kuras efektīvai darbībai nav nepieciešama formaldehīda vai izocianātu un/vai citu cilvēkam kaitīgu vielu klātbūtne un kuras sastāvā nav sintētisku vielu. Procesā palīgvielas, kālija hidroksīdu un slāpekļskābi reģenerējot kālija nitrāta veidā, piedāvāts izmantot kā minerālmēslojuma koncentrātu [220]. Šis produkts vēl nav komercializēts, jo tas vēl ir izstrādes procesā. Vēl jāveic dzīves cikla izvērtējums, ietekmes uz vidi novērtējums un tirgus izpēte par šāda produkta nepieciešamību. Ir jāizstrādā biznesa plāns, kā arī jāizmēģina un jāvalidē tehnoloģija pilotiekārtu līmenī, lai pārliecinātos, ka tā padodas mērogošanai. Kā būtiskāko šķērslī šī produkta komercializācijai

Suberīna (tāss) saistvielas ražošanas principiālā shēma redzama 4.9. attēlā. Ražošanas procesa laikā nerodas atlikumi, ja izdalītie suberīnskābju sāļi un ogļhidrāti (celuloze, lignīns, polifenoliskie savienojumi) tiek izmantoti kā saistviela ekoloģisku skaidu plāksņu iegūšanai. Kā blakusprodukts rodas kālija nitrāta ūdens šķīdums, kas palicis pār no suberīnskābju izsēdināšanas operācijas. To iespējams izmantot kā mēslojums dārzniecībā, lauksaimniecībā, mežsaimniecībā un augļkopībā. Ražošanas procesā tiek ievērots tīrākas ražošanas princips, jo kā šķīdinātājs tiek izmantots ūdens, un neveidojas kaitīgi izmeši. Produkta sastāvā nav ķīmisku savienojumu, kuru nonākšana vidē var radīt piesārņojumu un kaitējumu dzīvajiem organismiem. Produkts atbilst ekodizaina principiem, un pēc tā lietošanas cikla beigām to ir iespējams reciklēt. Tā ražošana un lietošana neatstāj nekādu negatīvu ietekmi uz klimatu, vidi, bioloģisko daudzveidību un cilvēka veselību, pat rada pozitīvu efektu, jo ar šo produktu var aizstāt kaitīgu produktu – formaldehīdu saturošas saistvielas [98].



Suberīnu var izmantots arī citu produktu ražošanai, piemēram, plastifikatoriem, lubrikantiem, virsmaktīvajām vielām un dažādām piedevām [221].

84

betulīna ražotne, kuras Latvijā vēl nav, bet šobrīd tiek veikta izpēte par iespējām paralēli finiera ražošanai no bērza tāss, kas ir finiera ražošanas procesa atlikums, ražot betulīnu.

#### 4.5.16. Tanīnu saturošs ekstrakts

Kā inovatīvs produkts tiek piedāvāti kondensēto tanīnu (proantociānīdīnu) saturoši ekstrakti no Latvijā augošu lapu koku mežizstrādes un kokapstrādes atlikumiem un to izmantošana dažādos Latvija ražošanas uzņēmumos. Pašlaik Latvijā miza no lapu kokiem tiek izmantota kā atjaunojamais enerģijas avots, neizmantojot tās kā augstvērtīga resursa – ar proantociānīdiem bagātināta ekstraktu ieguves avota – potenciālu. Šāda produkta pētniecības aktualitāte ir pamatota ar augstu izmantošanas potenciālu dažādās nozarēs. Saistībā ar to LVKĶI tika izstrādāta proantociānīdīnu saturošo ekstraktu (PAC ekstrakts) iegūšanas principiāla tehnoloģiskā shēma (4.10. attēls) un eksperimentāli pamatoti PAC ekstrakta kā patstāvīgā produkta, tā arī kombinācijā ar modificētām piedevām izmantošanas virzieni Latvijas tautsaimniecībā.

1. PAC ekstrakta kā saistvielas, izmantošana kokskaidu plātņu ražošanā. Iegūto paraugu rezultātu vērtības atbilst NE–314–P2 standarta prasībām. Mehānisko īpašību uzlabošanai ir iespējama PAC ekstrakta modifikācija. Paredzēts šo pētījumu turpinājums.
2. Modificēta PAC ekstrakta, kā saistvielas, izmantošana saplākšņu ražošanā. Iegūtie saplākšņu paraugi atbilst standarta LVS EN 314 punkta 5.1.3 un 5.1.1. prasībām, kas paredzētas izmantošanai iekšējiem un ārējiem apstākļiem. Paredzēts šo pētījumu turpinājums.
3. PAC ekstrakts kā antioksidants lipīdu saturošiem produktiem. PAC ekstrakts kā piedeva tika pārbaudīts majonēzes un kosmētiska krēma sastāvā. PAC ekstrakta antioksidatīvās īpašības nodrošina efektivitāti lipīdu saturošo produktu, pārtikas un kosmētisko līdzekļu īpašību stabilizācijā un kvalitātes uzlabošanai.
4. Eksperimentāli pierādīts, ka PAC ekstrakts labvēlīgi ietekmē  $\alpha$ -amilāzes aktivitāti un kavē aizkuņģa dziedzera lipāzes aktivitāti, samazinot lipīdu uzsūkšanos asinīs, nodrošinot to izmantošanu veselības aprūpē [98].

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūtā šis produkts pētīts un izstrādāts vairāku projektu ietvaros:

- valsts pētījumu programma Nr. 2010.10-4/VPP-5: "Vietējo resursu (zemes dziļi, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas (NatRes)" (2010.–2013. g.);
- ERAF projekts „Dažādas izcelsmes atjaunojamo kurināmo maisījumu jauna veida granulētu produktu izveidošana ekoloģiski tīru un efektīvu degšanas un siltuma ražošanas procesu nodrošināšanai ar būtiski uzlabotu šo procesu tehnoloģiju” (2010.–2013. g.);
- VPP-5 projekta Nr. 2 „Jaunu produktu un inovatīvas meža apsaimniekošanas, meža koksnes un nekoksnes produktu ražošanas tehnoloģijas, racionāli izmantojot meža resursus un būtiski palielinot produkcijas pievienoto vērtību” 2.4. apakšprojekts „Maztonnāžas produkti ar augstu pievienoto vērtību no koksnes ar biorafinērijas tehnoloģijām, materiāli ar uzlabotām ilgzturības īpašībām” (2010.–2013. g.);
- *Wood WisdomNet-2 research program „Pinobio, Pinosylvins as novel Bioactive Agents for Food Applications”* (2011.–2014. g.);

- valsts pētījumu programma „Meža un zemes dzīļu resursu izpēte, ilgtspējīga izmantošana – jauni produkti un tehnoloģijas” (ResProd), projekts Nr.3 „Biomateriāli un bioproducti no meža resursiem ar daudzpusīgu pielietojumu” (2014.–2017. g.) [98].



4.10 attēls. Proantociānīdīnu saturoša ekstrakta iegūšanas shēma [98].

Daudzo pētījumu rezultātā LVKĶI ir izstrādājis konkrētu produktu, kuram ir iesniegts patenta pieteikums (Nr. 15130A, Līdzeklis piruvātu līmeņa pazemināšanai asins plazmā. Autori: Jeļena Krasasiļņikova, Mark Zalomonson, Gaļina Teliševa, Tatjana Dižbite, Sarmīte Janceva, Ludmila Ivanova). Izgudrojums attiecas uz ārstniecisku līdzekli piruvātu līmeņa samazināšanai asins plazmā. Par šādu līdzekli tiek piedāvāts oligomērs proantociānīdīns [98].

#### 4.5.17. Termo (ķīmiski) mehāniskā celuloze

Termo mehāniskā (ķīmiskā) celuloze (TMM vai ĶTMM) ir koksnes izcelsmes produkts ar augstu pievienoto vērtību un plašām lietojuma iespējām papīrrūpniecībā un sarežģītu mēbeļu formu izgatavošanā. To iegūst no celulozi saturošas biomasas. Ražojot produktu Latvijā, var izmantot gan kokrūpniecības atlikumus, gan apses koksni. No apses koksnes ir iespējams iegūt visgaišākās koksnes šķiedras (pasaulē gaišākās koksnes šķiedras ir iegūtas tieši no ĶTMM apses šķiedrām – 98 % ISO baltuma), kas ir ļoti tuvs titāna oksīda baltumam. No TMM ir iespējams ražot 3D liektas formas mēbeļu detaļas ar maziem materiāla zudumiem. 3D liekto mēbeļu detaļas ļauj brīvu vaļu interjera dizaineriem veidot savus produktus. Tāpat šķiedru materiālā ieinteresēti būtu papīru produktu ražotāji Latvijā un Baltijā, kur pašreiz tehnoloģiskās līnijās izmanto 100 % pārstrādāto makulatūru. TMM vai ĶTMM šķiedru pievienošana ļauj ieviest ražotnē jaunākas šķiedras un uzlabot produktu kvalitāti un konkurētspēju [98].

Produkts ir plaši pazīstams papīrrūpniecībā. Kā lielāko produkta pamatojumu var minēt, ka šķiedru materiālā ieinteresēti Latvijā būtu SIA “VLT”, SIA “Baltkartons”, kā arī SIA “Līgatne”, ja nākotnē atjaunos ražošanu. 3D liekto mēbeļu detaļas šobrīd ražo no masīvās koksnes ar CNC darbgaldiem, metāla vai plastmasas. Pieaugot sabiedrības interesei par ekoproductiem, ir iespējams efektīvāk izmantot koksnes resursus, ja sarežģītas 3D mēbeļu formas veidotu šķiedru atliešanas tehnoloģijā, kas samazinātu arī mēbeļu savienojumu vietas. Tas nākotnē ļautu attīstīt 3D drukāšanu, izmantojot TMM koksnes šķiedras. Ražojot TMM un ĶTMM šķiedras no apses koksnes, būtu iespējams pārstrādāt apses sortimentu, kas Latvijā šobrīd netiek efektīvi izmantots. No TMM un ĶTMM masas iespējams ražot arī siltumizolācijas materiālus. Līdzīgu tehnoloģiju lieto, piemēram, *STEICO* (Polija), un *Scano* (Igaunija), (izmantojot skujkoku koksni). Tuvākā ražotne, kas ražo ĶTMM un TMM, atrodas Kundā (Igaunija) [98].

## 5. Pārskats par inovatīvo produktu ietekmi uz klimata politikas mērķu sasniegšanu

Klimata pārmaiņu rezonanse ir aptvērusi visu pasauli, un tās iedarbība ir jau pamanāma dažādās pasaules vietās. Kā piemērus var minēt vēja stipruma pieaugumu, ilgstošo sausumu vai tieši pretēji – ilgstošas lietavas vietās, kur tas nebija ierasts. Tās ir tikai dažas sekas, kas ir pieminamas klimata pārmaiņu kontekstā. Tādēļ ir jārod risinājumi, lai šī ietekme nebūtu vēl lielāka un mēs sāktu īstenot ilgtspējības principus – to, kas mums ir šobrīd, atstāt arī nākamajām paaudzēm [222].

Kā viens no globālās sasilšanas galvenajiem iemesliem ir siltumnīcefekta gāzu (SEG) emisiju pārlieku liela koncentrācija atmosfērā. SEG emisijas iedalāmas dabiskās un antropogēnās. Svarīgākās dabīgās emisijas ir ūdens tvaiki, oglekļa dioksīds (CO<sub>2</sub>) un metāns (CH<sub>4</sub>). Lai gan no SEG emisijām daļa ir dabiskās emisijas, tomēr lielāka uzmanība ir jāpievērš tieši antropogēnajām emisijām jeb emisijām, kas rodas cilvēku darbības rezultātā. Antropogēnās emisijas ir CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, slāpekļa oksīds (N<sub>2</sub>O), fluorogļūdeņraži (HFC), perfluoroglekļi (PFC) un sēra heksafluorīds (SF<sub>6</sub>) [223] 2011. gadā tika noteikts, ka vidējais globālais emisiju koncentrācijas lielums CO<sub>2</sub> ir 391 ppm (*parts per million* – miljonā daļa) jeb gāzes molekulu daļu daudzums uz visa gaisa kopējo molekulu daudzumu), CH<sub>4</sub> ir 1803 ppb (*parts per billion* – miljardā daļa) un N<sub>2</sub>O – 324 ppb [224]. No SEG emisiju koncentrāciju vērtībām vislielāko lomu spēlē ogļskābā gāze CO<sub>2</sub>.

Eiropas Savienības klimata politikas ietvaros ir noteikti vairāki mērķi, kas jāsasniedz līdz 2030. gadam:

- SEG emisijas ir jāsamazina vismaz par 40 % salīdzinājumā ar 1990. gada līmeni;
- jāpanāk, lai no atjaunojamajiem energoresursiem iegūtās enerģijas īpatsvars būtu vismaz 27 % no kopējā patēriņa;
- vismaz par 27 % jāuzlabo energoefektivitāte patērētāja sektorā [225].

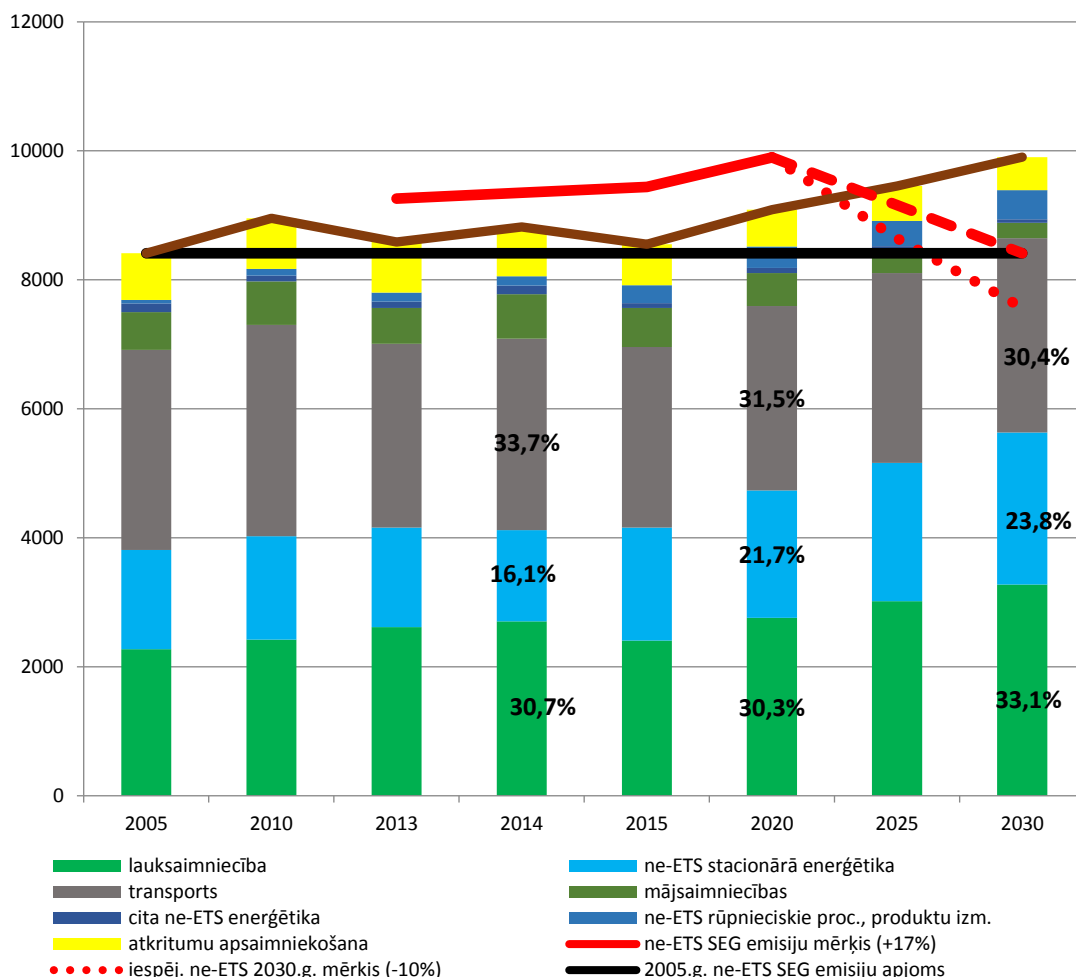
Latvijas klimata politikas mērķi ne-ETS (tie sektori un operatori, kas nepiedalās emisiju tirdzniecības shēmā) sektorā, kurā ir ietverta arī lauksaimniecība, ir analizēti 5.1. attēlā [226]. Tie rāda, ka, laikā līdz 2020. gadam Latvijā CO<sub>2</sub> emisiju līmenis būs zemāks nekā Latvija ir apņēmusies, nosakot klimata politikas mērķus. Lielākas problēmas klimata politikas mērķu sasniegšanā Latvijai varētu rasties laikā no 2025. līdz 2030. gadam.

Latvijas ne-ETS klimata politikas mērķi paredz būtisku CO<sub>2</sub> samazinājumu 2030. gadā salīdzinājumā ar 2005.gadu. Tomēr lauksaimniecības sektors prognozē strauju šobrīd neizmantoto lauksaimniecības zemju izmantošanas atsākšanu, kas varētu palielināt siltumnīcefekta gāzu emisiju pieaugumu. Kā redzams 5.1. attēlā ilustrētajās prognozēs, SEG emisiju būtisko pieaugumu lauksaimniecības sektorā nav iespējams kompensēt ar samazinājumu citos sektoros.

Jauno klimata politikas mērķu sasniegšanā netieša pozitīva ietekme uz CO<sub>2</sub> piesaisti ir raksturīga mežizstrādei, kas ilgtermiņā [227]:

- atjauno koksnes produktu oglekļa krātuvi (Latvijā tikpat liela kā oglekļa uzkrājums aramzemēs);

- nodrošina tehniskos priekšnosacījumus meža atjaunošanai un ekonomiskos priekšnosacījumus visām ar CO<sub>2</sub> piesaistes veicināšanas darbībām;
- nodrošina saīsinātu apriti, aizstāšanas efektu enerģētikas sektorā, palielinātu augšanas potenciālu.



5.1. attēls. Latvijas ne-ETS SEG emisijas un to prognozes, kt CO<sub>2</sub> ekv. [5].

No koksnes ražotiem produktiem ir ražoti svarīga loma ietekmes uz klimata pārmaiņām samazinājumā. Tie ir būtisks CO<sub>2</sub> piesaistes avots. Ekspertu vērojumi liecina par tiešas sakarības pastāvēšanu starp CO<sub>2</sub> piesaisti un mežizstrādes apjomu un koksnes produktu pievienoto vērtību: ja pieaug mežizstrādes apjomi vai palielinās koksnes izmantošanas efektivitāte, tad oglekļa piesaiste palielinās.

Latvijā vēsturiski koksnes produktu radītā CO<sub>2</sub> piesaiste galvenokārt ir saistīta ar kokapstrādes rūpnīcu jaudas palielināšanu un efektīvāku papīrmalkas sortimenta izmantošanu plātņu rūpniecībā.

Šī pētījuma ietvaros tiek paplašināts koksnes produktu klāsts, palielināsies koksnes izmantošanas efektivitāte un pieaugs CO<sub>2</sub> emisiju piesaiste Latvijā.

Galvenais uzsvars šajā priekšizpētē ir vērsts uz oglekļa piesaisti attiecīgajā produktā [5]. Šīs metodes nolūks ir panākt, ka ogleklis tiek ietverts produktā, no kura tālāk tam nav iespēju izveidoties par CO<sub>2</sub> un nonākt apkārtējā vidē.



Ja koksnes resurss tiek izmantots, lai aizstātu jau šobrīd tirgū esošu un konkurējošu produktu, kas tiek ražots no fosiliem resursiem (nafta un naftas pārstrādes resursi), tad neveidojas emisijas apkārtējā vidē ražošanas, lietošanas un arī dzīves cikla beigās. Tas nozīmē, ka, ja meža biomasa tiek izmantota koksnes produktu ražošanai, nevis tiek dedzināta, eksportēta vai atstāta mežā trūdam, valstij ir iespējas virzīties klimata politikas mērķu sasniegšanas virzienā.

## 5.1. Aprēķinu metodika

Latvijas SEG inventarizācijā CO<sub>2</sub> piesaisti koksnes produktos aprēķina, izmantojot 2013. gadā publicēto metodiku Kioto protokola aktivitāšu uzskaitēi [228].

Koksnes produktu klasifikācija veidota atbilstoši 2013. gada vadlīniju Kioto protokola aktivitāšu uzskaitēi [224]. Koksnes produkti iedalīti 3 pamatgrupās:

- zāgmateriāli;
- plātņu koksne;
- papīra un kartona izstrādājumi.

Metodē tiek izmantoti koeficienti, kas norāda, cik daudz oglekļa ir 1 tonnā attiecīgā produkta, kurā kā resurss tiek izmantota koksne. Nākamajā aprēķinu solī var noteikt piesaistītā oglekļa daudzumu, pieņemot, ka gadā tiek izmantots noteikts daudzums konkrētā koksnes produkta izgatavošanai.

Aprēķiniem nepieciešamie koeficienti un skaitliskās vērtības katram produktam ir dotas 5.1. tabulā. Biokurināmais netiek ņemts vērā, jo tiek pieņemts, ka notiek biokurināmā tūlītēja oksidēšanās mežizstrādes gadā.

5.1. tabula. Pieņēmumi, lai novērtētu oglekļa uzkrājumu koksnes produktos [228]

Koksnes produkti	Koksnes blīvums, t/m <sup>3</sup>	Oglekļa saturs koksnē, t C/m <sup>3</sup>
Zāgmateriāli – skujkoki	0,450	0,225
Zāgmateriāli – lapukoki	0,560	0,280
Finieris	0,505	0,253
Saplāksnis	0,542	0,267
Skaidu plātne	0,596	0,269
Kokšķiedras plātne	0,788	0,335
MDF	0,691	0,295
Presēta kokšķiedru plātne	0,739	0,315
Izolācijas plātne	0,159	0,075
-	Sausnas masa, t/t	Gaissausa masa, t C/t
Papīrs un kartons	0,900	0,386

Aprēķinu metodikas pamatā ir zinātniska publikācija par meža apsaimniekošanas references līmeņa izstrādāšanu Kioto protokola 1. pielikumā uzskaitītajām valstīm [229].

Šīs priekšizpētes gadījumā koksne tiek izmantota jaunu bioproduktu izgatavošanai. Produktu iedalījums aptver tekstila rūpniecību, ķīmijas rūpniecību un enerģētiku. Koksnes produktu ražošanas procesā veidojas blakusprodukti, kas tiek izmantoti koksnes degšanas procesos, lai ražotu enerģiju.

Šīs metodikas galvenais mērķis ir noteikt oglekļa piesaistes apjomus, ja koksne netiek tiešā veidā izmantota kā kurināmais: koksnes sastāvā esošais ogleklis degšanas procesā neoksidējas un neveido CO<sub>2</sub> emisijas.

Metodē tiek apskatīti trīs galvenie produkti, kuros tiek izmantota koksne. Tie ir:

- tekstilšķiedra;
- bioeļļa;
- ksilāna atvasinājumi.

Aprēķiniem nepieciešamie statistikas dati par mežizstrādes apjomiem ir iegūti no Valsts meža dienesta, bet dati par ražošanu – no Latvijas kokrūpniecības federācijas, datu bāzes FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) un EUROSTAT. Valsts meža dienesta kompetencē ir veikt monitoringu, lai mežizstrāde tiktu veikta atbilstoši prasībām un nebūtu likumpārkāpumu.

5.1. vienādojumā tiek aprēķināts iegūtais oglekļa daudzums no vietējās izcelsmes apaļkokiem.

$$IRW_P(i) = \left(1 - \frac{D * M_{avg}}{MH_{total}}\right) * IRW_{total}(i), \quad (5.1.)$$

kur

$IRW_P(i)$  vietējās izcelsmes apaļkoksne, neieskaitot to, kas iegūta no atmežotajām platībām, Gg C/gadā;

$D$  atmežotās platības, ha;

$M_{avg.}$  vidējā krāja, m<sup>3</sup>/ha;

$MH_{total}$  kopējā izcirstā krāja, m<sup>3</sup>;

$IRW_{total}(i)$  kopējais iegūtais vietējās izcelsmes apaļkoku apjoms.

Koksnes produktos izmantotās vietējās izcelsmes koku īpatsvars tiek aprēķināts ar 5.2. vienādojumu.

$$f_{IRW}(i) = \frac{IRW_P(i) - IRW_{EX}(i)}{IRW_P(i) + IRW_{(IM)}(I) - IRW_{EX}(i)}, \quad (5.2.)$$

kur

$f_{IRW}(i)$  koksnes produktos izmantotās vietējās izcelsmes koku īpatsvars, kuri tiek iegūti no vietējiem mežiem;

$IRW_P(i)$  apaļkoksnes iegūtais apjoms, izņemot apaļkokus, kas iegūti no atmežotās platības, atsaucies gadā, Gg C/gadā;

$IRW_{EX}(i)$  apaļkoksnes eksports gadā i, Gg C/gadā;

$IRW_{(IM)}(I)$  apaļkoksnes imports gadā i, Gg C/gadā.

Ogleklis vietējās izcelsmes koksnes produktos tiek aprēķināts pēc 5.3. vienādojuma.

$$CHWP = f_{IRW}(i) * HWP_D, \quad (5.3.)$$

kur

$CHWP$  ogleklis vietējās izcelsmes koksnes produktos, izņemot koksnes produktos, kuri ir iegūti no atmežotajām platībām, Gg C/gadā;

$HWP_D$  vietējās izcelsmes koksnes produktu īpatsvars, Gg C/gadā.

CO<sub>2</sub> emisiju un piesaistes novērtējums koksnes produktos tiek aprēķināts, izmantojot 5.4. un 5.6. vienādojumu.

$$C(i + 1) = e^{-k} * C(i) + \left[ \frac{1 - e^{-k}}{k} \right] * inflow(i), \quad (5.4.)$$

kur

$C(i + 1)$  oglekļa uzkrājums vietējās izcelsmes koksnes produktos nākamajā gadā ( $i+1$ ) Gg C/gadā;

$e$  eksponencionāla konstante;

$k$  koeficients, kas raksturo gada laikā mineralizēto koksnes produktu potenciālo īpatsvaru, vienības/gadā;

$C(i)$  oglekļa uzkrājums vietējās izcelsmes koksnes produktos aprēķinu gadā ( $i$ ), Gg C;

$inflow(i)$  oglekļa uzkrājums aprēķinu gadā saražotajos koksnes produktos, Gg C/gadā.

$$k = \frac{\ln(2)}{HL}, \quad (5.5.)$$

kur

$HL$  gadu skaits, kas nepieciešams, lai zaudētu vienu daļu materiāla šobrīd krātuvē, gadi.

$$\Delta C(i) = C(i + 1) - C(i) \quad (5.6.)$$

kur

$\Delta C(i)$  gada laikā oglekļa uzkrājuma izmaiņas koksnes produktos, Gg C/gadā.

5.12. tabula. Koeficienti, kas nepieciešami, lai novērtētu CO<sub>2</sub> emisiju un piesaistes bilanci koksnes produktos

Faktors	Skaitliskā vērtība		
Kopējie koeficienti:			
e	2,718282		
ln(2)	0,6931		
Katram produktam nepieciešamais koeficients:			
Produktu klāsts	Zāgmateriāls	Plātņu koksne	Papīrs un kartons
HL	35	25	2
k	0,02	0,03	0,35
e <sup>-k</sup>	0,98	0,97	0,71
$k = \frac{1 - \ln(2)}{H * L}$	0,99	0,99	0,85

## 5.2. Inovatīvo produktu ietekme uz klimata politikas mērķu sasniegšanu

Priekšizpētē šajos aprēķinos, lai noteiktu produktu ietekmi uz klimata politikas mērķu sasniegšanu, tiek izmantoti trīs pasūtītāja izvēlētie produkti:

- tekstilšķiedra;
- ksilāna atvasinājumi;
- bioeļļa.

Augstāk minētā metodika ir sarežģīta, un, lai to izmantotu, vajadzīgi precīzi dati par resursu ieguves avotiem. Priekšizpētē koksnes produktu ražošanai nepieciešamo resursu izcelsmes avots nav būtisks, jo resursu apjoms Latvijā ir pietiekams. Koksnes fizikālie pārveides koeficienti izmantoti no Latvijas normatīvā dokumenta [230]. Tas nozīmē, ka oglekļa piesaisti iespējams noteikt ar vienkāršāku metodiku, izmantojot vienādojumu:

$$CH_{gadā} = ch * m_{sausnes} , \quad (5.7.)$$

kur

$CH_{gadā}$       gada laikā piesaistītais ogleklis, t<sub>c</sub>/gadā;

$ch$               oglekļa koncentrācija koksne t<sub>c</sub>/t;

$m_{sausnes}$       ražošanai nepieciešamais sausas koksnes daudzums, t<sub>koksnes</sub>/gadā.

Klimata pārmaiņu starpvaldību padomes izdotajā ceturtajā novērtējumā par mežsaimniecību ir noteikta oglekļa koncentrācija koksne, kas ir 0,5 t<sub>c</sub>/t<sub>sausnes</sub> [231].

### 5.2.1. Tekstilšķiedra

Tekstilšķiedras ražošanai tiek izmantota celuloze, kura tiek pēc tam ķīmiski apstrādāta ar organisku šķīdinātāju.

Izejas dati:

- saražots 65 000 t tekstilšķiedras;
- ražošanai nepieciešamais sausas koksnes daudzums ir 195 500 t<sub>koksnes</sub>/gadā.

Tiek aprēķināts piesaistītais oglekļa saturs tekstilšķiedras ražošanas gadījumā:

$$CH_{gadā} = 0,5 * 195,500 = 97,750 \text{ t}_C/\text{gadā}.$$

Tas nozīmē, ka piesaistītais oglekļa daudzums nenonāk apkārtējā vidē un neveido CO<sub>2</sub> emisijas.

### 5.2.2. Ksilāna atvasinājumi

Ksilāna un to atvasinājumi ražošanā kā pamatresurss tiek izmantota koksne, kas tiek apstrādāta ar sālsskābi, amoniju un nātrija sārmu.

Izejas dati:

- saražots 20 000 t nepieciešamās produkcijas (ksilāna atvasinājuma);
- ražošanai nepieciešamais sausas koksnes daudzums ir 106 667 t<sub>koksnes</sub>/gadā.

Piesaistītais oglekļa daudzums ksilāna atvasinājuma ražošanas gadījumā ir:

$$CH_{gadā} = 0.5 * 106\,667 = 53\,334 \text{ t}_C/\text{gadā}.$$

### 5.2.3. Bioeļļa

Bioeļļas ražošanā galvenais tehnoloģiskais process ir saistīts ar pirolīzes procesu.

Izejas dati:

- saražots 30 000 t nepieciešamās produkcijas (bioeļļu);
- ražošanai nepieciešamais sausas koksnes daudzums ir 42 857 t<sub>koksnes</sub>/gadā.

Piesaistītais oglekļa daudzums bioeļļas ražošanas gadījumā ir šāds:

$$CH_{gadā} = 0,5 * 42\,857 = 21\,429 \text{ t}_C/\text{gadā}.$$

Trīs jauno koksnes produktu ieguldījuma salīdzinājums klimata politikas mērķu sasniegšanā ilustrēts 5.3. tabulā.

5.23.tabula. Trīs koksnes produktu oglekļa piesaistes salīdzinājums

	Koksnes produkts	Oglekļa piesaiste, t <sub>C</sub> /gadā
1.	Tekstilšķiedra (liocels)	97 750
2.	Ksilāna atvasinājumi	53 334
3.	Bioeļļa	21 429

## 5.3. Nākotnes izaicinājums

Jaunajiem produktiem ir jārēķina aizstāšanas efekts vai arī jāsalīdzina esošais attiecīgā kokmateriālu veida izmantošanas veids ar plānoto izmantošanas veidu. Aizstāšanas efekts raksturo fosilajā resursā esošā oglekļa aizstāšanu ar biomasas resursā esošo oglekli.

Priekšizpētē ir ieskicēta ilgstoši kalpojoša bioproduktu ražošana no koksnes resursiem un brīdī, kad būs precīzāk izvēlēts produkts, vajadzēs salīdzināt:

- ražošanas atlikumu sadedzināšanas radīto aizstāšanas efektu;
- pašu koksnes produktu aizstāšanas radīto efektu pusdzīves (*half-life*) laikā;
- tās daļas koksnes produktu, kas nenonāk izgāztuvē vai kompostā, radīto aizstāšanas efektu sadedzinot.

Priekšizpētes uzdevums ir galvenokārt problēmu izvirzīšana un aptuvens vērtējums, bet detalizēta analīze ir nākamais solis. Tāpēc, jo konkrētāka būs produkta izvēle, jo vairāk sašaurināsies izpētes joma un precīzāk būs iespējams arī noteikt oglekļa piesaistes vērtību lielumus.

## 6. Meža resursu pieejamība inovatīvu produktu ražošanai

Mežs ir ekosistēma visās tās attīstības stadijās, kur galvenais organiskās masas ražotājs ir koki, kuru augstums konkrētajā vietā var sasniegt vismaz piecus metrus un kuru pašreizējā vai potenciālā vainaga projekcija ir vismaz 20 procentu no mežaudzes aizņemtās platības [232].

Meži Latvijā izņem aptuveni 3.2 miljonus hektāru (milj. ha) un valsts mežainums ir 49.62 %. Meža zemes veido meži, purvi, lauces, pārplūduši klajumi un infrastruktūras objekti. Valdošās koku sugas ir priede (34 %), egle (19 %) un bērzs (26 %). Pārsvārā valstī izplatīti skuju koku meži, mazāk – lapkoku un jauktu koku meži [233]. AS “Latvijas valsts meži” (LVM) apsaimniekošanā atrodas 47 % no mežu teritorijām [233].

Šīs nodaļas mērķis ir noskaidrot, vai vietējie meža resursi ir pietiekami trīs izvēlēto inovatīvo produktu ražošanai. Izpētes autori šajā nodaļā uzstādījuši sev tikai vienu uzdevumu: izanalizēt nepieciešamo meža resursu apjomu, izmantojot oficiālus informācijas avotus, kuros atrodama literatūrā un statistikā pieejamām informācija. Autori nepretendē uz pieejamo datu atšķirīgu interpretāciju, uz resursu sagatavošanas un ražošanas analīzi.

### 6.1. Koksnes resursi

Kā koksnes resursus var minēt dažādas koku un krūmu sugas, un to sastāvdaļas – stumbrus, zarus, celmus, mizas, galotnes. Šobrīd visplašāk izmantotā sastāvdaļa ir stumbri, kas nes arī lielāko ekonomisko ieguvumu un ir izmantojami dažādu produktu ražošanai, arī kā kurināmais. Sastāvdaļas, kuras šobrīd praktiski netiek izmantotas vai tiek izmantotas nepilnīgi, ir galotnes, sīkie zari un celmi ar saknēm. Tie ir augstvērtīgi biomasas resursi, kuru izmantošanas iespējas ir jāattīsta, bet šobrīd eksistējošā mazā pieprasījuma dēļ tas vēl nav izdevies [1].

Celmu gadījumā ir jāizstrādā rekomendācijas to izraušanas iespējām, jo metode var atstāt nelabvēlīgu ietekmi uz augsni un vidi, samazinot organisko vielu daudzums augsnē un veicinot eroziju. Koku mizas satur vērtīgus bioloģiski aktīvos savienojumus, kuri var radīt augstu pievienoto vērtību produktiem kā piedevas pārtikai, tie ir noderīgi farmācijā un kosmētikas ražošanā [1], tomēr šobrīd tiek izmantoti galvenokārt kā kurināmais un mulču sastāvdaļa. Viena no mizu lietojumam problēmām ir izejvielu neviendabīgums, kas būtiski sarežģī ķīmisko pārstrādi. Jo augstvērtīgāks produkts, jo tīrākas izejvielas tam nepieciešamas, tāpēc koksnes atlikumu izmantošana ķīmiskajai pārstrādei ir maz iespējama. Daudz ticamāka ir konkurence pēc augstvērtīgajiem resursiem.

Biomasas resursu pārpalikumi lielākos daudzumos rodas no apaļkoku pārstrādes. Šie pārpalikumi ir mežizstrādes blakusprodukti un atlikumi: mizas, skaidas, atgriezumi, koksnes vainas [234]. Šobrīd šie atlikumi tiek novirzīti tehnoloģiskās šķeldas ieguvei. No mežizstrādes atlikumiem šobrīd iegūst zemas kvalitātes šķeldu, kam tirgū ir zemāka cena. Šķelda satur daudzus piemaisījumus, piemēram, smiltis un skujas, kas padara produktu mazāk piemērotu kurtuvēm. Tomēr ir arī savi plusi. Radušos pelnus var izmantot mēslojumam, atgriezt atpakaļ meža augsnē vai izmantot rūpniecībā kā piedevu produktu ražošanā. Lai izvairītos no mazvērtīga kurināmā, rodas vēl viens iemesls inovāciju radīšanai no neizmantotajiem vai nepilnīgi izmantotajiem koksnes resursiem. [1]

Tradicionāli koksne tiek izmantota būvniecībā, papīra un mēbeļu ražošanā, kurināmā ieguvei, tomēr tā satur daudz vērtīgu ķīmisko savienojumu, kurus sintēzes rezultātā iespējams iegūt un izmantot augstas pievienotās vērtības produktu ražošanai. Minētos ķīmiskos savienojumus iespējams iegūt gan no koksnes atlikumiem, gan konkrētām koksnes sastāvdaļām [1]. Vidējais ķīmisko savienojumu sastāvs koksnē ir attēlots 6.1. tabulā.

6.1. tabula. Ķīmisko savienojumu saturs koksnē [235]

Nr. p.k.	Savienojums	Vidējais saturs koksnē, %
1.	Celuloze	39,96
2.	Hemiceluloze	22,67
3.	Lignīns	24,72
	• Skābē nešķīstošs lignīns	24,35
	• Skābē šķīstošs lignīns	1,33
4.	Lipīdi	8,25
5.	Proteīni	4,87
6.	Toluols	2,95
7.	Ekstraktvielas	6,64
8.	Ciete	1,70
9.	Pektīns	3,77
10.	Kopējais bezstruktūras oglehidrātu saturs	26,50
11.	Ksilāns	12,09
12.	Glikāns	42,04

6.1. tabulā attēlota tikai daļa no savienojumiem, kas iegūstami no koksnes. Potenciāls tās lietojumam dažādās sfērās ir liels. Šajā pētījumā uzsvars ir likts uz celulozes un ksilāna atvasinājumi ieguvē.

## 6.2. Nekoksnes resursi

Citi bioresursi, ko sniedz mežs, ir zāle, sūnas, medus, kūdra, augļi, ogas, sēnes, mizas, Ziemassvētku eglītes, pumpuri, sulas, čiekuri, sveķi, ārstniecības augi, zalenis utt. Šie resursi produktu ražošanai tiek izmantoti minimālos daudzumos. Tas liecina, ka netiek izmantots iespējamais resursu potenciāls no mežiem un nekoksnes resursiem. Kā piemēru šim var minēt skuju koku zāleni, kas kopā ar zariem veido apmēram 25 % no koka masas. Latvijā šobrīd tas tiek izmantots nelielos daudzumos tikai skuju ekstrakta ieguvei (SIA "Vecventa", Piltenē). Šī resursa iespējamie izmantošanas veidi ir kļuvuši īpaši aktuāli pēdējo gadu laikā [1].

Tomēr jāņem vērā augsnes saglabāšanas nepieciešamība un jāizvērtē, cik liels daudzums no meža biomasas ir pieejams ražošanai, neradot kaitējumu videi. Meža platība un kopējā koksnes krāja Latvijā palielinās, un tas stabili un pozitīvi ietekmē oglekļa uzkrāšanos mežā. 2009. gadā meža nozares radītā CO<sub>2</sub> piesaistes apjoms divas reizes pārsniedza kopējās Latvijas radītās emisijas, nodrošinot Latvijai pozitīvu siltumnīcefekta gāzu bilanci [236].



Kā vēl vienu no jau aizmirstu nekoksnes resursu var minēt skuju koku sveķus, kuri šobrīd tiek izmantoti nelielos daudzumos farmācijas nozarē. Mūsdienās šis resurss ir aizstāts ar sintētiskajiem sveķiem, tādēļ netiek iegūts. Šobrīd pastāvošā virzība uz pēc iespējas dabīgākiem produktiem var atgriezt šo resursu un tehnoloģiju aktīvā izmantošanā [1]. Būtisku labumu dod tikai priežu celmu sveķu iegūšana. Stumbra sveķu iegūšanas negatīvās sekas var būtiski pārsniegt jebkādu ieguvumu.

### 6.3. Nemateriālās vērtības

Mežs ar tā produktiem un pakalpojumiem ir nozīmīgs sabiedrības labklājības avots. Tas nodrošina kokmateriālus būvniecībai un mēbeļu ražošanai. No koksnes iegūst biomasu enerģijas ieguvei. Mežs nodrošina pārtiku un mājvietu. Tas aizsargā augsni no erozijas, nodrošina bioloģiskās daudzveidības saglabāšanos. Mežs ir ienākumu avots iedzīvotājiem, kā arī piedāvā rekreācijas iespējas. [1]

2010. gadā veiktais pētījums „Meža nekoksnes produktu un pakalpojumu devuma Latvijas tautsaimniecības novērtējums”, projekta „Papildus pētījumi Integrēto vides un meža ekonomisko kontu izstrādē Latvijā” ietvaros pirmo reizi deva iespēju novērtēt aptuveno meža nekoksnes produktu un pakalpojumu vērtību, kā arī izvērtēt to ietekmi uz Latvijas tautsaimniecību un meža sociālo nozīmi. [237]

Mežā iegūto nekoksnes produktu kopējā relatīvā vērtība ir 101 miljons eiro. Lielākā daļa no meža nekoksnes resursiem tiek izmantotas pašpatēriņam, bet aptuveni 13 % no kopējās mežā iegūtās produkcijas nonāk tirgū. Nozīmīgākais meža ieguvums ir sēnes, kuru ieguves vērtība veido pusi no nekoksnes produktu vērtības. Pašpatēriņā patērētās meža veltes tika novērtētas tirgus vērtībā, neņemot vērā piegādes un ieguves izdevumus. Šis rādītājs vairāk raksturo meža sociālo nozīmi monetārās vērtībās. [237]

Kopējā mežā sniegto komerciālo ne-mežsaimniecisko pakalpojumu vērtība ir aptuveni 37 miljoni eiro, no kuriem nozīmīgākie ir ar medībām saistītie pakalpojumi. Meža ekosistēma ir arī ievērojama oglekļa dioksīda (CO<sub>2</sub>) piesaistītāja. Fotosintēzes rezultātā mežā augošie koki piesaista CO<sub>2</sub>, uzkrājot oglekli koksņē un augsnē. Tas nozīmē, ka meža krājas pieauguma palielināšanās stabili un pozitīvi ietekmē CO<sub>2</sub> piesaisti un oglekļa uzkrāšanos meža ekosistēmā, samazinot kaitīgo gāzu koncentrāciju atmosfērā, mazinot klimata pārmaiņu riskus. [237]

Saskaņā ar ANO Vispārējo konvenciju par klimata pārmaiņām un tās Kioto protokolā noteiktajām saistībām, Kioto protokola 2. periodā (2013.–2020. gads) meža apsaimniekošanai ir noteikts konkrēts mērķis -16,302 milj.t CO<sub>2</sub> ekv. Mērķa sasniegšanu ietekmē dažādi faktori, no kuriem galvenie ir [237]:

- meža platība;
- produktivitāte;
- dzīvotspēja, kas tieši ietekmē kopējo ikgadējo koksnes biomasas pieaugumu:
  - mežaudžu vecumstruktūra;
  - meža kopšana;
  - meža infrastruktūra;

- meža apsaimniekošanas risku mazināšana, galvenokārt meža ugunsgrēki, kaitēkļi un slimības [237].

Ir svarīgi apzināties visus labumus, ko sniedz meža resursi, un izvērtēt to izmantošanu pārdomātā un ilgtspējīgā veidā. Iegūtie resursi jāizmanto maksimāli. Tas nozīmē, ka jāattīsta jaunu produktu ražošana no zaleņa, mežizstrādes pārpalikumiem un citiem šobrīd nenovērtētiem un neizmantotiem meža bioresursiem.

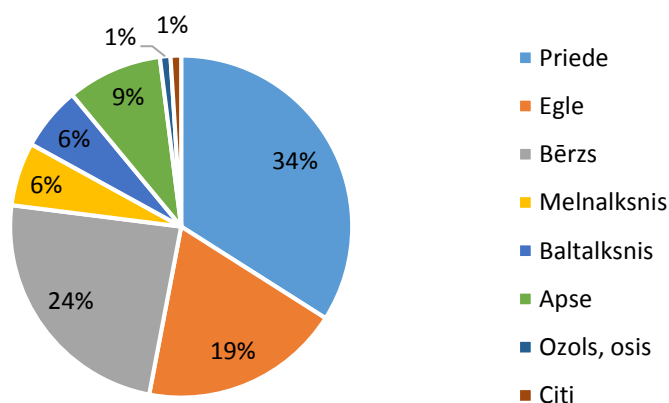
#### 6.4. Nepieciešamība pēc inovācijām

Valsts attīstību, tāpat kā uzņēmuma un jebkura veida biznesa attīstību, raksturo ekonomiskā izaugsme, pielāgošanās pārmaiņām un tiekšanās pēc inovācijām. Tieši tiekšanās pēc inovācijām ir saistīta ar uzņēmuma dzīves ciklu, tādēļ katrs uzņēmums un katra nozare tiecas būt ilgtspējīgi. “Kaut kā jauna radīšana ir piedeva dzīves ciklā. Tā ir vienīgā pareizā stratēģija, ja organizācija vēlas būt produktīva ilgtermiņā. Savukārt, lai inovācijas ieviestu, ir jāmaina arī esošā sistēma, jāpielāgojas pārmaiņām,” izteicies A.Balodis, uzņēmuma “Projektu fabrika” vadošais konsultants [238].

Mežsaimniecība ir viena no saimnieciski svarīgākajām nozarēm Latvijā, kas dod nozīmīgu ieguldījumu kopējā ilgtspējīgā Latvijas tautsaimniecības attīstībā. Tai ir arī būtiska loma valsts ekonomikas stabilizēšanā. Tieši mežu kontekstā tas nozīmē visu pieejamo resursu apzināšanu un aktīvu izmantošanu jaunu produktu ražošanai. Tas nozīmē, ka jākoncentrējas tieši uz neizmantotajiem resursiem – mežizstrādes pārpalikumiem, celmiem, zaleņiem, malku, tehnoloģisko koksni [239]. Šī pētījuma ietvaros pastiprināta uzmanība pievērsta trīs produktiem ar augstu pievienoto vērtību – tekstilam no koksnes (liocelam), ksilāna atvasinājumiem un bioeļļai. Šo produktu pievienotās vērtības rādītāji un ekonomiskā analīze aprakstīta 9. nodaļā.

#### 6.5. Pieejamie koksnes resursi

Pieejamo koksnes resursu daudzumu var noteikt, analizējot esošos koksnes resursus un to izmantošanas virzienus. No tā var secināt, kuras plūsmas ir lielākās un rada visvairāk atlikumu, kas netiek lietderīgi izmantoti. Tādējādi iespējams izvērtēt plūsmu maiņu un resursu vai atlikumu novirzīšanu jaunu, inovatīvu produktu ražošanai ar augstu pievienoto vērtību. Valdošo koku sugu sadalījums Latvijas mežos redzams 6.1. attēlā.

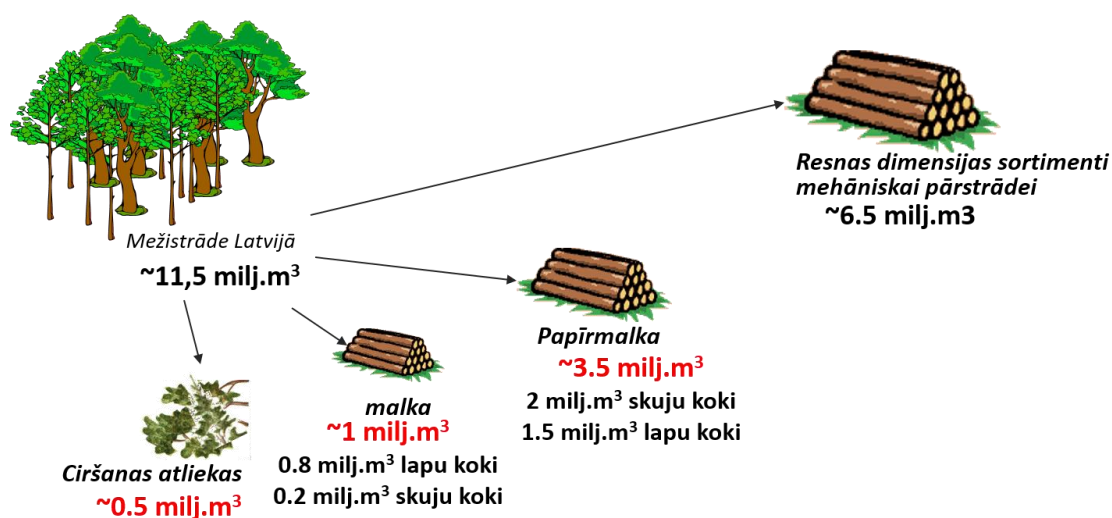


6.1.attēls. Koku sugu sadalījums Latvijas mežos [233, 240].

Kā var redzēt 6.1. attēlā, dominējošās koku sugas Latvijas mežos ir priede, bērzs un egle. Tas liecina par to, ka šie arī ir Latvijā visplašāk pieejamie koksnes resursi.

No kopējās krājas apjoma mežu atmirums veido 79,27 milj. m<sup>3</sup> [240], kas ietver gan nokaltušus kokus, gan kritalas, gan stumbeņus, gan nolauztos kokus. Koku bojājumi ietver slimības, dabas, dzīvnieku, kaitēkļu ietekmi un ugunsgrēkus. Mežaudžu augošo koku biomasas pa piecām valdošajām sugām veido 722,63 milj. m<sup>3</sup> [240]. Svarīgs parametrs šajā ziņā ir nocirsta, bet pamesta koksne, kas veido no 293,37 līdz 330 tūkst.m<sup>3</sup> [233]. Šis lielums parāda papildus no mežiem pieejamo koksnes resursu, ko var izmantot mežu augsnes ielabošanai (atstājot satrūdēšanai) vai atgūt kā papildu koksnes resursu. Gadā vidēji nocirstā un no meža izvestā koksnes krāja veido līdz 11,5 milj. m<sup>3</sup> [241].

Pēc AS "Latvijas valsts meži" (LVM) sniegtās informācijas mežizstrādei pieejamie koksnes resursi sadalās pēc 6.2. attēlā redzamās shēmas.



6.2. attēls. Koksnes resursu sadalījums pa mežizstrādes sortimentu grupām [241].

Kā redzams 6.2. attēlā, atspoguļotais koksnes resursu apjoms iedalāms divās galvenajās plūsmās :

- resnas dimensijas sortimenti mehāniskai pārstrādei, kas izmantojami zāgmateriālu un saplākšņa ražošanai vietējam patēriņam un eksportam ;
- papīrmalka, kas Latvijā izmantota dažādu produktu ražošanai, kā arī tiek eksportēta kā izejviela celulozes industrijai. Šis ir resurss, ko nepieciešams plašāk izmantot tepat Latvijā dažādu produktu ražošanai.

Inovatīvu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai izmantojama papīrmalka un malka, kuru ir iespējams novirzīt augstvērtīgākam patēriņam. Ražošanai noderīgi resursi no šī iedalījuma varētu šķist arī ciršanas atliekas, tomēr tās ne vienmēr ir augstas kvalitātes, tādēļ var būt tikai kā kurināmais. Tātad Latvijā katru gadu no vidēji mežizstrādē cirstajiem 11,5 milj. m<sup>3</sup> aptuveni 3,0 milj. m<sup>3</sup> var izmantot jaunu produktu ražošanai. Tas ir apjoms, kas tiek kā izejviela eksportēts (papīrmalka 1,6 milj. m<sup>3</sup>; šķeldas un malka 1,4 milj. m<sup>3</sup>).

Vairums no sagatavotajiem kokmateriāliem nonāk dažāda veida kokapstrādes ražotnēs Latvijā. Tievā koksne jeb papīrmalka galvenokārt tiek eksportēta, jo Latvijā nav daudz pārstrādes rūpnīcu produktu ražošanai no šāda veida koksnes. Arī Latvijā no tās ražotie

koksnes produkti, piemēram, granulas, tiek galvenokārt eksportētas. Mežizstrādes atlikumus, piemēram, koku galotnes, atgriezumus, tievos kokus, daļēji izmanto kā enerģētisko koksni šķeldas ražošanai.

Lielu daļu no produktu ražošanā neizmantotās tehnoloģiskās koksnes, mežizstrādes atlikumiem, kokapstrādes atlikumiem un ātraudzīgo kokus sugu koksnes iespējams novirzīt ražošanas vajadzībām, tādējādi nodrošinot ilgtspējīgu resursu izmantošanu produktu ar augstāku produktu vērtību radīšanai.

Pēc Valsts meža dienesta (VMD) statistikas datiem, 2014. gadā mežu ciršanas apjomi bija aptuveni 11,68 milj. m<sup>3</sup> [242]. 2015. gadā šis apjoms samazinājās un bija 10,63 milj. m<sup>3</sup> [243]. Vidēji ciršanas apjomi Latvijā ir robežās no 11 līdz 12 milj. m<sup>3</sup> [237]. Koku ciršanas apjomu izmaiņas ir atkarīgas no daudziem faktoriem - valsts attīstības līmeņa, vispārējās ekonomiskās situācijas, kokmateriālu cenas tirgū, likumdošanas u.c. [244].

No nocirstajiem koksnes apjomiem 51 % ir lapu koki un 49 %. Tā ir šī brīža situācija Latvijā kopumā, kur koksne tiek iegūta gan no privātajiem, gan valsts mežiem. Ja aplūko situāciju sīkāk, tad LVM apsaimniekotajos mežos 61 % nocirsto koku ir skujkoki un 39 % ir lapu koki.

Latvijā meža zemes šobrīd aizņem 49,62 %, valsts apsaimniekošanā atrodas 47 % no mežu teritorijas Latvijā. MK 2015. gada 16. novembra rīkojumā „Par koku ciršanas maksimāli pieļaujamo apjomu 2016.–2020. gadam” noteiktais maksimāli pieļaujamais ciršanas apjoms galvenajā cirtē LVM apsaimniekotajos mežos ir 23,43 milj.m<sup>3</sup> koksnes 88 135.1 ha platībā [245]. Vidēji tie ir 4,69 milj.m<sup>3</sup>/gadā.

Eksportēta tiek lielākā daļa no apaļkoksnes izgatavoto produktu, kā arī nozīmīga daļa papīrmalkas, malkas un šķeldas. Atlikusī koka biomasa tiek izmantota vietējam patēriņam, tajā skaitā kā kurināmais – šķeldas, granulu vai malkas veidā. Lielākā daļa no koka masas ir stumbra koksne, kas veido 50–75 %. Koku galotnes un zaru koksne veido 8–10 % no koka masas, skuju vai lapas veido 6–12 %, miza veido 2–4 % un celms ar saknēm veido 5–10 % no kopējās koka masas [246]. Daļu no mežu atmiruma un atstātās koksnes resursiem var izmantot jaunu produktu ražošanas vajadzībām. Izmantojamais koksnes apjoms atkarīgs no tirgus un esošā patēriņa konjunktūras, kā arī no vides aizsardzības vajadzībām atstājamā biomasas apjoma. Šis ir potenciālais koksnes apjoms, aptuveni 79 milj. m<sup>3</sup> [233], ko iespējams papildus izmantot ražošanā neatkarīgi no ciršanas apjoma, jo tas ir atmirušās un atstātās koksnes daudzums, kas uzkrājies mežos līdz 2014. gadam.

## 6.6. Mežu apsaimniekošana

Mežu apsaimniekošanas piemēri ir atrodamī dažādos literatūras avotos. Eiropas Savienības ietvaros šī metodika tiek balstīta uz direktīvām un normatīvajiem aktiem, kas attiecas uz valsts meža resursu ilgtspējības saglabāšanu un nodrošināšanu. Tādējādi tiek meklēti risinājumi, kā veicināt arī mežsaimniecības nozares ilgtspējību.

Vācijā tiek praktizēta “Lovas programma”, kas tiek dēvēta arī par “Vāciešu modeli” un iekļauj vairāku pilsētu mežu teritoriju apsaimniekošanu. Tajā gan privātie meži, gan valsts mežu teritorijas tiek apvienotas vienotā tīklā, un sadarbībā ar nozares speciālistiem to apsaimniekošanai tiek rasti gan ekonomiski, gan sociāli izdevīgi risinājumi. [247]

Rumānijā tiek meklēti risinājumi neindustriālo mežu vienotai apsaimniekošanai. Ir veikts bāzes pētījums, kurā apvienotas divu vietējo pilsētu mežu teritorijas, ņemot vērā sociālos, ekonomiskos un ekoloģiskos aspektus, kas apkopo iespējamus ieguvumus, riskus un izmaksas [248].

Meža ilgtspējība balstās uz trim pamatprincipiem:

- iespējamo draudu atvieglošanas;
- meža resursu pilnvērtīgas izmantošanas uzlabošanas;
- ieinteresēto pušu iesaistīšanās mežu apsaimniekošanas stratēģijas veidošanā [248].

Lai veiksmīgi īstenotu mežu apsaimniekošanas stratēģiju, nepieciešama īpaša institūcija, kurā ieinteresētās puses un organizācijas var savstarpēji komunicēt, lai aplūkotu un izvēlētos vislabākās perspektīvas nozares attīstībai [248].

Slovēnijā tika pētīta meža biomasas izmantošana, izmantojot ekspertu grupu aptaujas. Šajā gadījumā galvenais uzsvars tika likts uz meža biomasas izmantošanu enerģijas ieguvei tikai kā blakusproduktam, nevis tiešajam produktam. Eiropas Savienībā mežainums pārsniedz 40 % [249] no kopējās teritorijas, nodrošinot sabiedrību ar dažādiem mežu resursiem. Daudzām valstīm izaicinājums ir piemērotas mežu apsaimniekošanas politikas izveide, lai ņemtu vērā gan uzņēmumu, gan iedzīvotāju intereses [250]. Tomēr, ievērojot bioekonomikas pamatprincipus, jāņem vērā, ka meža biomasas izmantošana kurināmā ražošanai pieņemama tikai tad, ja nav iespējams to izmantot produktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošanai.

Pētījums pierāda, ka meža biomasas izmantošana enerģētikā jānodrošina kā citu mērķu blakusprodukts. Ekonomiskie instrumenti un tirgus ir galvenie bioenerģijas sektora attīstības dzinūji, kuriem būtiska ir valdības līdzdalība. Valdībai stratēģijai jākoncentrējas uz optimālu politikas instrumentu atrašanu, kas balstās uz politikas mērķiem, vietējiem apstākļiem un katra instrumenta ieviešanas brīdi. Šo metodi un pētījuma rezultātus var attiecināt uz valstīm ar līdzīgiem apstākļiem [250].

Latvijas mežu apsaimniekošanas metodika ir radniecīga Skandināvijas valstu metodikām, kur meža apsaimniekošana tiek balstīta uz kailciršu saimniecību, kas jau vairākās mežsaimnieku paaudzēs pamatota, un par efektīvu atzīta Latvijas mežu ilgtspējīgai apsaimniekošanai.

Somijā veikts pētījums par ilgtspējīgu apsaimniekošanu, kur kā piemēri minētas iniciatīvas somu mežsaimniecībās nozarē. Uzsvars likts uz energoefektivitāti, jo tā ir atkarīga no optimālas enerģijas un izejvielu izmantošanas, lai nodrošinātu nozares uzņēmumu konkurētspēju un augstu pievienoto vērtību ilgtermiņā. Pētījums balstīts uz šādiem uzdevumiem [251]:

- nozares iniciatīvu un mežsaimniecības produktu nozares piemēru apskatu;
- Eiropas Savienības stratēģiju un juridisko instrumentu potenciālo lietojumu;
- aptaujām, kas apkopo somu mežsaimniecības produktu nozares ilgtspējīgu apsaimniekošanu [251].

Galvenais Somijā veiktā pētījuma mērķis bija nodrošināt informāciju lēmumu veidošanai un stratēģijai. Daudzi uzņēmumi jau sākuši ilgtspējīgas un videi draudzīgas apsaimniekošanas ieviešanu, izveidojot dažādas darba grupas (piemēram, Eiropas papīra nozares konfederācija

(*The Confederation of European Paper Industries*), Eiropas kokapstrādes nozares konfederācija (*The European Confederation of wood working industries*) u.c.). Videi draudzīgākas ražošanas nodrošināšanai mežsaimniecības industrijā, pastāvot esošajam pieprasījumam, ir nepieciešams tehnoloģisko inovāciju un politikas atbalsts. Ja nepastāv tirgus pilnā potenciāla izpratne, tad tiek zaudēts ievērojams ilgtspējīgas ražošanas potenciāls. Aug pieprasījums pēc videi draudzīgiem produktiem, tādēļ jāmeklē jaunas iespējas efektīvai resursu un enerģijas izmantošanai. Klimatam kaitīgo gāzu daudzumu atmosfērā var novērst, pievēršoties jauniem ražošanas procesiem, mārketinga ideju veidošanai, optimālai atlikumu izmantošanai un izmaksu samazinājumam, radot unikālus produktus. Dzīves cikla metodoloģijas var palīdzēt atrast labākos procesu uzlabojumus, sniegt iespējas augstākas pievienotās vērtības un konkurētspējas gūšanai, kā arī veicināt uzņēmuma “zaļā” veidola nostiprināšanos sabiedrībā. Galvenais pētījuma secinājums ir tas, ka gan Eiropas, gan valstu līmenī netiek sniegts pietiekams valdības atbalsts tieši mežsaimniecības nozares attīstībai un saglabāšanai tās tradicionālajās izpausmēs. [251]

*Statskog* ir Norvēģijas lielākais mežu apsaimniekotājs, kas ir valsts uzņēmums. Tas tiecas uz ilgtspējības apsaimniekošanas principiem un pēdējos gadus velta tieši jaunu atbalsta mehānismu izveidei, lai spētu šos principus īstenot dzīvē. Principi balstās uz centrālu mežu resursu datu bāzi, kas nodrošina uzskatāmu resursu izmaiņu attēlošanu un pieejamību interesentiem [252].

Viņi strādā pie instrumentiem, kas palīdzēs analizēt mežu apsaimniekošanu gan īstermiņā, gan ilgtermiņā. Šādi instrumenti sniedz iespēju aprēķināt ciršanas apjomus un nepieciešamās investīcijas konkrētam laika periodam. Tiek veidotas sadarbības ar universitātēm, lai izstrādātu mehānismus, kas palīdzētu paredzēt negatīvās laikapstākļu radītās sekas mežiem. [252]

## **6.7. Resursu pieejamība izvēlētajiem produktiem**

Šajā nodaļā tiek aplūkoti trīs produktu – liocela (tekstila no koksnes), ksilāna atvasinājumu un bioeļļas, koksnes resursa izvērtējumi, liekot uzsvāru uz lapu koku koksnes papīrmalkas un malkas izmantošanu ražošanas procesiem. Aplūkoti tikai to mežu resursi, kuru apsaimniekotājs ir AS “Latvijas valsts meži”.

Mežu eksperta Anda Lazdiņa viedoklis, kas ir iegūts elektroniskā pasta sarakstes laikā, ir šāds: "Koksnes piegādes prognoze no kopšanas cirtēm nav ierobežota ar MK noteikumiem. Tas pats attiecas arī uz mežizstrādes prognozes sadalījumu sugu griezumā un piegādājamo kokmateriālu veidu griezumā. Var pieņemt, ka mežizstrādes apjoms līdz 2030. gadam saglabājas 2020. gada prognozes līmenī, un attiecīgi arī pārējo resursu sadalījums saglabājas nemainīgs." Šis apgalvojums ņemts vērā, aprēķinot konkrētajiem produktiem pieejamo resursu daudzumu.

### **6.7.1. Liocela ražošanai nepieciešamie resursi**

Liocels (*lyocell*) ir no celulozes iegūta tekstilšķiedra. Austrijas uzņēmums *Lenzing* ražo liocelu jau 20 gadus, un nepārtrauktu pētījumu rezultātā ir pierādīts, ka šī inovācija ir tekstila nākotne. Austrijā liocela ražošanai pārsvarā izmanto eikaliptu, bet to ir iespējams ražot no

egles, priedes un kļavas, un, paredzams, ka arī no bērza vai apses vai jebkura cita koka, pat augiem. [115, 116, 117]

Austrijas uzņēmums *Lenzing* šķiedru iegūst no pašu audzēs iegūtiem eikaliptiem un no citām Eiropas valstīm importētiem cietkoku un skuju koku resursiem. Šķiedras ieguves apjomi no 1 tonnas koksnes ir :

- eikaliptiem –  $0,3475 \text{ t}_{\text{šķiedras}}/\text{t}_{\text{krāsni žāvētas koksnes}}$  [253, 254];
- cietkokiem un skuju kokiem –  $0,34706 \text{ t}_{\text{šķiedras}}/\text{t}_{\text{krāsni žāvētas koksnes}}$  [253, 255];
- lapu kokiem –  $0,332 \text{ t}_{\text{šķiedras}}/\text{t}_{\text{krāsni žāvētas koksnes}}$  [253, 254]

Šis attiecības parāda, ka šķiedras iegūšanas apjomi ir ļoti līdzīgi neatkarīgi no izmantotās koksnes veida.

Liocela ražošanai Latvijā var izmantot vietējos resursus – lapu koku un skuju koku koksni. Pētījumā prioritāte ir lapu kokiem, tādēļ jāaplūko to pieejamais resurss. Balstoties uz iegūtās koksnes resursu sadalījumu 6.2. attēlā (6.5. apakšnodaļa), jaunu produktu ražošanai pieejamie resursi ir papīrmalka un malka, kas kopā ir 3,0 milj. m<sup>3</sup>/gadā (papīrmalkas, malkas un šķeldu eksportētais apjoms). Šajā pētījumā lapu koku daudzums, kas no kopējā malkas un papīrmalkas apjoma veido 51 %, ir 1,53 milj. m<sup>3</sup>/gadā. LVM saražo 49 % jeb aptuveni 0,75 milj. m<sup>3</sup>.

Pētījumā pieņemtā liocela ražotnes jauda ir 65 000 t<sub>šķiedras</sub>/gadā. Iegūtās šķiedras apjoms no lapu kokiem ir  $0,332 \text{ t}_{\text{šķiedras}}/\text{t}_{\text{krāsni žāvētas koksnes}}$ . Lai nodrošinātu pieņemto jaudu, veikts aprēķins, iegūstot nepieciešamo koksnes apjomu.

$$A_k = \frac{N}{A_{pr.}} , \quad (6.1.)$$

kur

$A_k$  nepieciešamais koksnes apjoms, t<sub>koksnes</sub>/gadā;

$N$  ražotnes ražošanas jauda, t<sub>produkta</sub>/gadā;

$A_{pr.}$  produkta ieguves apjoms no 1 tonnas koksnes, t<sub>produkta</sub>/t<sub>koksnes</sub>.

Ar šo vienādojumu iespējams iegūt liocela ražošanai nepieciešamo koksnes apjomu, kas ir

$$A_k = \frac{65\,000}{0,332} \approx 195\,500 \text{ tonnas koksnes gadā} \quad (6.2.)$$

Pārrēķina koeficients no tonnām koksnes uz cieškubikmetriem koksnes ir 0,7 t/cieš. m<sup>3</sup>. Tātad liocela ražošanai nepieciešamais koksnes apjoms ir 195 500 tonnas jeb 279 285 cieš. m<sup>3</sup> gadā. Tā kā LVM vidēji gadā var nodrošināt 0,75 milj. m<sup>3</sup> jeb 750 000 m<sup>3</sup> lapu koku koksnes, tad nepieciešamais resursa apjoms liocela ražošanai ir brīvi pieejams.

Šis aprēķins ir tikai teorētisks un neņem vērā minēto koku sugu izmantošanu citiem mērķiem. Reālo izmantošanas veidu izvērtējums var sniegt precīzākus datus, kas var palīdzēt ražotnes izveides nepieciešamības jautājumos.

Liocela ražotnes izveidei, kas saražo 12 000 tonnas šķiedras gadā, 1994. gadā bija nepieciešamas investīcijas aptuveni 130 milj. eiro apmērā [256]. Mūsdienās šādu ražotņu izveide ir par 24 % izdevīgāka nekā kokvilnas ražotne, un enerģijas patēriņa izmaksas arī ir

par 18 % zemākas [257]. Tomēr vidējās izmaksas joprojām sasniedz no 85 līdz 130 milj. eiro [258].

#### 6.7.2. Ksilāna atvasinājumu ražošanai nepieciešamie resursi

Ksilāns ir ksilāna tipa polisaharīdu maisījums. Tā ir ksilozes ražošanas izejviela, no kuras tālāk var iegūt ksilitolu (ksilītu). Ksilāna atvasinājumiem ir visplašākā mērķauditorija: sabiedrība (veselības aizsardzība, sadzīve), mašīnbūve un metālapstrāde (pretkorozija, sausais lubrikants, krāsošana, virsmas aktīvas īpašības) u. c. tautsaimniecības nozares. [175, 176, 177]

Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūta dati liecina, ka ksilitola ražošanas apjoms pasaulē ir 56 000 t/gadā un ik gadu pieaug par 3–4 % [179]. Latvijā ksilitolu neražo un neimportē.

Ražošanā izmanto dažādas tehnoloģijas un pamatresursi ir dažādu sugu koksne, vai mežizstrādes un/vai kokapstrādes atlikumi, elektroenerģija un siltumenerģija, ūdens, ķimikālijas – sārmī, skābes, piemēroti katalizatori.

Jaunu ksilozes iegūšanas tehnoloģiju no bērza koksnes izstrādājis Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts. Ar šīs tehnoloģijas palīdzību 5 reizes tiek samazināts patērējamais ūdens daudzums, tādējādi radot mazāku slodzi uz vidi un padarot ražošanas procesu ekonomiskāku [179, 259].

Somijā veikts pētījums, kurā salīdzināti dažādi ksilāna (*xylan*) iegūšanas apstākļi – mainīgs sārmu daudzums, temperatūra. Šajā gadījumā izmantota balināta bērzu koksnes celuloze, kurā ksilāna saturs ir 43 %. No 1 tonnas celulozes apstrādes procesu rezultātā iespējams iegūt 0.187 tonnas jeb 187 kg ksilāna [260].

Vidēji 1 tonnu celulozes iespējams iegūt no 5 tonnām koksnes, no 1 t koksnes var iegūt 200 kg celulozes [261]. Šis lielums gan ir ļoti atkarīgs no izmantotās koksnes veida, piemēram, no 1 tonnas eikalipta var iegūt no 381 līdz 450 kg celulozes [255].

Šī brīža apstākļos, Latvijā ik gadu aptuveni 2 milj. m<sup>3</sup> koksnes tiek sagatavota kā papīrmalka gan celulozes, gan dažādu citu produktu ražošanai. Mežizstrādes atlikumi veido līdz 0,5 milj. m<sup>3</sup> un malka 1 milj. m<sup>3</sup> [241]. Tomēr mežizstrādes atlikumi nav tik augstvērtīgi kā tīra koksne, tādēļ tie netiek ņemti vērā kā resurss ksilāna ieguvei. Lai mazinātu tehnoloģijas ieviešanas izmaksas, iespējams sadarboties ar esošām produktu ražotnēm. Tas mazinās nepieciešamību iegūt celulozi atsevišķi. Tomēr ir arī iespēja izveidot jaunu ražotni.

Jaunas celulozes ražotnes izveidošanas izmaksas, ja jauda ir 100 tūkst. tonnu /gadā, ir 82 milj. eiro, bet atmaksāšanās laiks ir aptuveni 10 gadi, ja atgriezeniskā naudas plūsma ir aptuveni 10 % [262]. Šādu celulozes ražotni var izmantot gan iepriekšējā apakšnodaļā (2.1.) minētā liocela ražotnes izejvielu nodrošinājumam, gan ksilāna atvasinājumu ražotnes nodrošināšanai ar izejvielām. Ražotnes darbībai būtu nepieciešamas līdz 500 tūkst. tonnu koksnes/gadā [262].

Ksilāna un to atvasinājumu ražošanai var izmantot dažādas koku sugas. Ja papīrmalkas, malkas un šķeldu pieejamais apjoms gadā vidēji veido 3,0 milj. m<sup>3</sup> (Latvijā neizmantotais resurss apjoms, kas tiek eksportēts) un LVM daļa ir 49 %, tad celulozes ražošanai un ksilāna



ieguvei LVM vidēji var novirzīt 1,47 milj. m<sup>3</sup>. Lapu koki veido 51 % no šī daudzuma jeb 0,75 milj. m<sup>3</sup>, bet skuju koki 0,72 milj. m<sup>3</sup> jeb 49 %.

Pieņemtais ksilāna ražotnes izmērs šajā pētījumā ir ar ražošanas jaudu 20 000 t<sub>ksilāna</sub>/gadā. No vienas tonnas jaukta tipa koksnes iespējams iegūt 0,187 tonnas ksilāna. Lai nodrošinātu pieņemto jaudu, veikts aprēķins, iegūstot nepieciešamo koksnes apjomu. Aprēķinam izmantota tā pati formula, kas 6.8.1. apakšnodaļā.

$$A_k = \frac{20\,000}{0,187} \approx 106\,667 \text{ tonnas koksnes gadā} \quad (6.3.)$$

Pārrēķina koeficients no tonnām koksnes uz cieškubikmetriem koksnes ir 0,7 t/cieš. m<sup>3</sup>. Tātad nepieciešamais koksnes apjoms ksilāna ražošanai ir 106 667 tonnas jeb 152 381 cieš. m<sup>3</sup> gadā. Tā kā LVM vidēji gadā var nodrošināt 1,47 milj. m<sup>3</sup> jauktu koku sugu koksnes, tad nepieciešamais resursa apjoms ksilāna ražošanai ir brīvi pieejams.

Ksilāna un tā atvasinājumu ražošanai Latvijā ir pieejams liels resursu daudzums, un izstrādāta jauna, efektīvāka metode tā ieguvei no bērza koksnes. Tātad produkta ražošanai ir pieejamas galvenās sastāvdaļas, un vienīgais problēmjaucējums varētu būt finansējums ražošanas uzsākšanai. Tomēr, ja tiek veicināta sadarbība starp celulozes ražotājiem vai tiek veiksmīgi izveidota finanšu piesaiste, tad problēmām ksilāna un tā atvasinājumu ražošanas uzsākšanai nevajadzētu būt.

### 6.7.3. Bioeļļas ražošanai nepieciešamie resursi

Bioeļļa jeb pirolīzes eļļa ir viela, ko iegūst no bioloģiski noārdāma materiāla pirolīzes ceļā, karsējot biomasu bezskābekļa vidē. Gala iznākums ir augsts bioeļļas sastāvs, kā arī bioogles un pirolīzes gāze. Produkta galvenā mērķauditorija ir katlu mājas, kurās izmanto šķidro kurināmo, kā arī ķīmijas un degvielas ražošanas uzņēmumi, pārdevēji un patērētāji.

Bioeļļas ražošanai vēlams izmantot koksni ar augstu lignīna saturu. Koksnes vēlmais mitruma saturs ir līdz 10 %, koksnes daļiņas izmēram nevajadzētu būt lielākam par 3–5 cm. Ražošanai nepieciešamā izejviela ir jebkāda veida biomasas, un var izmantot gan malku, gan šķeldu, gan ražošanas procesu pārpalikumus, kā arī mizu un mežizstrādes atlikumus (zarus, galotnes). Iegūtais bioeļļas apjoms tieši atkarīgs no izmantotās koksnes veida, un tas var svārstīties 50–80 % robežās no ievadītās izejvielas apjoma.

Latvijā bioeļļai pagaidām nav liels pieprasījums un noieta tirgus, bet to ir iespējams eksportēt uz valstīm, kur ir attīstītāka ražošana, kurā kā izejvielu izmanto bioeļļu.

Bioeļļas ražošanai visvairāk piemēroti mīkstie lapu koki, jo tiem ir augstāks lignīna saturs. To saturs koksne var variēt no 15 līdz 40 % robežās [263]. Latvijā dominē lapkoki, tajā skaitā bērzs, apse, melnalksnis, baltalksnis. Tomēr apses audžu platības samazinās, kā arī sarūk tās koksnes pielietojums [241], tādējādi kā vislabākie resursi bioeļļas ieguvei būtu bērzs, melnalksnis un baltalksnis.

Lapu kokus šobrīd plaši izmanto dažādu materiālu (piemēram, saplākšņa, taras, zāģmateriālu) ražošanai, tehnoloģiskās koksnes un šķeldas sagatavošanai. To gatavošanas laikā rodas mežizstrādes atlikumi. Bioeļļas ražošanā potenciāls ir arī celmu koksnei. Papīrmalkas, malkas un šķeldu daudzums Latvijā ik gadu ir aptuveni 3,0 milj. m<sup>3</sup> (Latvijā neizmantotais resursa apjoms, kas tiek eksportēts) no LVM 1,47 milj. m<sup>3</sup>, no LVM lapu

kociem 0,75 milj. m<sup>3</sup>. Dažāda vecuma celmu krāja LVM mīkstajiem lapu kociem uz 2014. gadā ir robežās no 3,33 līdz 6,39 milj.m<sup>3</sup> [233]. Šis apjoms ir norādīts kļūdaini. Tā kā daļu celmu ir jāatstāt mežā augsnes bagātināšanai, tad var pieņemt, ka bioeļļas ražošanai ir pieejami 3 milj. m<sup>3</sup> celmu koksnes. Kopumā pieejamais koksnes resurss bioeļļas ražošanai ir aptuveni 3,75 milj. m<sup>3</sup>.

Pieņemtais bioeļļas ražotnes izmērs šajā pētījumā ir ar ražošanas jaudu 30 000 t<sub>bioeļļas</sub>/gadā. Koksnes patēriņš bioeļļas ieguvei ir 1,43 t<sub>koksnes</sub>/t<sub>bioeļļas</sub>. No vienas tonnas jaukta tipa koksnes iespējams iegūt 0,7 tonnas bioeļļas. Lai nodrošinātu pieņemto jaudu, veikts aprēķins, lai iegūtu nepieciešamo koksnes apjomu. Aprēķinam izmantota tā pati formula, kas 6.8.1. apakšnodaļā.

$$A_k = \frac{30\,000}{0,7} \approx 42\,857 \text{ tonnas koksnes gadā.} \quad (6.4.)$$

Pārrēķina koeficients no tonnām koksnes uz cieškubikmetriem koksnes ir 0,7 t/cieš. m<sup>3</sup>. Tātad nepieciešamais koksnes apjoms bioeļļas ražošanai ir 42 857 tonnas jeb 61 224 cieš. m<sup>3</sup> gadā. Tā kā LVM vidēji gadā var nodrošināt 0,75 milj. m<sup>3</sup> lapu koku sugu koksnes, tad nepieciešamais resursa apjoms bioeļļas ražošanai ir brīvi pieejams.

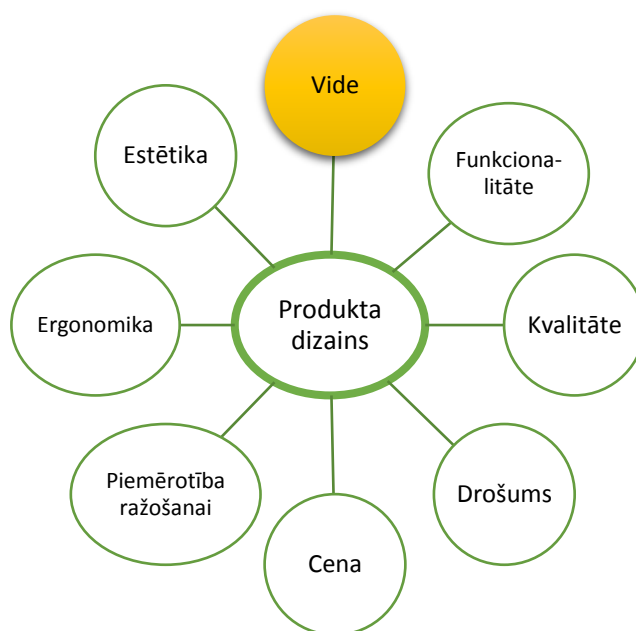
## 7. Ekodizaina analīze

### 7.1. Ekodizaina būtība un principi

Stabilu ražošanas procesu īstenošanā ir izveidojusies sava veida rutīna. Ierastie procesi, kuru ietekme uz vidi nav izvērtēta, un apmierinoša produkta kvalitāte ir šķērslis ceļā uz uzlabojumiem, tomēr tirgus pieprasījums, valstu un starptautisko organizāciju politika nosaka “zaļāku” produktu ražošanu uzņēmumos [264].

Ekodizains ir sistemātiska metode, lai, projektējot produktus un pakalpojumus, tiktu ņemtas vērā vides prasības. Ekodizaina nolūks ir izstrādāt preces un pakalpojumus, kas veicinātu ilgtspējību, samazinot produktu ietekmi uz vidi visā to aprites cikla laikā. Ekodizains ierindo vides prasības starp tādām produktiem izvirzītajām prasībām kā funkcionalitāte, kvalitāte, drošums, cena, piemērotība ražošanai, ergonomiskums un estētiskums [265].

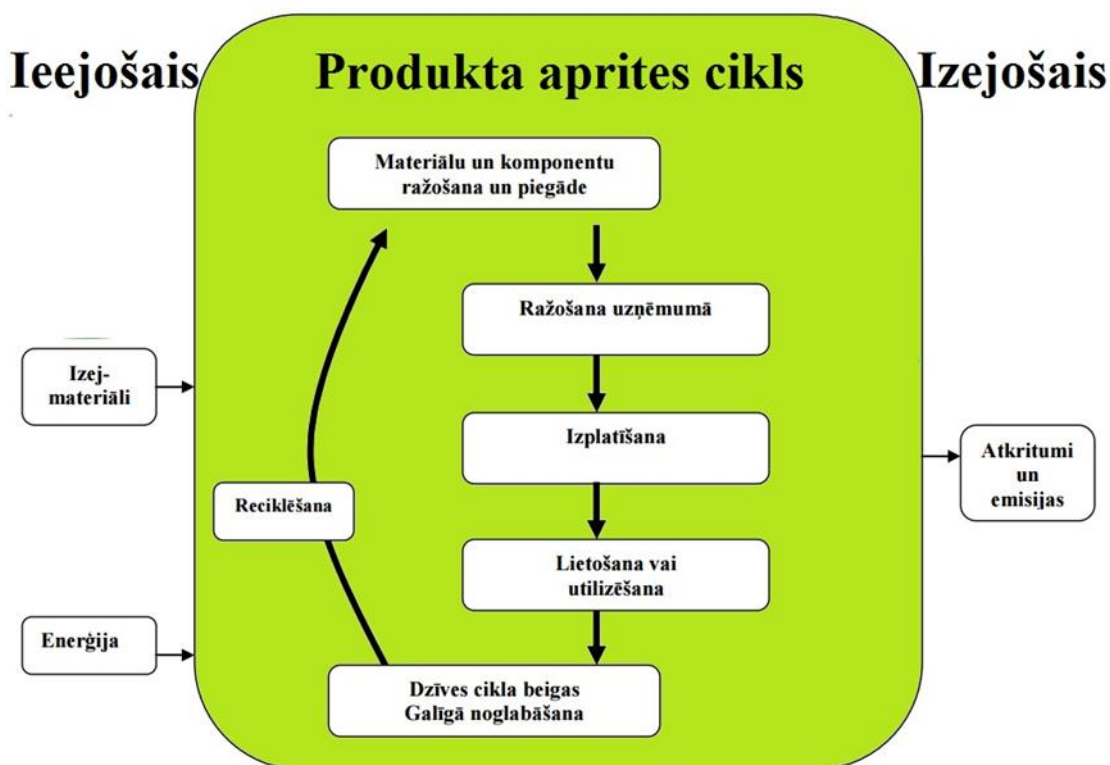
Ekodizains ir produktu un pakalpojumu izstrādes pieeja, kurā, izvērtējot izstrādājamā produkta vai pakalpojuma iespējamo ietekmi uz vidi, tiek radīts pret vidi vairsaudzīgākais produkts vai pakalpojums. Ekodizains nozīmē izpratni un atbildības uzņemšanos par produkta vai pakalpojuma ietekmi uz apkārtējo vidi visa dzīves cikla garumā – tālād apziņas veicināšanu par to, kādu pasauli būvējam sev un nākamajām paaudzēm. Produkta dizainu ietekmējošie faktori parādīti 7.1. attēlā.



7.1. attēls. Produkta dizainu ietekmējošie faktori.

Tā kā ekodizainā vērā ir jāņem viss produkta aprites jeb dzīves cikls, tad jauna produkta izstrādē būtu jāpiedalās pārstāvjiem no visiem uzņēmuma līmeņiem. Šādā veidā būtu iespējams pilnīgāk paredzēt produkta (iespējamo) ietekmi uz vidi. Pēc ekodizaina principiem izstrādātam produktam ir raksturīgs “no šūpuļa līdz šūpulim” dzīves cikls. Atdarinot dabiskos dzīves ciklus, ekodizains ir fundamentāls koncepts cirkulārās ekonomikas sasniegšanai. Vides aspekti, kas jāizvērtē katrā dzīves cikla posmā, ir resursu patēriņš (enerģija, materiāli, ūdens un izmantotās zemes platība); emisijas gaisā, ūdenī un zemē; dažādi citi aspekti (troksnis; vibrācijas). Atkritumi ir tikai starpposms, un galīgās emisijas vidē (no poligoniem) tiek

iekļautas emisiju inventarizācijā. Visi palīgmateriāli, materiāli un citas daļas, kas izmantotas dažādos dzīves cikla posmos, tiek uzskaitītas, un visi netiešie vides aspekti tiek sasaistīti ar ražošanu.



7.2. attēls. Produkta aprites jeb dzīves cikls.

Ekodizaina pamatā ir produkta aprites jeb dzīves cikla analīzes koncepcija. Produkta aprites jeb dzīves cikls sākas ar resursu ieguvu dabā, tad seko materiālu sagatavošana, produkta ražošana, iepakojšana un transportēšana, pēc tam lietošana, kura beidzas, kad produkts ir nolietots vai vairs nav vajadzīgs (parādīts 7.2. attēlā). Analizējot aprites ciklu, jāpūlējās, lai:

- tiktu iekļauti visi materiāli;
- tiktu ņemtas vērā visas produkta vides un ekonomiskās īpašības;
- tiktu aplūkota starpproduktu vides ietekme;
- uzmanība jāpievērš arī sistēmai, kurā produkts iekļausies;
- ietekme uz vidi netiktu pārbīdīta no vienas aprites jeb dzīves cikla fāzes uz citu, vai no vienas sfēras uz citu.

## 7.2. Ekodizaina vēsturiskais konteksts

Dzīves cikla analīze ir metodoloģija, ar kuras palīdzību kvantitatīvi tiek analizēti produktu vai pakalpojumu dzīves cikli to ietekmes uz vidi kontekstā. Dzīves cikla analīze var būt nozīmīgs ekodizaina instruments (lai noteiktu ekodizaina uzdevumus), bet ekodizains ir jāuztver plašāk – kā dzīves cikla analīze. Pirmie pētījumi, kur aplūkoti produktu un materiālu dzīves cikla aspekti, ir veikti pagājušā gadsimta sešdesmitajos un septiņdesmitajos gados un fokusējās uz energoefektivitāti, ražošanas materiālu patēriņu un nedaudz arī uz atkritumu pārstrādi [266].

1972. gadā Lielbritānijā *Ian Boustead* aprēķināja enerģijas patēriņus dzērienu iepakojumu ražošanai, ietverot stiklu, plastmasu, alumīniju un metālu. Turpmākajos gados *Ian Boustead*

konsolidēja viņa izstrādāto metodoloģiju, piemērojot to dažādiem materiāliem. 1979. gadā tika publicēta Industriālās enerģijas rokasgrāmata. Sākumā enerģijas patēriņam tika piešķirta augstāka prioritāte nekā atkritumiem un pašai produkcijai, ko iespējams saistīt ar naftas krīzi septiņdesmitajos gados. Taču interese par dzīves cikla analīzi sāka palielināties no astoņdesmito gadu vidus, aptverot plašāku industriju diapazonu, dizaina iestādes un tirgotājus.

Deviņdesmitajos gados dzīves cikla analīzes metodoloģijas lietojums piedzīvoja lielas izmaiņas. Sākumā metodoloģija tika radīta, lai salīdzinātu skaidri definētas galaproduktu alternatīvas, piemēram, dažādus piena produktu iepakojumus, tad deviņdesmitajos gados to strauji sāka lietot augstākos stratēģiskos līmeņos – uzņēmumu un korporatīvā līmeņa politikas izstrādē. Patlaban dzīves cikla analīze tiek izmantota plašam produktu un pakalpojumu spektram – no ekomarkējumiem līdz produktu projektēšanai un izstrādei, kā arī energosistēmās, pārtikas ražošanā un loģistikā.

Starptautiskā līmenī standartizācijas process ir vainagojies ar ISO standartiem (14040 *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*; 14044 *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*; ISO 14006 – *Guidelines for incorporating ecodesign*) un darba grupu izveidi zinātnieku aprindās, un Apvienoto Nāciju Organizācijas vides programmās (UNEP). Tajā pašā laikā valstu, universitāšu, dažādu pētniecības centru un konsultāciju uzņēmumu aktivitātes ir vēl vairāk attīstījušas dzīves cikla analīzes metodes un procedūras.

### 7.3. Ekodizaina nozīmība tagad un nākotnes vīzija

Klimata pārmaiņas izraisa arvien lielāku rezonansi sabiedrībā. Eiropas Savienības politika, lieli forumi, kā Parīzes Klimata konference, ar likumdošanas palīdzību norāda virzienu valstu politikām un tādējādi arī visiem produktu un pakalpojumu ražotājiem [267]. Pieaug zinātnisko publikāciju skaits, kurās tiek pētīta ekodizaina koncepcijas ieviešana reālajā dzīvē dažādos tautsaimniecības sektoros. *Erin F. MacDonald* un *Jinjuan She* publikācijā “Septiņi koncepti veiksmīgam ekodizainam” (2015) uzsver pieaugošo sabiedrības atbildību par savu ietekmi uz vidi, kas stimulē pieprasījumu pēc produktiem, kas izstrādāti, balstoties uz ekodizaina principiem [267]. *Pauline Deutz*, *Michael McGuire* un *Gareth Neighbour* publikācijā “Ekodizaina prakse strukturētas produktu projektēšanas kontekstā: empīrisks Lielbritānijas ražotāju pētījums” (2013) kritiski norāda uz daudzu ražotāju vides ietekmju neiekļaušanu produktu izstrādē, tādējādi akcentējot normatīvo prasību lielo nozīmību ekodizaina integrācijā uzņēmumos [268]. *Maria Calero Pastor*, *Fabrice Mathieux* un *Daniel Brissaud* publikācijā “Eiropas vides politikas ietekme produktu projektēšanā – pašreizējā situācija un nākotne” (2014) raksta, ka produkta izstrādes stadijā ir iespējams ievērojami samazināt vides ietekmi produkta dzīves cikla laikā, norādot, ka ES politika ir vērsta uz ekodizaina prasību nostiprināšanu, tāpēc ieguvēji būs tie ražotāji, kas brīvprātīgi tieksies uzņemties atbildību par savu produktu ietekmi uz apkārtējo vidi [269].

Pozitīvu ietekmi uz vidi atstāj arī valstiskā līmenī neorganizēti pasākumi – arvien populārāks kļūst veģetārisms; sociālās platformas kā *Facebook*, *Craigslist* palīdz cilvēkiem neizmest savas saplīsušās vai nevajadzīgās lietas, jo domubiedru grupās ir iespējams saņemt padomus par dažādu produktu salabošanas iespējām, kā arī atrast nevajadzīgajām lietām jaunus

īpašniekus, tāpat populāra kļūst kolektīvā lietošana lietām, kuras izmantojamas ne pārāk bieži, piemēram, automašīnas un veļasmašīnas. Piemēram, jau deviņdesmito gadu sākumā *Nissan* lika piegādātājiem pašiem uzņemties atbildību par to iepakojumu radītajiem atkritumiem. 1996. gadā jau pāri par 97 % no 9750 produkta daļu lielā klāsta uzņēmuma ražotnēs tika saņemtas atkārtoti lietojamās konteineros. Tas ne tikai ietaupīja *Nissan* un tā piegādātāju naudu, bet arī pilnībā novērsa atkritumus tā vietā, lai tos novirzītu pārstrādei. Arī mēbeļu ražotāju *IKEA* var minēt kā piemēru ekodizaina koncepcijas ieviešanā. Viņu principi ir: izmantot koksni no atbildīgi apsaimniekotiem mežiem, samazināt svaru un ekonomēt izejmateriālus, pārdomāt iepakojuma risinājumus [270]. Tas viss liek saprast, ka ieguvēji būs tie, kas pārdomāti savā biznesā integrē ekodizaina stratēģiju:

- izvēloties videi draudzīgākas izejvielas;
- samazinot materiālus;
- uzlabojot ražošanas tehnoloģijas;
- padarot efektīvāku izplatīšanu un transportu;
- samazinot ietekmi uz vidi produkta lietošanas laikā;
- pagarinot produkta mūžu;
- optimizējot produkta dzīves cikla beigu posmu;
- izstrādājot jaunas koncepciju.

Ekodizaina un dzīves cikla analīzes kontekstā jāpiemin biotehonomikas jēdziens. Biotehonomika nozīmē vietējo bioresursu ilgtspējīgu pārveidi, lai ražotu enerģiju, pārtikas, medicīnas un rūpniecības produktus. Latvija ir bagāta ar bioresursiem, taču pagaidām Latvija importē fosilos resursus un eksportē bioresursus ar zemu pievienoto vērtību. Biotehonomikas izpratne paver iespējas efektīvi izmantot bezatlikumu tehnoloģisko ciklu, neradot draudus videi un mazinot ietekmi uz klimata pārmaiņām [1].

#### **7.4. Ietekmes uz vidi modelēšana ar programmu ECO-it**

Ekodizaina analīzes veikšanai pastāv vairākas metodes un uz tām balstītas datorprogrammas, kas ļauj noteikt, kuri dzīves cikla posmi un faktori rada vislielāko ietekmi uz vidi. Viena no datorprogrammām ir ECO-it ekodizaina analīzes programma. Šī programma radīta, lai tās lietotājs varētu ātri iegūt novērtējumu par kāda produkta dzīves ciklā radīto ietekmi uz vidi, ja ir pieejami dati par produkta ražošanai izmantotajiem resursiem un notiekošajiem procesiem, kā arī dati par produkta lietošanu un utilizāciju. Programmas lietotājs materiālu un procesu saraksta logā atrod savam produktam nepieciešamos materiālus un procesus un definē to kvantitatīvos rādītājus (piem., daudzumu, attālumu u. tml.) uz analizējamo produkta vienību. ECO-it aprēķina slodzi uz vidi un parāda, kuri materiāli, procesi un produkta dzīves cikla posmi atstāj vislielāko ietekmi uz vidi. ECO-it programmā ir vairāk nekā 500 materiālu un procesu ietekmes uz vidi un oglekļa pēdas nospieduma rezultāti plaši izmantotiem materiāliem (metāliem, plastmasām, papīriem, kartoniem un stikliem), kā arī ražošanas procesiem, transportēšanai, enerģijas ražošanai un dzīves cikla beigu jeb utilizācijas procesiem.

ECO-it programma izstrādāta dizaineriem un konstruktoriem, kuri vēlas uzlabot to radīto produktu ietekmes uz vidi rādītājus. ECO-it programma izstrādāta, pamatojoties uz ReCiPe ietekmes uz vidi raksturošanas metodoloģiju. ReCiPe ir dzīves cikla analīzes modelis, kuru

izstrādājušas RIVM un *Radboud* Universitāte, CML un PRe konsultanti. ECO-it katrs indikators raksturo kāda materiāla vai procesa radīto kaitējumu videi. Jo lielāka ir indikatora vērtība, jo kaitīgāka ir ietekme uz vidi. ReCiPe metodoloģija ir viduspunktu un galapunktu ietekmes uz vidi novērtējums, un galapunktu ietekmes rezultāti attēloti kā punkti (Pt) [271]. Pt raksturo ietekmi uz vidi ar apsvērumu, ka 1 Pt aptuveni atbilst 1/1000 daļai no vidējās viena Eiropas iedzīvotāja gada laikā radītās ietekmes uz vidi. Viduspunktos tiek iegūti konkrēti indikatori, taču savstarpēji tos ir grūti salīdzināt (klimata pārmaiņas; ozona slāņa noārdīšanās; skābju ietekme uz vidi; saldūdens eutrofikācija; jūras ūdens eutrofikācija; toksiskums cilvēkiem; fotoķīmisko oksidantu ģenēze; aerosolu formācija; vides ekotoksiskums; saldūdens ekotoksiskums; jūras ūdens ekotoksiskums; jonizējošā gradācija; lauksaimniecības zemes; pilsētas zemes; dabas teritoriju pārveidošana; ūdens krājumu samazinājums; minerālvielu krājumu samazinājums; fosilo kurināmo krājumu samazinājums), bet galapunktos tiek iegūti savstarpēji viegli salīdzināmi indikatori (ietekme uz cilvēku veselību; nodarītais kaitējums videi; nodarītais kaitējums resursiem) jeb t. s. ekoindikatori Pt. Rezultāti tiek attēloti arī ar CO<sub>2</sub> ekvivalentu, kas parāda ar materiāla vai procesa vienības radīto siltumnīcefekta gāzu emisiju apjomu. Tomēr programmas piedāvātie indikatori vērtējami relatīvi, jo reālā situācija dzīvē ir dinamiska – tehnoloģijas un vide mainās.

Ekodizaina analīze programmā ECO-IT sastāv no vairākiem posmiem.

- 1) Dzīves cikla posmā aplūko pētāmā produkta dzīves ciklu: šajā (sākuma) posmā lietotājs var ievadīt aprakstošu informāciju par savu produktu. Vēlāk, kad visa informācija ir ievadīta, sākuma posma logā var atrast arī ražošanas, lietošanas un dzīves cikla beigu posmu rezultātus.
- 2) Ražošanas posmā no pieejamajām procesu un produktu izvēlnēm tiek izvēlēti produkta materiāli, definēti produkta ražošanas procesu posmi, procesu nodrošināšanai nepieciešamās enerģijas avoti un transports. Tiek ievadīti visu izvēlēto procesu un materiālu daudzumi.
- 3) Lietošanas posmā tiek aplūkota produkta dzīve pie tā lietotāja. Jāievada enerģijas apjomi, kādi nepieciešami produktu lietošanai. Ir iespējama papildu dzīves cikla pievienošanas iespēja, kas ļauj sasaistīt esošo vai aprakstāmo produktu ar iepriekš definētu produktu, kā, piemēram, iepakojums.
- 4) Dzīves cikla beigu posmā aplūko produkta vai tā daļu un materiālu utilizācijas scenārijus pēc lietojuma cikla beigām.

Kad programmas logos (posmos) ir ievadīta visa informācija par produktu, tiek parādīta produkta ietekme uz vidi. Tad ir iespējams izvērtēt produkta dizaina un dzīves cikla kritiskās vietas. Jāpiezīmē, ka ar ECO-it programmu ir iespējams aplūkot arī ietekmi uz vidi atsevišķos dzīves cikla posmos.

## **7.5. Apsvērumi, ar programmu ECO-it modelējot izvēlētos produktus**

Analizējot produktus, tika apskatīta ietekme uz vidi tikai produktu ražošanas posmā, jo izvēlētie produkti ksilāna atvasinājumi, bioeļļa un liocela tekstila šķiedra nav galaprodukti. Tās ir izejvielas ar plašām izmantošanas iespējām dažādu produktu ražošanai.

Lai izvēlēto produktu ražošanas ietekme uz vidi būtu salīdzināma, visiem produktiem tika izvēlēti viena veida transporta, elektroenerģijas un siltumenerģijas avoti. To apjomi atšķirās

atkarībā no izvēlēta produkta vienības ražošanai nepieciešamās siltumenerģijas un elektroenerģijas daudzuma un transportējamā izejmateriālu apjoma:

- transports (krava >32 t), tkm – CO<sub>2</sub> ekv. 0.117 kg, mPt 14;
- elektroenerģija (neatjaunojamie enerģijas avoti), kWh – CO<sub>2</sub> ekv 0.594 kg, mPt 59.9;
- siltumenerģija (koka pagales), MJ – CO<sub>2</sub> ekv 0.006 kg, mPt 3.61.

Kā programmas ECO-it trūkums jāmin tas, ka koģenerācija netiek piedāvāta kā enerģijas avots, kaut tā ir videi draudzīgāks risinājums. Tāpēc griešanas, smalcināšanas, centrifugēšanas, filtrācijas un citos procesos, kuros nepieciešama elektrība, kā elektrības avots visiem produktiem tika izvēlēts ECO-it piedāvātais fosilais elektroenerģijas avots.

Latvijā koksnes kravu pārvadājumos smago mašīnu kravu masa pārsniedz 32 tonnas [272] tāpēc transportam tika izvēlētas kravas automašīnas ar kravnesību >32 tonnām, pieņemot koksnes transportēšanas vidējo attālumu 50 km.

Vidējais mitruma saturs svaigi cirstai koksnei tiek pieņemts 50 %. Sausas lapu koku šķeldas blīvums programmā ECO-it ir 239 kg/m<sup>3</sup>, un zemākais sadegšanas siltums ir 4,048 MJ/m<sup>3</sup>.

Patērētās enerģijas daudzums ražošanas procesiem, kuriem nebija iespējams atrast konkrētus skaitļus, ir pieņemts, izvērtējot līdzīgos procesos izmantojamo iekārtu tehnisko informāciju.

## 7.6. Ksilāna ekstrakcijas modelēšana ar programmu ECO-it

Ksilāns ir hemicelulozes daļa, kas atrodama augu šūnu sienās. Ksilāni ir polisaharīdi. Lapu koku koksne ksilāna saturs var būt 10–35 % no hemicelulozes. Ksilānam kā atjaunojamajam biopolimēram ir liels potenciāls dažādu produktu ražošanā. Tradicionāli ksilāns tiek ekstrahēts hidrolīzē. Šis process ietver ilgstošu sildīšanu augstā temperatūrā (un spiedienā), kas bojā ksilāna molekulas, tādējādi ierobežojot tā potenciālās izmantošanas iespējas [273].

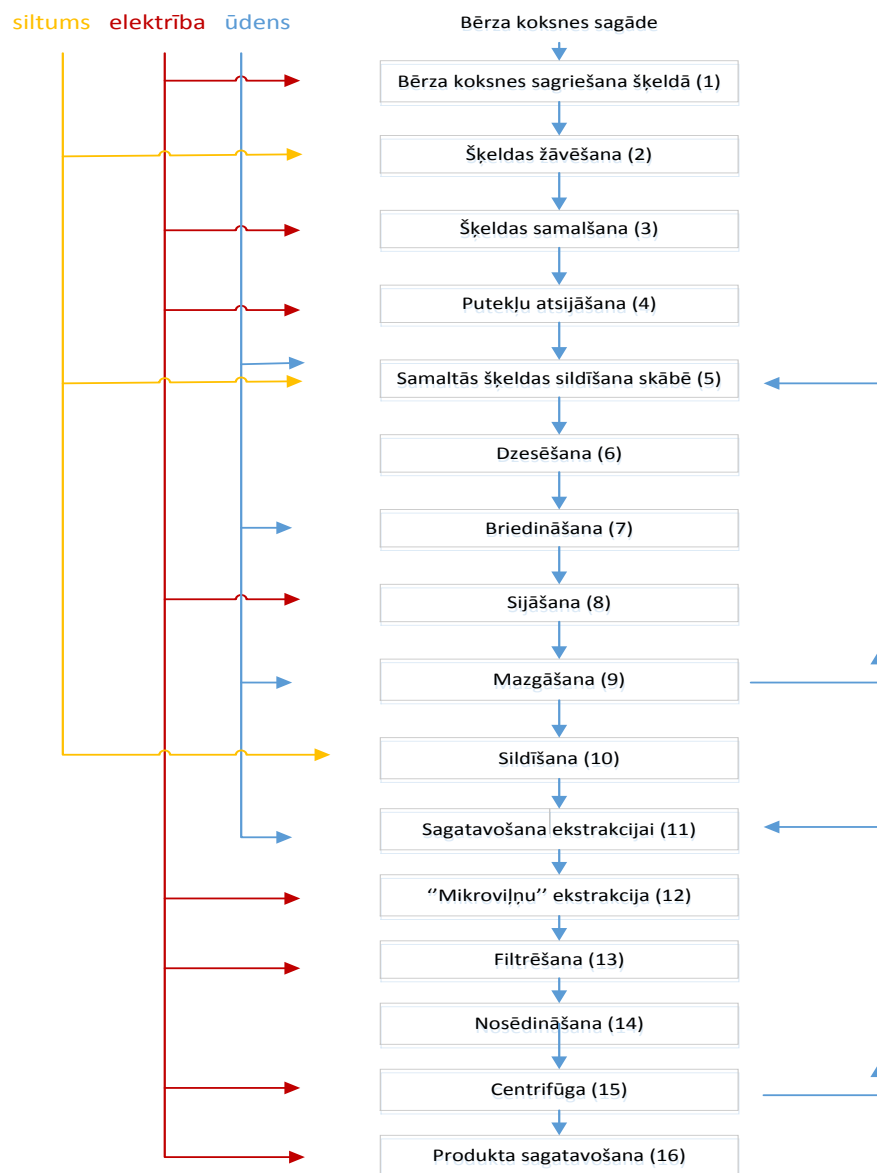
*F. S. Panthapulakkal* doktora tēzēs “Mikroviļņu izmantošana ksilāna ekstrakcijā” aprakstīta ksilāna iegūšanas tehnoloģija, ar kuru iespējams iegūt kvalitatīvāku ksilānu (mazāki molekulu bojājumi) nekā ar konvencionālo ksilāna iegūšanas metodi (hidrolīze). Šī inovatīvā ksilāna iegūšanas tehnoloģija tiek apskatīta ekodizaina analīzē.

“Mikroviļņu” ksilāna iegūšanas tehnoloģija (7.3. attēls), lai iegūtu vienu tonnu ksilāna :

1. 8 tonnas koksnes (mitrums līdz 50 %) šķeldo, elektroenerģija – 60 kWh [274];
2. šķeldu žāvē 40 °C piecas dienas (120 h), sasniedzot teorētiski nepieciešamo svaru tonnas produkta ieguvei, nepieciešamās siltumenerģijas daudzums ir 3000 kWh [275] (izmanto koksnes kurināmo);
3. šķeldu sasmalcina 2 mm lielās daļiņās, nepieciešamā elektroenerģija – 140 kWh;
4. atsijā putekļus (0,42 mm siets), kam nepieciešams 20 kWh elektroenerģijas;
5. sasmalcināto biomasu apstrādā 0,05 M sāļsskābē (graudi 1 g – skābe 10 ml), 70 °C, 2 h (1,82 gr vienā litrā ūdens, uz tonnu produkta vajag 97 kg; nav zināms, vai var lietot atkārtoti);
6. dzesē (ilgums un temperatūra nav norādīti);



7. sasmalcināto biomasu piesūcina ar 14 M amonija hidroksīdu; nav zināms amonija hidroksīda patēriņš; tiek izdarīts pieņēmums, ka iespējams atgūt amoniju hidroksīdu, tomēr zudumā ir 100 kg katrā reizē;
8. sijā (20 kWh);
9. mazgā ar ūdeni, līdz pH ir neitrāls;
10. sasmalcināto biomasu žāvē 40 °C 72–96 h (nepieciešams 1500 kWh siltumenerģijas);
11. sasmalcināto biomasu piesūcina ar nātrija hidroksīda šķīdumu 8 %, (1:8); uz tonnu produkta zudums ir 341 kg;
12. "mikroviļņu" ekstrakcija, ilgums ir 25 minūtes (elektroenerģijas patēriņš nav zināms, pieņemts 1000 kWh);
13. filtrē;
14. izgulsnē (nosēdina);
15. centrifugē (20 kWh);
16. produktu sagatavo klientam.



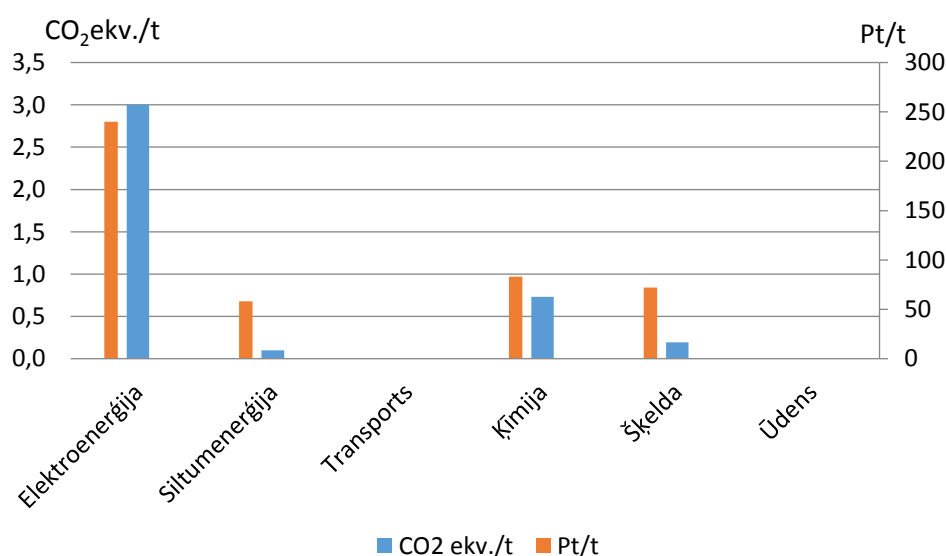
7.3. attēls. Ksilāna ražošanas tehnoloģiskā shēma.

Pieņem, ka ūdeni (9) un ekstrakcijas šķīdumu (11–14) ir iespējams izmantot atkārtoti. Ekstrakcijas laikā šķīduma zudums ir 10 %. Koksnes blakusproduktu, kas veidojas filtrācijā (13), ir iespējams izmantot kurināšanai vai citu produktu ražošanai. Uz tonnu produkta tās būtu vairāk nekā 4 tonnas koksnes blakusprodukta.

Pieejamā informācija un pieņēmumi aprakstītajai ksilāna ražošanas tehnoloģijai:

- tonnas ksilāna iegūšanai neatgriezeniski tiek izlietoti aptuveni 10 % jeb 341 kg 8 % NaOH šķīduma;
- tiek pieņemts, ka citas ražošanas procesos izmantotās ķīmikālijas arī var izmantot atkārtoti, jo dati par zudumiem un attīrīšanas tehnoloģijām netika atrasti;
- publikācijā elektroenerģijas patēriņš mikroviļņu ekstrakcijai nav norādīts;
- iekļaujot citu ražošanas palīgprocesu nodrošināšanai nepieciešamo elektroenerģijas apjomu, tika pieņemts, ka kopējais elektroenerģijas apjoms uz tonnu produkta ir 8 MWh.

7.4. attēlā redzami ar ECO-it novērtētā 1 t ksilāna ražošanas ietekme uz vidi CO<sub>2</sub> ekvivalentu tonnās un Pt. Kopējā ietekme uz vidi CO<sub>2</sub> ekv. ir 4,03 t CO<sub>2</sub>ekv. uz 1 tonnu produkta. Ķīmikāliju radītā ietekme ir 0,729 t CO<sub>2</sub> ekv./t, un elektroenerģijas – 3 t CO<sub>2</sub> ekv./t. Ieteicams meklēt tehnoloģijas, kurās izmantotais ķīmikāliju apjoms ir mazāks un kuras iespējams izmantot atkārtoti. Šķeldas sagatavošanas un siltumenerģijas izmantošanas radītā ietekme uz vidi ir mazāka, bet transporta un ūdens lietošanas radītā ietekme ir salīdzinoši niecīga (sk. 7.4. attēlu).



7.4. attēls. Ksilāna ražošanas ietekme uz vidi.

Kopējā ietekme uz vidi ekoindikatoru punktu novērtējumā ir 453 Pt/t, un vislielāko ietekmi uz vidi rada elektroenerģija. Ķīmikālijas 83 Pt/t un šķeldas sagatavošana 72 Pt/t. Ksilāna iegūšanai jāpatērē liels siltumenerģijas daudzums (aptuveni 4.5 MWh) un ievērojams apjoms elektroenerģijas (aptuveni 8 MWh). Produkta ražošanas ietekmi uz vidi nosaka enerģijas avotu, ražošanas tehnoloģiju un materiālu izvēle.

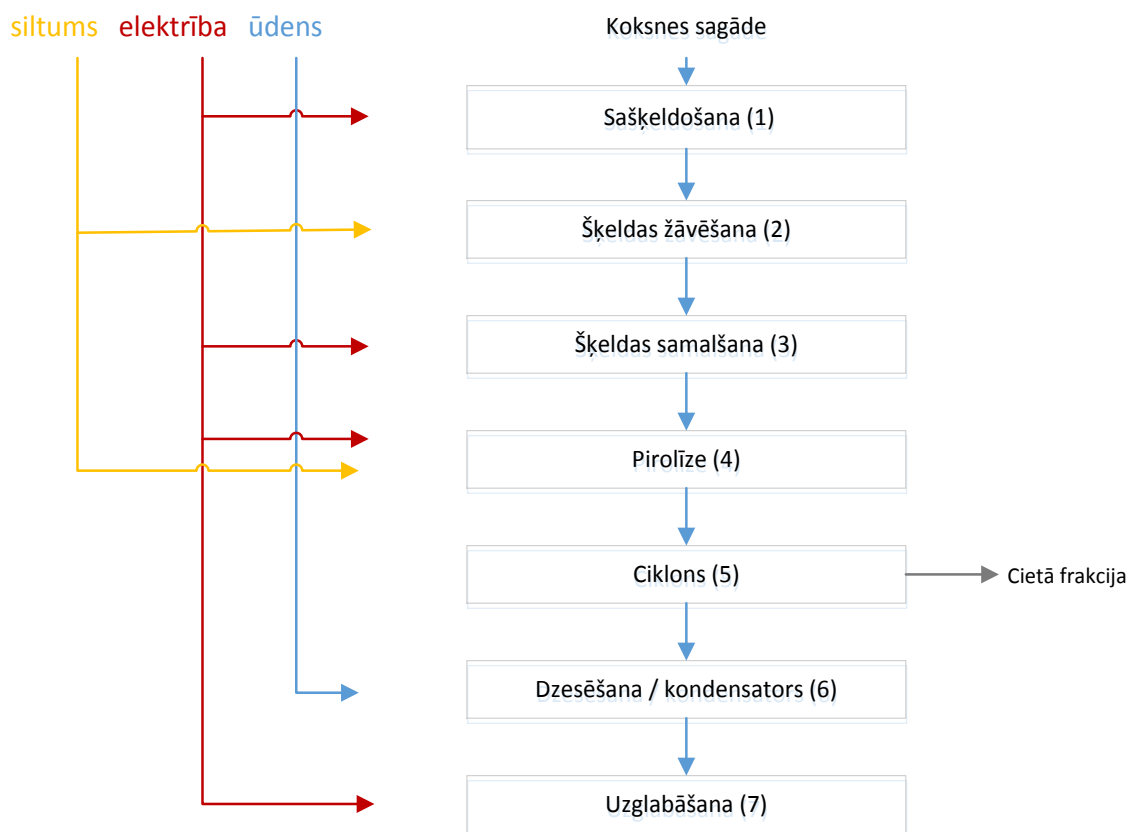
## 7.7. Bioeļļas izstrādes modelēšana ar programmu ECO-it

Bioeļļa ir tumši brūns organisks šķidrums, kuru var iegūt pirolīzes ceļā. Pirolīze ir biomasas termiskās sadalīšanas process, kas notiek augstā temperatūrā ( $> 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) un bezskābekļa vidē. Pēdējo 30 gadu laikā ir notikuši intensīvi pētījumi par pirolīzes izmantošanu bioeļļas ieguvē. Šī procesa priekšrocība ir iespēja izmantot dažāda veida izejvielas – sākot no mežizstrādes atlikumiem un pārpalikumiem no tehnoloģiskajiem procesiem, beidzot ar papīrmalku un augstvērtīgo koksni. Bioeļļa sastāv no simtiem organisko savienojumu, tostarp dažādiem alkāniem, aromātiskajiem ogļūdeņražiem, fenolu atvasinājumiem, kā arī nelieliem ketonu, esteru, ēteru, amīnu, cukuru un alkoholu daudzumiem [276].

Bioeļļas izstrādes apjoms atkarīgs no pirolīzes parametriem, kā arī no ievadītās biomasas veida, un var sasniegt pat līdz 75 % no izejvielas daudzuma. Biomasu pirms ievadīšanas pirolīzes reaktorā ir jāžāvē un jāsmalcina. Mitruma saturs nedrīkst būt augstāks par 10 %, lai novērstu pārliedzi augstu ūdens koncentrāciju galaproduktā [276]. Lai iegūtu 1 tonnu bioeļļas nepieciešamas aptuveni 1,45 tonnas biomasas ar mitruma saturu 10 % vai 2,61 tonna biomasas ar mitruma saturu 50 %, kas pieņemts kā vidējais mitruma saturs svaigi cirstai koksnei. Līdz ar to nepieciešamās izejvielas apjoms varētu būt aptuveni 9,5 ber.m<sup>3</sup> šķeldas.

Aprakstīta bioeļļas iegūšanas tehnoloģija (7.5. attēls), lai iegūtu vienu tonnu bioeļļas :

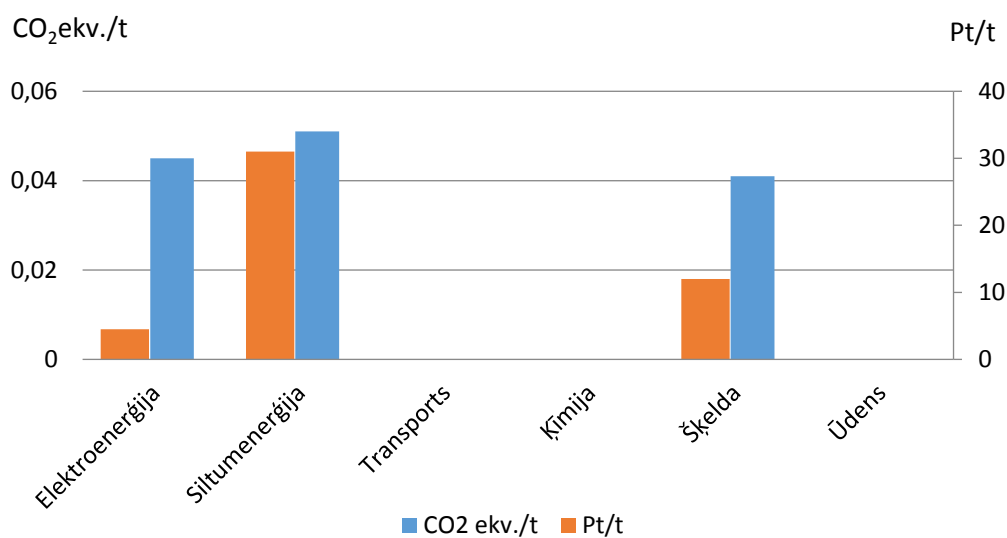
1. piegādātā izejviela tiek sašķeldota (vai piegādāta šķeldas veidā) un uzglabāta, lai dabiskā ceļā samazinātu mitruma saturu līdz 30–35 %;
2. šķelda tiek žāvēta līdz mitruma saturam 10 %, aplēstais nepieciešamās siltumenerģijas daudzums ir 1750 kWh [275] (izmanto koksnes kurināmā siltumenerģiju);
3. šķeldu sasmalcina 2 mm graudos; nepieciešamā elektroenerģija ir 65 kWh;
4. sasmalcinātā šķelda tiek padota uz pirolīzes reaktoru; reaktora sildīšanai patērētais siltumenerģijas apjoms ir 600 kWh [277];
5. pēc pirolīzes reaktora starpprodukts tiek padots uz ciklonu, kurā tiek atdalīta cietā frakcija, kas tiek padota tālāk uz kurtuvi (bioogles);
6. gāzes tiek padotas uz kondensatoru, kur tiek atdzesētas kondensējamās gāzes, un iegūta bioeļļa (pārējās gāzes tiek padotas uz kurtuvi);
7. bioeļļa tiek sūknēta uz uzglabāšanas tvertnēm; elektroenerģija sūkņu darbināšanai ir 10 kWh.



7.5. attēls. Bioeļļas ražošanas tehnoloģiskā shēma.

Pieejamā informācija un pieņēmumi:

- koksne ir jāizžāvē līdz 10 % mitrumam;
- iegūstamais bioeļļas apjoms ir 70 % no ievadītās izejvielas;
- vienas tonnas bioeļļas iegūšanai būtu nepieciešami 1450 kg šķeldas ar mitruma saturu 10 % vai 9,5 beramkubikmetri svaigi cirstas šķeldas;
- pirolīzes reaktoram nepieciešamais siltumenerģijas apjoms ņemts, balstoties uz literatūrā atrodamo informāciju [277].



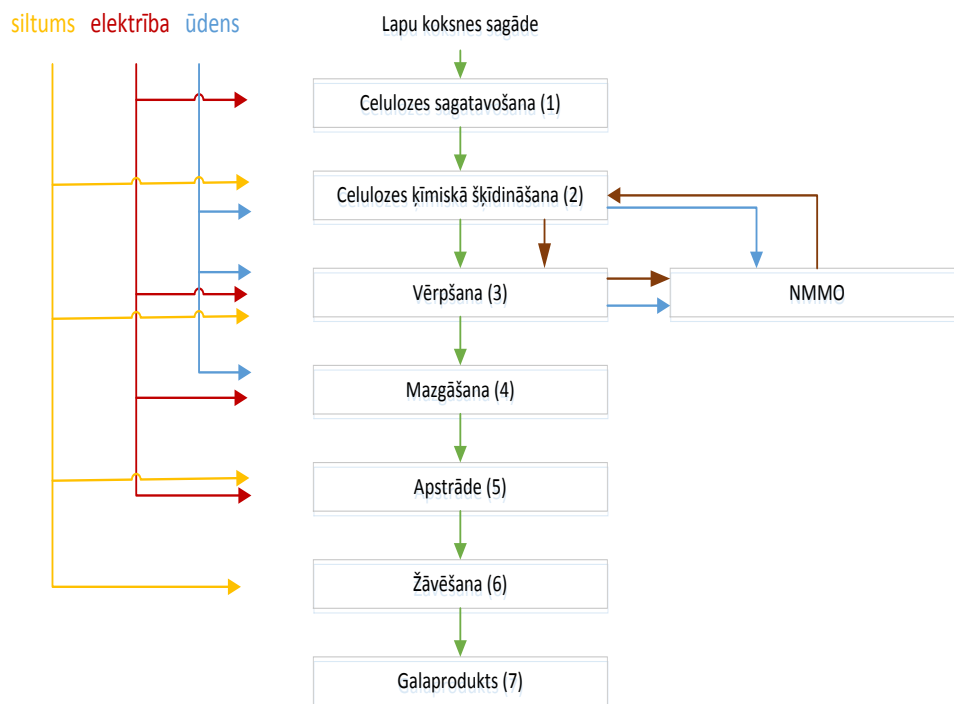
7.6. attēls. Bioeļļas ražošanas ietekme uz vidi.

7.6. attēlā redzama ar ECO-it novērtētā 1 t bioeļļas ražošanas radītā ietekme uz vidi CO<sub>2</sub> ekvivalentu tonnās un Pt. CO<sub>2</sub> ekv. kopsumma ir 0,14 t CO<sub>2</sub> ekv. uz tonnu produkta. Siltumenerģijas radītā ietekme ir 0,051 t CO<sub>2</sub> ekv./t, elektroenerģijas patēriņš – 0,045 CO<sub>2</sub> t ekv./t un šķeldas sagatavošana – 0,041 CO<sub>2</sub> ekv./t. Ķīmikāliju, transporta un ūdens radītā ietekme uz vidi ir salīdzinoši niecīga (sk. 7.6. attēlu). Vides ietekmes punktu novērtējumā kopsumma ir 48 Pt/t, vislielāko ietekmi uz vidi rada siltumenerģija (31 Pt/t) un šķeldas sagatavošana (12 Pt/t). Bioeļļas ražošanas procesa viena no priekšrocībām ir atjaunojamo resursu izmantošana, tā mazāk ietekmējot vidi. Ja skatās atsevišķi pa posmiem, tad vislielākā ietekme ir tieši žāvēšanas un smalcināšanas posmam, jo pirolīzes procesam ir jāizmanto sausa biomasa (mitruma saturs < 10 %), kas nozīmē, ka jāpatērē daudz siltumenerģijas, lai izžāvētu lieko ūdeni. Šie rezultāti atbilst situācijai, kad biomasa pirms žāvēšanas tiek kādu laiku turēta uzglabāšanas laukumā, lai tā dabīgā ceļā sasniegtu mitruma saturu 30–35 %. Pastāv iespēja šķeldu pirms tam neuzglabāt, un uzreiz ievadīt žāvētājā, bet šādā gadījumā būs nepieciešams papildu siltumenerģijas daudzums, līdz ar to arī vēl vairāk palielināsies žāvēšanas procesa ietekme uz vidi.

## 7.8. Liocela ražošanas modelēšana ar programmu ECO-IT

Liocels (*lyocell*) ir cilvēka veidota mākslīga tekstilšķiedra, kuras pamatizejviela ir koksne. Ražošanas procesā tiek izmantoti gan skujkoki, gan lapu koku tehnoloģiskā koksne un to mežizstrādes atlikumi. Šajā modelī pieņem, ka ražošanai izmanto lapu koku koksni.

Produktam – tekstilšķiedrai – salīdzinājumā ar citām celulozes šķiedrām ir daudz pozitīvo īpašību, kas ļauj konkurēt tirgū, piemēram, biosabrukšana (*biodegradable*), spēja absorbēt mitrumu un stingrību esot sausam, gan mitram [278]. Liocelu izmanto āra apģērbos, gultas pārklājos, ņemot vērā tā stiprību, to izmanto abrazīvajos materiālos, dažādos filtros, virvēs u. c. [279].

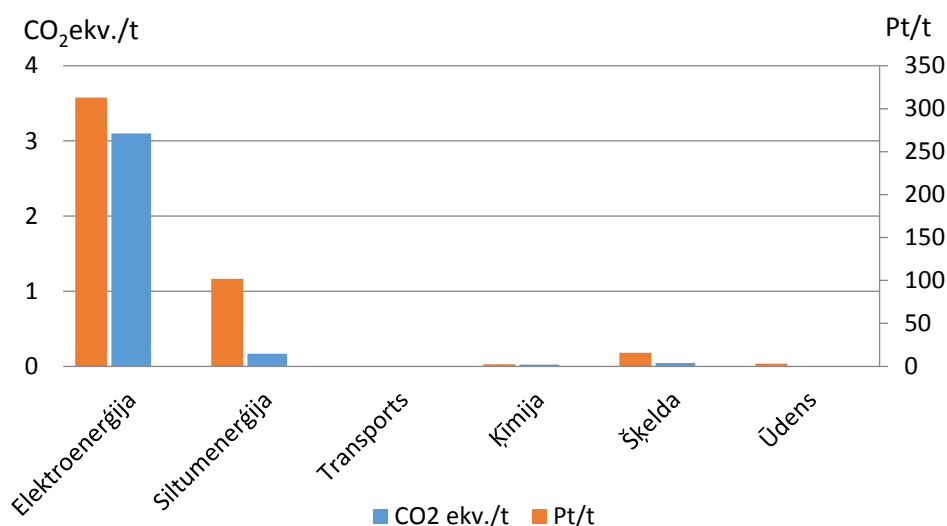


7.7. attēls. Liocela ražošanas tehnoloģiskā shēma.

Liocela šķiedras ražošanā tiek izmantots organiskas izcelsmes šķīdinātājs, kas ir pozitīvi, vērtējot ražošanas procesa ietekmi uz vidi. Šī organiskā viela ir N-metilmorfolīna M-oksīds (NMMO). Šī viela tiek izmantota pēc celulozes apstrādes jau tekstila ražošanā. Secīga produkta tehnoloģiskā shēma ir aplūkojama 7.7. attēlā.

Ražošanas process, lai saražotu 1 tonnu liocela tekstila:

1. celulozes sagatavošanai piegādātās svaigās koksnes apjoms ir 3 tonnas, ņemot vērā, ka celulozes saturs koksnē ir 50 %. Celulozes ražošanā viens no procesiem ir vārīšana, kurā koksnei pievieno magnija oksīdu un sēra oksīda šķīdumu (daudzumi nav zināmi). Nākamais process ir attiecīgās masas mazgāšana, tad balināšana, kurā tiek izmantots skābeklis 1 kg/t, ozons 2,9 kg/t un ūdeņraža pārskābe 1 kg/t. Celulozes sagatavošanas procesu noslēdz izveidojušās masas atūdeņošana;
2. celulozes ķīmiskajā šķīdināšanā tiek izmantota organiska viela N-metilmorfolīna M-oksīds (NMMO), kas ir sajaukta ar ūdeni (nepieciešamās vielas daudzums uz saražoto vienību nav dots);
3. vēršanas procesā tiek atgūts NMMO šķīdums. Tiek izmantots ūdens, siltumenerģija, un elektroenerģija;
4. mazgāšanas procesā tiek izmantots ūdens un elektroenerģija;
5. apstrādes procesā tiek izmantota siltuma enerģija un elektroenerģija;
6. žāvēšanas procesā tiek izmantota siltumenerģija;
7. ūdens patēriņš tiek norādīts uz visu procesu kopumā, kas ir 100 tonnas uz 1 tonnu produkta (daļu iespējams izmantot atkārtoti);
8. enerģijas patēriņš ir norādīts uz visu procesu kopumā, kur no kopējā patēriņa tiek pieņemts, ka 60 % ir siltumenerģijas patēriņš un 40 % elektroenerģijas patēriņš:
  - siltumenerģijas patēriņš – 7830 kWh;
  - elektroenerģijas patēriņš – 5220 kWh [279].



7.8. attēls. Liocela ražošanas tehnoloģiskā shēma.

7.8. attēlā redzami ECO-it CO<sub>2</sub> ekv./t un punktu vides ietekmes novērtējumi. CO<sub>2</sub> ekv./t. kopsumma ir 3,3 t CO<sub>2</sub> ekv. uz tonnu produkta. Elektroenerģija ir 3,1 t CO<sub>2</sub> ekv./t. Siltumenerģijas, šķeldas sagatavošanas, transporta, ķīmijas un ūdens patēriņi ir salīdzinoši

niecīgi (skatīt rezultātu attēlu). Vides ietekmes punktu novērtējumā kopsumma ir 437 Pt/t, vislielāko ietekmi uz vidi rada elektroenerģija (313 Pt/t) un siltumenerģija (102 Pt/t).

## 7.9. ECO-IT ksilāna, bioeļļas un liocela modelēšanas kopsavilkums

7.1. tabulā redzami ECO-it CO<sub>2</sub> ekvivalento tonnu salīdzinājumi modelējamajiem produktiem. Viszemāko ietekmi uz vidi rada bioeļļas ražošana. Redzams, ka ksilāna un liocela ražošana atstāj vairāk nekā 23 reizes lielāku ietekmi uz vidi nekā bioeļļas ražošana. Rezultāti parāda, ka modelētajiem produktiem ražošanas procesos dominē elektroenerģijas patēriņš, kas skaidrojams ar to, ka programmā nav iespējas izvēlēties koģenerāciju kā elektroenerģijas avotu. Tādēļ elektroenerģijas ietekme uz vidi modelī neatbilst reālajai situācijai, tomēr iespējams redzēt, kura produkta ražošanai būs nepieciešams lielāks elektroenerģijas patēriņš. Patiesie elektroenerģijas patēriņi var atšķirties arī, jo nav ražošanas procesu dati no līdzīgu produktu ražotnēm. Piemēram, ksilānam nav datu par elektroenerģijas patēriņu ar mikroviļņu ekstrakciju (tas tika pieņemts 1000 kWh) un pieejamā informācija par liocela ražošanu var neatbilst pašreizējai situācijai. Jāpiezīmē, ka CO<sub>2</sub> ekv. metode novērtē ūdens ietekmi ar nulli, tāpēc visiem produktiem tas ir nulle neatkarīgi no patērētā ūdens daudzuma.

7.1. tabula. Ksilāna, bioeļļas un liocela ražošanas CO<sub>2</sub> ekv. t. rezultātu salīdzinājums

	Ksilāns	Bioeļļa	Liocels
	CO <sub>2</sub> ekv./t	CO <sub>2</sub> ekv./t	CO <sub>2</sub> ekv./t
Elektroenerģija	3,00	0,05	3,10
Siltumenerģija	0,10	0,05	0,17
Ķīmija	0,73	0,00	0,02
Šķelda	0,19	0,04	0,04
Kopsumma	4,02	0,14	3,34

7.2. tabulā redzami ECO-it ietekmes uz vidi punktu salīdzinājumi modelējamajiem produktiem. Viszemāko ietekmi uz vidi atstāj bioeļļas ražošana. Redzams, ka produktiem dominē elektroenerģijas un siltuma patēriņu ietekmes šoreiz ir samērojamas, un augstāka ietekme uz vidi ir arī šķeldošanas procesam.

7.2. tabula. Ksilāna, bioeļļas un liocela ražošanas Pt datu salīdzinājums

	Ksilāns	Bioeļļa	Liocels
	Pt/t	Pt/t	Pt/t
Elektroenerģija	240,00	4,50	313,00
Siltumenerģija	58,00	31,00	102,00
Transports	0,20	0,00	0,00
Ķīmija	83,00	0,00	2,50
Šķelda	72,00	12,00	16,00

Ūdens	0,33	0,01	3,30
Kopsumma	453,53	47,51	436,80

Bioeļļas ražošana atstāj vismazāko ietekmi uz vidi. Paša pirolīzes reaktora ietekme ir nosacīti neliela, jo tā darbināšanai nepieciešama siltumenerģija, kuru iespējams iegūt, sadedzinot pirolīzes procesa blakusproduktus (bioogles un pirolīzes gāzi). Arī nepieciešamo elektroenerģiju iespējams saražot no atjaunojamajiem resursiem, un optimāls variants ir būvēt bioeļļas ražotni blakus koģenerācijas stacijai.

Kopumā bioeļļas ražošanas procesa ietekme uz vidi ir salīdzinoši neliela, un būtisks procesa pluss ir tas, ka atšķirībā no ekstrakcijas procesiem faktiski nav nepieciešamas nekādas papildu izejvielas, līdz ar to ievērojami tiek mazināta ietekme uz vidi.

7.3. tabula. Koksnes būvmateriālu ražošanas ietekme uz vidi, avots: ECO-it, v.1.4

Materiāls	Pt/m <sup>3</sup>	Pt/t	Blīvums, kg/m <sup>3</sup>
Orientētas kokskaidu plātnes (OSB)	48	67,6	710
Saplāksnis (iekštelplām)	123	307,5	400
Saplāksnis (mitrumizturīgs)	140	200,0	700
Vidēja blīvuma kokšķiedru plātne (MDF)	66	82,5	800
Cietas kokšķiedru plātnes	68	75,6	900
Mīksta kokšķiedru plātne	23	32,9	700

Lai varētu validēt un izvērtēt ksilāna, bioeļļas un liocela rezultātus, 7.3. tabulā parādīti ECO-it programmas datu bāzē esošie ietekmes uz vidi dati vairākiem koksnes būvmateriāliem. OSB ražošanā izmanto mazāk ķīmikāliju nekā MDF ražošanai, ko parāda arī ietekmes uz vidi rezultāti. Redzams, ka liocela, bioeļļas un ksilāna modelēšanas rezultāti ir salīdzināmi ar ECO-it datu bāzē koksnes būvmateriālu ražošanas rezultātiem.

Ražojot jebkuru produktu, produkta vienības ietekmi uz vidi iespējams samazināt, pārdomāti plānojot ražošanas procesu, ražošanas apjomu, izejmateriālus, energoapgādi, īpatnējo enerģijas patēriņu, enerģijas kartēšanu, siltumapgādi, elektroapgādi, energopārvaldību, ūdens apgādi un notekūdeņus, atkritumu apsaimniekošanu, loģistiku un vides politiku.

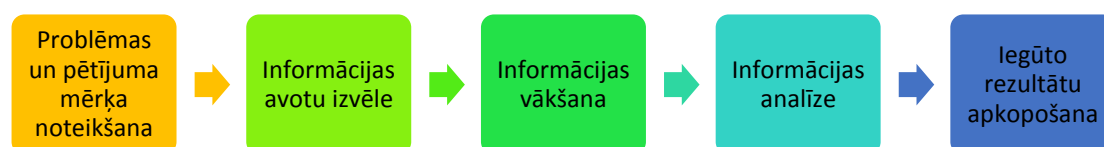


## 8. Trīs alternatīvu bioproduktu potenciālā noieta un cenas izpēte

Optimizēti mārketinga pasākumi, lai inovatīvais produkts tiktu atzīts tirgū, ir sarežģīts process, kurā apvienotas vairākas darbības. Viena no tām ir mārketinga pasākumi, lai inovatīvie produkti tiktu atzīti noteiktā tirgus segmentā [280]. Inovatīvā produkta atzīšana tirgū prasa inovatīvā produkta tirgus izpēti, lai to veiksmīgi atzītu un pieņemtu tirgū.

Lai nodrošinātu veiksmīga produkta ražošanu, svarīgs aspekts ir tirgus izpēte. Tā ir mārketinga pētījumu pamats, uz kuru balstās citu ar mārketingu saistīto pasākumu radīšana un īstenošana. Visbiežākie pētījumi ir tirgus ietilpības aprēķināšana, uzņēmuma īpatsvara noteikšana kopējā piedāvājumā, konkurentu produkciju un cenu veidošanas izpēte [281]. Šajā nodaļā tiks apskatīta tirgus noieta tirgus cenas un konkurences izpēte.

Tirgus pētījuma procesu var iedalīt šādos elementos: problēmas un pētījuma mērķa noteikšana, informācijas avotu izvēle, informācijas vākšana, informācijas analīze, iegūto rezultātu apkopošana (8.1. attēls).



8.1. attēls. Tirgus pētījuma elementi.

Katram pētāmajam produktam tiek noteikta problēma un pētījuma mērķis, tiek veikta informācijas avotu izvēle (zinātniskās publikācijas un esošu ražotņu dati un gada pārskati), tiek savākta vajadzīgā informācija un pēc tālāk aprakstītās metodikas tiek veikta analīze, pēc kuras, apkopojot rezultātus, var gūt priekšstatu par produkta tirgus noieta.

Esošo tirgu modifikācijas un pircēju piesaistīšanas metodes:

- problēmu noteikšanas metode - paredz patērētāju aptaujas vai citus paņēmienus, lai noskaidrotu produktu lietošanas problēmas, piemēram, degvielas patēriņš, tās cena vai ietekme uz klimatu un cilvēku veselību;
- ideāla atrisinājuma metode – lai noskaidrotu ideālo priekšstatu par produktu;
- patēriņa ķēdes metode – veido patērētāju darbību secību: iegādājas, lieto un likvidē produktu. Patērētāju rīcība tirgū atšķiras, jo ietekmējošie faktori ir dažādi: demogrāfiskie, ekonomiskie, sociālekonomiskie, personiskie un psiholoģiskie [282].

No patērētāju viedokļa pastāv pieci tirgus tipi:

- patēriņa tirgus – dalībnieki ir atsevišķas personas vai mājsaimniecības, kas pērk preces vai pakalpojumus, lai apmierinātu savas vajadzības;
- ražotāju tirgus – dalībnieki ir uzņēmumi, kas produktus (izejvielas) un iekārtas pērk jaunu produktu izgatavošanai;
- starpnieku tirgus – dalībnieki ir uzņēmumi, kas pērk produktus, lai tos pārdotu tālāk vai iznomātu;

- lietišķais tirgus – ražotāju un starpnieku tirgus kopā;
- valsts iestāžu tirgus – produktus pērk valsts iestādes;
- starptautiskais tirgus – patērētāji atrodas ārpus valsts robežām, un tie ir gan individuāli pircēji, gan ražotāji, gan starpnieki, gan ārvalstu iestādes [282].

Tirgus analīzē jāizdala atsevišķi tirgus segmenti, lai iegūtu nepieciešamo informāciju, pēc tam jāpēta šo objektu struktūras un iespējamā attīstības tendence. Visus analīzē izmantojamus rādītājus var iedalīt kvantitatīvajos un kvalitatīvajos rādītājos [283].

Pie kvantitatīvajiem rādītājiem pieder:

- tirgus potenciāls (skaitliskās vērtībās);
- tirgus apjoms;
- tirgus daļas, tirgus sadalījums starp ražotājiem;
- tirgus attīstība, pastāvēšana, attīstības tempi;
- cenas tirgū, cenu svārstības [283].

Pie kvalitatīvajiem rādītājiem pieder:

- konkurences struktūra un intensitāte;
- šķēršļi, kas pastāv, lai ieietu tirgū, to pārvarēšana;
- draudi no alternatīvo produktu puses;
- atkarība no izejvielām;
- nozares rentabilitātes attīstība [283].

Tirgus cenas izpētē svarīga ir konkurences apzināšana un salīdzināšana ar pētāmo produktu.

Pastāv šādi konkurences līmeņi:

- tīrā jeb pilnīgā konkurence, kad tirgū piedalās liels vienas un tās pašas preces piedāvātāju un patērētāju skaits. Šāds stāvoklis raksturīgs pārtikas tirgiem. Jauniem uzņēmumiem nav sevišķu grūtību iekļauties šādā tirgū;
- monopolistiskā konkurence, kad ir liels piedāvātāju un patērētāju skaits, un tie veic darījumus plašā cenu diapazonā. Uzņēmumi piedāvā līdzīgas, bet ne identiskas preces/produktus. Jaunajiem uzņēmumiem ir viegli ieiet šādos tirgos, bet grūti noturēties;
- oligopolistiskā konkurence, kad tirgus sastāv no neliela piedāvātāju skaita, kuri ieņem lielus tirgus segmentus, piemēram, uzņēmums aptver 90% no tirgus. Šādos tirgos ir ārkārtīgi grūti iekļauties;
- monopols, kad tirgū ir tikai viens piedāvātājs. Tā var būt valsts organizācija vai privātais monopols, kas ražo unikālu preci/produktu. Iekļūt šādā tirgū ir problemātiski [281].

Uzņēmumi var konkurēt vienā parametrā (cenu konkurence) vai vairākos parametros (preču kvalitāte, jaunievedumi u.c.) [281].

Lai veiksmīgi sāktu ražot produktu un ieietu ar to tirgū, ir jāpiepildās kādam no diviem variantiem.

1. Sākt domāt par ieiešanu tirgū var, ja:
  - uzņēmuma produkts pārspēj esošo konkurentu produktus;
  - tirgus ir pietiekami liels;

- uzņēmumam ir lielāki resursi;
  - izvēlēta pozīcija atbilst uzņēmuma stiprajām pusēm.
2. Izstrādāt produktu, kāda vēl nav tirgū, var, ja:
- pastāv tehniskās un tehnoloģiskās priekšrocības;
  - ir ekonomiski pamatotas jauna produkta radīšanas iespējas plānotajā cenu līmenī;
  - ir pietiekami liels pieprasījums pēc jaunā produkta [281].

## 8.1. Metodika

Metodika ir pielāgota situācijai, un tiek ņemti vērā vides aizsardzības jautājumi un jaunā produkta ilgtspējība.

### 8.1.1. Noieta tirgus pētījumi un analīze

Lai saprastu, kur tirgū šobrīd atrodas konkrētais produkts, izmanto matricu "produkts – tirgus", lai apjaustu mērķtirgu (esošs, jauns, esošo tirgu jaunie aspekti) atkarībā no produkta veida (esošs, modificēts, jauns), pirms tālāk izvērtē pieprasījuma izvērtēšanas paņēmienus.

8.1. tabula. Pieprasījuma veidošanas un apmierināšanas paņēmieni pēc matricas "produkts – tirgus" [282]

Tirgi	Produkti			
	Esošie	Modificētie		Jaunie
Esošie	Esošo produktu pārdošanas apjoma palielināšana jau esošiem pircējiem.	Modificēto produktu pārdošana jau pircējiem.	produktu esošiem	Jauno produktu pārdošana jau esošiem pircējiem.
Jaunie	Esošo produktu pārdošana jauniem pircējiem citos tirgos (segmentēšana pēc ģeogrāfiskiem u. c. kritērijiem).	Modificēto produktu pārdošana jauniem pircējiem citos tirgos (segmentēšana pēc ģeogrāfiskiem u. c. kritērijiem).	produktu jauniem	Jaunu produktu izstrāde un pārdošana pircējiem citos tirgos (segmentēšana pēc ģeogrāfiskiem u. c. kritērijiem).
Esošo tirgu jaunie aspekti	Esošo produktu pārdošana jaunos tirgus segmentos (segmentēšana pēc demogrāfiskiem u. c. kritērijiem).	Modificēto produktu pārdošana jaunos tirgus segmentos (segmentēšana pēc demogrāfiskiem u. c. kritērijiem).	produktu jaunos tirgus	Jaunu produktu izstrāde un pārdošana jaunos tirgus segmentos (segmentēšana pēc demogrāfiskiem u. c. kritērijiem).

Lai novērtētu produkta mērķtirgu, ir svarīgi klasificēt tirgu pēc vairākiem parametriem.

1. Pēc ražošanas sfēras:
  - materiālo preču tirgus;
  - garīgo preču tirgus.
2. Pēc galapatēriņa rakstura:
  - ražošanas preču tirgus;
  - patēriņa preču tirgus;
  - starpnieku tirgus;
  - valsts iestāžu tirgus;

- starptautiskais tirgus.
- 3. Pēc lietošanas termiņa:
  - ilgtermiņa lietošanas preču tirgus (piemēram, automašīnas, mājas);
  - īstermiņa lietošanas preču tirgus (piemēram, pārtika, apģērbs);
  - vienreizējās lietošanas preču tirgus.
- 4. Pēc ģeogrāfiskās atrašanās vietas:
  - pasaules tirgus;
  - iekšējais tirgus;
  - reģionālais tirgus;
  - vietējais (lokālais) tirgus.
- 5. Pēc pircēju un pārdevēju skaita:
  - brīvās (pilnīgās) konkurences tirgus;
  - monopolistiskās konkurences tirgus;
  - oligopolistiskais tirgus;
  - tīrais monopols [284].

8.2. tabula. Nozares vērtējums un tirgus pievilcība [284]

Faktoru grupas		Ekstremāla nozīme	Ļoti nepievilcīgs	Nepievilcīgs	Neitrāls	Pievilcīgs	Ļoti pievilcīgs	Ekstremāla nozīme
Tirgus faktori								
Tirgus lielums		Mazs						Liels
Tirgus augšanas temps un potenciāls		Zems						Augsts
Pieprasījuma cikliskums		Augsts						Zems
Pieprasījuma sezonālitate		Augsts						Zems
Cenu jutīgums		Zems						Augsts
Ražošanas rentabilitāte		Zems						Augsts
Produkta diferenciacija		Zems						Augsts
Konkurences faktori								
Vienlīdzīgu esamība	konkurentu	Daudz						Maz
Konkurentu līmenis	specializācijas	Zems						Augsts
Šķēršļi ienākšanai nozarē								
Investīciju nepieciešamība		Liela						Maza
Izejvielu pieejamība		Grūti						Viegli

Galvenais produkta ieviešanai tirgū ir tirgus pievilcīgums, ko izvērtē pēc dažādiem faktoriem, kas parādīti 8.2. tabulā nozares vērtējumā.

Vērtēšana ir piecu baļļu sistēmā, kur 1 – ļoti nepievilcīgs un 5 – ļoti pievilcīgs. Rezultāts tiek sareizināts ar indeksu 1,82 (maksimālais iespējamais baļļu skaits/100), lai procentuāli iegūtu produkta tirgus pievilcību.

### 8.1.2. Produkta konkurētspējas analīze un cenas izpēte

Tirgus cenas salīdzinājums ar līdzīgiem produktiem Latvijā ir pielīdzināms konkurences analīzei, kas ietver atbildes uz šādiem jautājumiem:

1. kas ir konkurenti;
2. kāda ir produkta tagadējā tirgus cena;
3. kāds ir konkurences līmenis tirgū šobrīd [281].

8.3. tabula. Produkta konkurētspējas faktori [284]

Faktori	Svars	Tirgus A			Tirgus B (ja attiecināms)				
		Produkts	Konkurenti			Produkts	Konkurenti		
			1	2	3		1	2	3
Pieprasījums									
Tirgus daļa									
Resursu pieejamība									
Cena									
Produkcijas kvalitāte									
Vides aizsardzības pasākumu iekļaušana (ražošanas procesā)									

Vērtēšana notiek pēc piecu baļļu skalas, kur – jo lielāks novērtējums, jo lielākas konkurences priekšrocības. Katram faktoram tiek piešķirts svars jeb svarīguma koeficients pēc ekspertu vērtējuma, ko sareizina ar iegūto balli. Svara koeficientu summa ir 1. Konkurences priekšrocību relatīvo rādītāju, salīdzinot ar stiprāko konkurentu, var noteikt ar formulu:

$$R = \left( \frac{B}{B_{konk}} - 1 \right) \times 100\% , \quad (8.1.)$$

kur

$R$  produkta priekšrocību relatīvais rādītājs;

$B$  analizējamā produkta baļļu novērtējums;

$B_{konk.}$  stiprākā konkurenta baļļu novērtējums.

Ja  $R = 30\%$ , ir jāseko konkurentu darbībai, lai noturētos, 30–50 % – raksturo noturīgu situāciju tirgū, 50–70 % liecina, ka tirgus situācija ir ļoti laba, vairāk nekā 70 % – ir iespēja kontrolēt tirgu.

### **Vērtējamie faktori**

Pieprasījums vērtējams ar 5 – liels pieprasījums pēc produkta, un 1 – mazs pieprasījums pēc produkta.

Paredzamā ieņemamā tirgus daļa procentuāli sadalāma ballēs: 1 – 1–20 %, 2 – 20–40 %, 3 – 40–60 %, 4 – 60–80 %, 5 – 80–100 %.

Resursu pieejamība – konkrētajam produktam pieejamie resursi, kur 5 – viegli pieejami, 1 – grūti pieejami.

Cena – no ražotāja viedokļa, jo augstāka cena, jo vērtīgāks produkts un iespējama lielāka peļņa, tāpēc 5 – augsta cena, 1 – zema cena.

Produkcijas kvalitāte – kur kvalitatīvs produkts ir augstāk vērtēts, 5 – ļoti kvalitatīvs, un 1 – zema kvalitāte.

Vides aizsardzības pasākumu iekļaušana ražošanas procesā, kas ražotājam ir svarīgi, lai izvairītos no izmešu sankcijām, atvieglotu ražošanas uzsākšanu un palielinātu ieinteresēto pircēju skaitu, 5 – liels vides aizsardzības pasākumu īpatsvars, 1 – mazs vides aizsardzības pasākumu īpatsvars.

### **Tirgus pievilcības matrica**

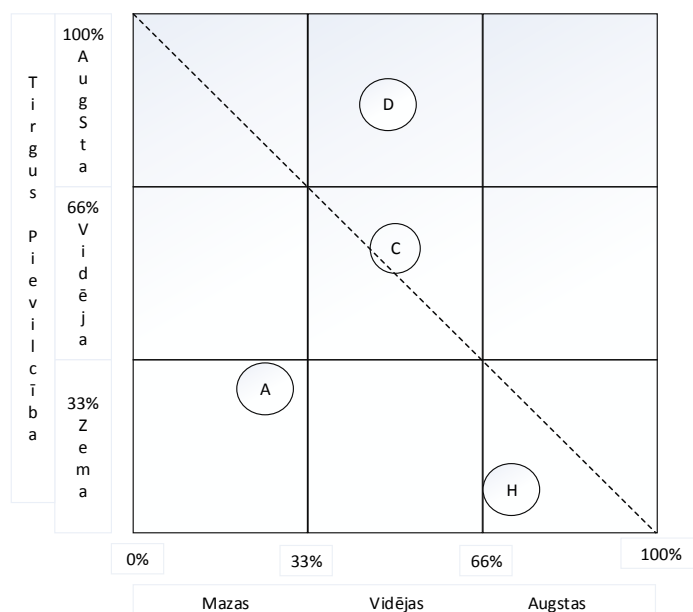
Tirgus analīzei tiek izmantota tirgus pievilcības analīzes matrica, kurā iekļauj šādus tirgus pievilcības vērtēšanas kritērijus:

- līdz 33 % (zems) – nepievilcīgs, par daudz neizdevīgu vai zema vērtējuma faktoru;
- līdz 66 % (vidējs) – pievilcīgs, bet iespējas uzlabot tirgus pozīcijas nav augstas;
- virs 66 % (augsts) – ļoti pievilcīgs, labas izredzes iekarot tirgus pozīcijas.

Matricā tiek apskatītas arī produkta konkurences priekšrocības:

- līdz 33 % (zems) – salīdzinājumā ar citiem produktiem resursu trūkums, zems pieprasījums, neizdevīga uzņēmuma pozīcija;
- līdz 66 % (vidējs) – apmēram vienādas pozīcijas ar līdzīgiem produktiem;
- virs 66 % (augsts) – pārsvars pār konkurentiem, resursu priekšrocības, laba uzņēmuma pozīcija [283].

Matrica pazīstama arī ar nosaukumu *General Electric/ McKinsey* matrica un dod vairāk priekšrocību kā Bostonas matrica [376]. Dažādas kompānijas un pētījumi liecina, ka šī ir viegli uzskatāma un pielāgojama matrica dažādiem produktiem un dažādiem tirgus segmentiem [377].



Produkta konkurences priekšrocības  
8.2. attēls. Matrica "Tirgus pievilcīgums – konkurences priekšrocības".

8.2. attēlā A, C, D, H, ... – attiecīgais produkts attiecīgajā tirgū.

Produkti, kuri atrodas augstāk par novilkto līniju, kas savieno abus maksimumus, ir potenciāli īstenojamie produkti. Vērtēt var ne tikai skatoties uz līniju, bet arī uz kvadrantiem, produkti, kas atrodas kvadrantos, caur kuriem iet līnija vēl būtu jāanalizē pirms ražošanas uzsākšanas, pārējie kvadranti virs līnijas ir realizējami. Taču tajos trīs, kas atrodas zem līnijas un kurus līnija nešķērso, produktus nav ieteicams realizēt [378].

## 8.2. Liocela (*lyocell*) tirgus noieta un cenu izpēte

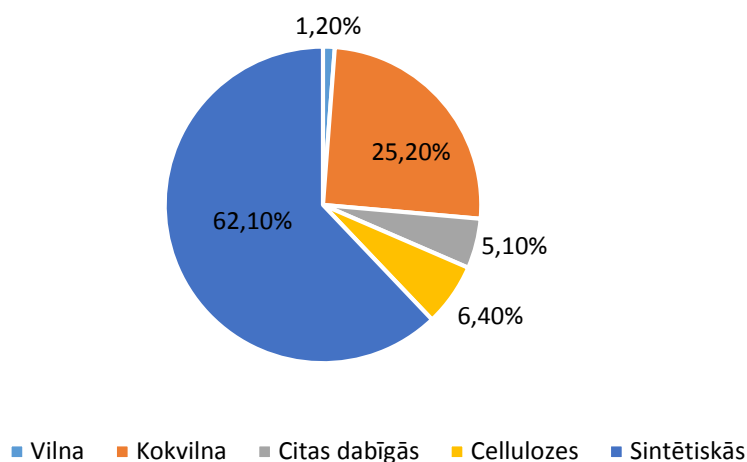
Liocels ir viskozes nākamā paaudze, kas iegūta no celulozes. Liocela šķiedras izceļas ar tādām īpašībām kā stiprība, augstas absorbēšanas spējas, antibakteriālas īpašības, un tās bioloģiski noārdās, tāpat kā citas celulozes šķiedras. Liocela šķiedru lietojums ir visai plašs – tekstilrūpniecībā no apģērba, mājas tekstila ražošanas līdz pat bērnu autiņu ražošanai, bet iespējams ražot arī medicīnas aprīkojumu un izmantot ķirurģijas produktiem [285].

Lielākie uzņēmumi, kas ražo šo produktu, ir *Lenzing AG* (Austrija, bet aptver arī ASV un Lielbritānijas tirgu), *The Aditya Birla Group* (Indija), *City Victor Corporation* (Taivāna, eksportē uz ASV un Eiropas tirgu), *Smartfiber AG* (Vācija), *Qingdao Textiles Group Fiber Technology Co* (Ķīna), *Weiqiao Textile Company Limited Acelon Chemicals & Fiber Corporation* (Ķīna) un *Chon Bang Company Limited* (Koreja) [285].

Vislielākais pieprasījums pēc liocela ir tieši apģērba segmentā, ietverot sporta, ikdienas, sieviešu un vīriešu apģērba. Tad seko mājas tekstila segments, kas ietver aizkarus, paklājus, palagus un pārklājus. Āzija ir lielākais liocela šķiedru ražotājs un patērētājs. Galvenie attīstību ietekmējošie faktori ir tekstilizstrādājumu tirgus izaugsme un draudzīgums videi [285].

Problēmas noteikšana – cilvēku populācija palielinās, līdz ar to palielinās pieprasījums pēc tekstila, taču kokvilna nespēj nodrošināt pieprasījumu, jo tai nepieciešamas lielas zemes

platības un ūdens patēriņš, kā arī kokvilnas audzēšanā un pārstrādē tiek patērētas ķīmikālijas un pesticīdi, kas būtiski ietekmē klimata pārmaiņas [286].



8.3.attēls. Globālais tekstilšķiedru tirgus 2015. gadā.

Kā redzams 8.3. attēlā, sintētisko šķiedru pieprasījums šobrīd pārsniedz visu pārējo tekstilšķiedru pieprasījumu. Pasaules mēroga tirgus pieprasījums pēc tekstilšķiedrām 2015. gadā ir šāds: sintētiskās šķiedras 62,1 %, kokvilna 25,2 %, celulozes šķiedras 6,4 %, citas dabīgās šķiedras 5,1 % un vilna 1,2 % [287]. Ņemot vērā arī videi draudzīgu tehnoloģiju attīstīšanu un klimata pārmaiņu nozīmīgumu, tad celulozes šķiedrām ir liels nākotnes potenciāls.

Prognozētais tekstilšķiedru pieaugums gadā ir 3–4 % sintētiskajām šķiedrām, 1–2 % kokvilnai un 5–6 % celulozes šķiedrām [288].

8.4. tabula. Līcels pēc matricas "produkts – tirgus"

Tirgi	Produkti		
	Esošie	Modificētie	Jaunie
Esošie	Esošo produktu pārdošanas apjoma palielināšana jau esošiem pircējiem.	Modificēto produktu pārdošana jau esošiem pircējiem.	Jauno produktu pārdošana jau esošiem pircējiem.
Jaunie	Esošo produktu pārdošana jauniem pircējiem citos tirgos (segmentēšana pēc ģeogrāfiskiem u. c. kritērijiem). <b>Starptautiskais tirgus</b> <b>Latvijas tirgus</b>	Modificēto produktu pārdošana jauniem pircējiem citos tirgos (segmentēšana pēc ģeogrāfiskiem u. c. kritērijiem).	Jaunu produktu izstrāde un pārdošana pircējiem citos tirgos (segmentēšana pēc ģeogrāfiskiem u. c. kritērijiem).
Esošo tirgu jaunie aspekti	Esošo produktu pārdošana jaunos tirgus segmentos (segmentēšana pēc demogrāfiskiem u. c. kritērijiem).	Modificēto produktu pārdošana jaunos tirgus segmentos (segmentēšana pēc demogrāfiskiem u. c. kritērijiem).	Jaunu produktu izstrāde un pārdošana jaunos tirgus segmentos (segmentēšana pēc demogrāfiskiem u. c. kritērijiem).

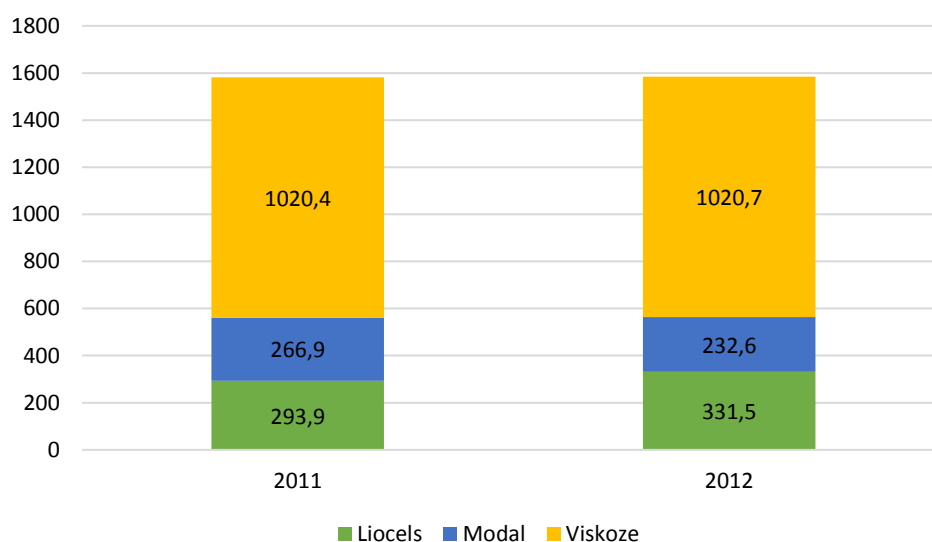


### 8.2.1. Tirgus klasifikācija

- Pēc ražošanas sfēras: materiālo preču tirgus (liocela dzija; pēc NACE 2.red.<sup>1</sup> tas ir 13 - Tekstilizstrādājumu ražošana – tekstilšķiedru sagatavošana un vēršana (aušana, apdare) [289]).
- Pēc gala patēriņa rakstura: ražošanas preču tirgus un starptautiskais tirgus (uzņēmumiem, kas nodarbojas ar apģērbu ražošanu NACE 2. red.– 14 Apģērbu ražošana).
- Pēc lietošanas termiņa: īstermiņa lietošanas preču tirgus, jo produkts ietilpt bieži pērkamo produktu grupā.
- Pēc ģeogrāfiskās atrašanās vietas:
  - Latvijas tirgus;
  - starptautiskais (Eiropas Savienības) tirgus.
- Pēc pircēju un pārdevēju skaita: monopolistiskā konkurence. Ja skatās ne tikai uz liocela produktiem, bet dziju kopumā, tad tirgū ir liels piedāvātāju un patērētāju skaits, kas veic darījumus plašā cenu diapazonā, piedāvājot līdzīgus, bet ne identiskus produktus. Šādā tirgū ir viegli iekļauties, bet grūti noturēties. Ja skatās tikai uz liocela šķiedru dziju, tad līderis ir viens *Lenzing group* (Austrija), un tas veido monopolu Eiropas un Ziemeļamerikas tirgos [290]. Āzijā ir oligopolistiskā konkurence.

### Tirgus attīstība

Pieprasījums pēc celulozes šķiedrām pakāpeniski pieaug.



8.5. attēls. Celulozes šķiedru pārdošanas apjoms 2011. un 2012. gadā (milj.eiro)

Skatoties dažādo celulozes šķiedru pieprasījuma aspektā, 2012. gadā salīdzinājumā ar iepriekšējo gadu pārdošanas apjoms ir palielinājies tikai liocelam (par 12,8 %), *Modal* par 12,9 % un viskozei palicis nemainīgs, kas parāda, ka tieši liocela pieprasījums turpina augt [291].

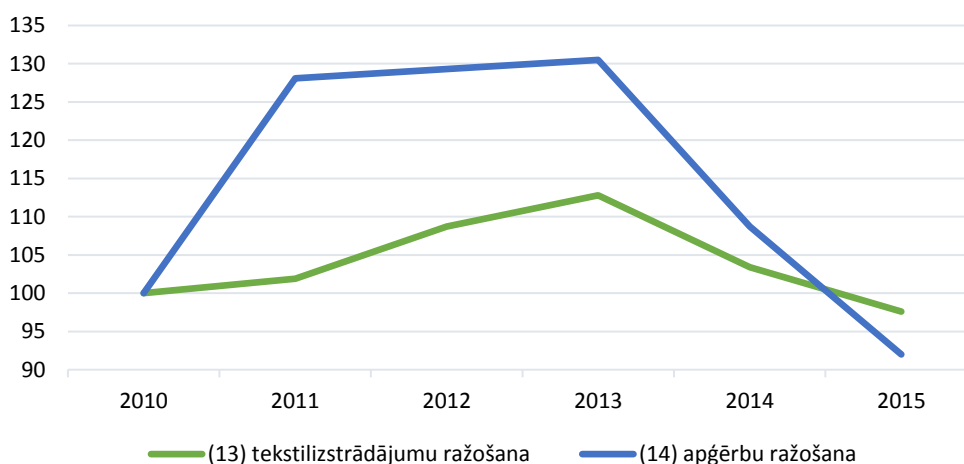
<sup>1</sup> NACE 2.red. – vispārējās ekonomiskās darbības klasifikators

Globālais tekstila pieprasījums laika posmā no 2003. līdz 2020. gadam (prognozes) ir audzis: Ķīnā par 9,2 % (veido 25 % no kopējā pieprasījuma), pārējā Āzijā 3,1 % (veido 15 %), Ziemeļamerikā 1,4 % (veido 19 %), Eiropā par 2,4 % (veido 27 %), pārējā pasaulē par 5,3 % (veido 13 %) [287]. Arī citi pētījumi rāda līdzīgas tendences, kas apstiprina šādu tekstila pieprasījumu [292].

### 8.2.2. Nozares vērtējums

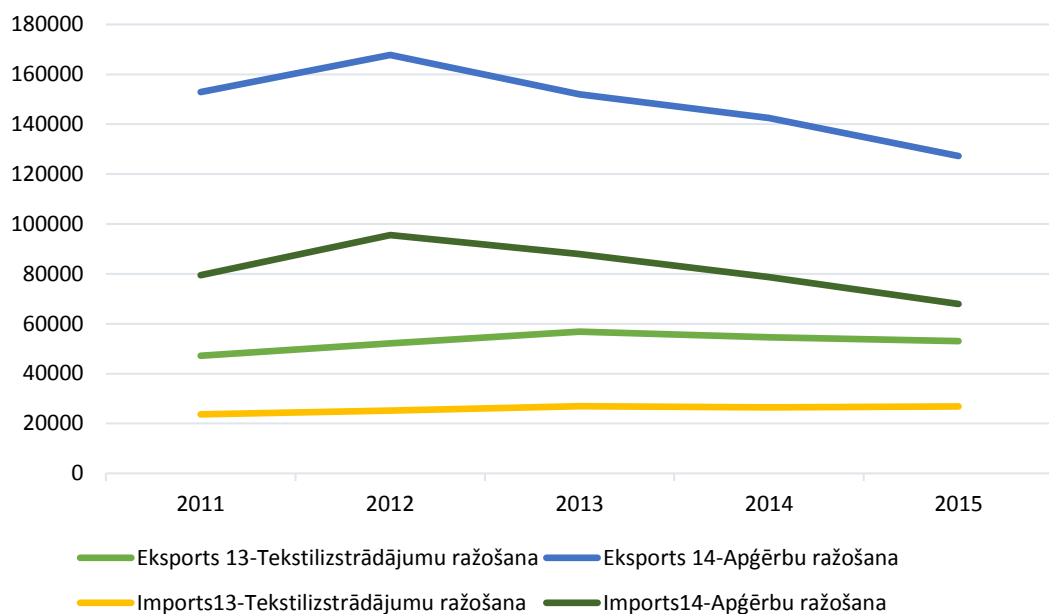
Latvijas tirgus ir salīdzinoši mazs. Latvijā ir reģistrēti 130 uzņēmumi, kas darbojas tekstilizstrādājumu un apģērbu ražošanā, un nozares ražošanas apjoms ir 9,5 % no Latvijas rūpniecības kopprodukta [293]. Izvērtējot lielākos tekstila rūpniecības nozares eksporta tirgus, var secināt, ka ievērojama saražotās produkcijas daļa tiek eksportēta uz kaimiņvalstīm – Igauniju (ap 20 % no kopējā tekstila izstrādājumu eksporta) un Lietuvu (ap 7 %), tāpat arī uz NVS valstīm, kā Krieviju (9 %), Skandināviju un citām ES valstīm [294].

Eiropā tekstila, apģērba un apavu rūpniecība ir koncentrēta piecās ES valstīs – Itālijā, Lielbritānijā, Francijā, Vācijā un Spānijā. Šo valstu uzņēmumi nodrošina trīs ceturtdaļas no nepieciešamās Eiropas produkcijas šajā nozarē. Latvijas tekstila nozare ir orientēta galvenokārt uz eksportu, vairāk nekā 80 % saražotās produkcijas tiek realizēta ārējos tirgos [289].



8.4. attēls. Latvijas rūpniecības produkcijas apjoma indeksi (2010=100) (procenti).

Pēc Centrālās statistikas pārvaldes (CSP) datiem redzams, ka Latvijā tekstilizstrādājumu ražošanā, uz kuru pretendē liocels, no 2013. gada diezgan ievērojami ir samazināti apjomi un 2015. gadā tie ir nedaudz zem 2010. gada apjomiem. Arī apģērbu ražošanā, kas būtu potenciālais mērķtirgus, ir vērojams kritisks samazinājums no 2013. līdz 2015. gadam.

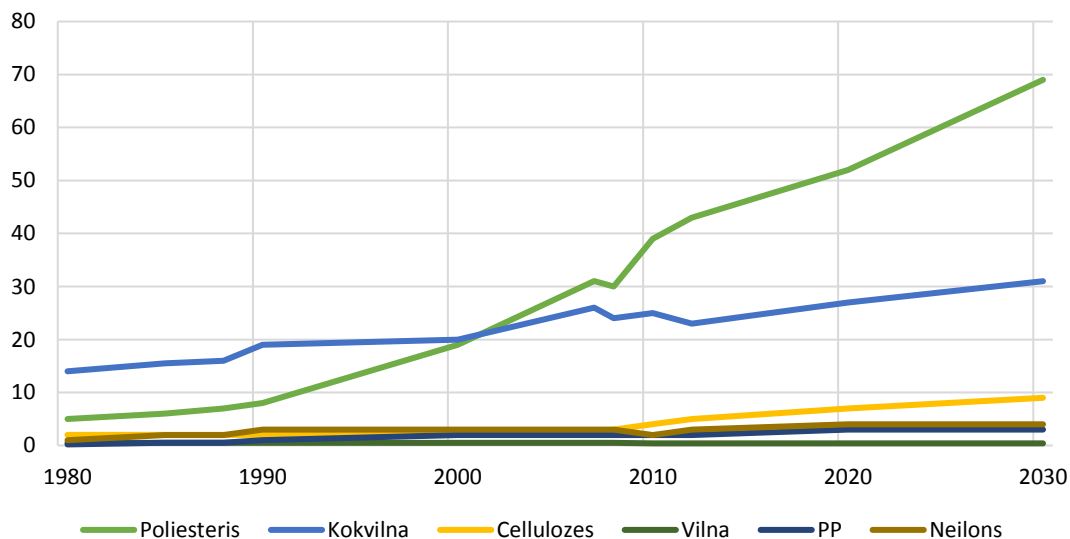


8.5.attēls. Latvijas eksports un imports sadalījumā pa preču sadaļām un pēc uzņēmuma darbības veida (NACE 2.red.) (tūkst. eiro).

Kā redzams 8.6. attēlā, tekstilizstrādājumu ražošanas un apģērbu ražošanas tendences ir līdzīgas, lielākā daļa tiek eksportēta, un maza daļa tiek importēta (pēc CSP datiem).

Tiešo konkurentu Latvijas tirgū nav, jo liocels netiek ražots, taču tiek ražota dabīgā šķiedra – vilna.

Jāņem vērā, ka visas tekstilšķiedras savā starpā konkurē, visvairāk – sintētiskās, kokvilna, vilna un celuloze. Lielākie konkurenti ir ES tirgū un pasaules tirgū.



8.6.attēls. Globālais pieprasījums atkarībā no tekstilšķiedras, miljoni tonnas gadā [295].

Visstraujākais pieprasījums pasaules tirgū ir audzis tieši sintētiskajām šķiedrām, kokvilnas pieprasījumā ir svārstības, taču celulozes šķiedrām ir pastāvīgi pieaugošs pieprasījums, kas, kā tiek prognozēts, tikai pieaugs [295] [296].

Pēc analītiķu veiktām prognozēm, liocela šķiedra pasaules tirgū pieaugs par 7,84 % pēc CAGR (*Compound annual growth rate*) laika posmā no 2016. līdz 2020. gadam [297].

8.2 tabula. Liocela Eiropas tirgus pievilcīgums nozares vērtējumā

Faktoru grupas	Ekstremāla nozīme	Ļoti nepievilcīgs	Nepievilcīgs	Neitrāls	Pievilcīgs	Ļoti pievilcīgs	Ekstremāla nozīme
Tirgus faktori							
Tirgus lielums	Mazs				X		Liels
Tirgus augšanas temps un potenciāls	Zems					X	Augsts
Pieprasījuma cikliskums	Augsts					X	Zems
Pieprasījuma sezonālitate	Augsts					X	Zems
Cenu jutīgums	Zems			X			Augsts
Ražošanas rentabilitāte	Zems				X		Augsts
Produkta diferenciacija	Zems					X	Augsts
Konkurences faktori							
Vienlīdzīgu konkurentu esamība	Daudz			X			Maz
Konkurentu specializācijas līmenis	Zems				X		Augsts
Šķēršļi ienākšanai nozarē							
Investīciju nepieciešamība	Liela	X					Maza
Izejvielu pieejamība	Grūti					X	Viegli

Saskaņā ar 8.5. tabulā redzamajiem vērtējumiem liocela Eiropas tirgus pievilcība ir 80 %.

8.6. tabula. Liocela Latvijas tirgus pievilcīgums nozares vērtējumā

Faktoru grupas	Ekstremāla nozīme	Ļoti nepievilcīgs	Nepievilcīgs	Neitrāls	Pievilcīgs	Ļoti pievilcīgs	Ekstremāla nozīme
Tirgus faktori							
Tirgus lielums	Mazs		X				Liels
Tirgus augšanas temps un potenciāls	Zems			X			Augsts
Pieprasījuma cikliskums	Augsts					X	Zems

Pieprasījuma sezonālītāte	Augsts			X	Zems
Cenu jutīgums	Zems		X		Augsts
Ražošanas rentabilitāte	Zems			X	Augsts
Produkta diferenciacija	Zems			X	Augsts
Konkurences faktori					
Vienlīdzīgu esamība	konkurentu	Daudz		X	Maz
Konkurentu līmenis	specializācijas	Zems		X	Augsts
Šķēršļi ienākšanai nozarē					
Investīciju nepieciešamība	Liela		X		Maza
Izejvielu pieejamība	Grūti			X	Viegli

Saskaņā ar 8.6. tabulā redzamajiem vērtējumiem liocela Latvijas tirgus pievilcība ir 69 %.

### 8.2.3. Konkurētspējas un tirgus pievilcības raksturojums

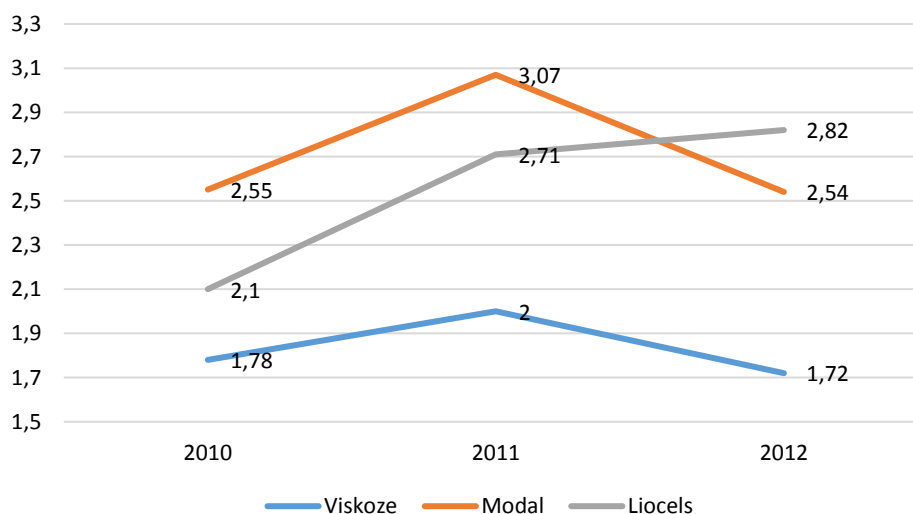
- Kas ir konkurenti?

Latvijas tirgū tiešo konkurentu nav, Eiropas tirgū – līderis ir *Lenzing AG*, *Smartfiber AG*, *City Victor Corporation*, pasaules tirgū – *Lenzing AG* (Austrija, bet aptver arī ASV tirgu un Lielbritānijas tirgu), *The Aditya Birla Group* (Indija), *City Victor Corporation* (Taivāna, eksportē uz ASV un Eiropas tirgu), *Smartfiber AG* (Vācija), *Qingdao Textiles Group Fiber Technology Co* (Ķīna), *Weiqiao Textile Company Limited*, *Acelon Chemicals & Fiber Corporation* (Ķīna) un *Chon Bang Company Limited* (Koreja).

Konkurenti no produktu viedokļa – sintētika (poliesteris), kokvilna, vilna.

Konkurenti no produktu viedokļa – sintētika (poliesteris), kokvilna, vilna.

- Kāda ir produkta tagadējā tirgus cena?



8.7. attēls. Lenzing celulozes šķiedru cenu salīdzinājums no 2010. līdz 2012. gadam (eiro/kg)

*Tencel* jeb liocela cena 2012. gadā bija 2,82 eiro/kg, esot pastāvīgam pārdošanas pieaugumam katru gadu (2011. gadā par 29 %, 2012. gadā par 4,1 %), vidējā trīs gadu cena ir 2,54 eiro/kg. Salīdzinājumam viskozes pārdošanas apjomi arī pieaug, taču cena samazinās un 2012. gadā bija 1,72 eiro/kg, vidēji 3 gados cena ir 1,83 eiro/kg, taču pieaugums ir ļoti svārstīgs (2011. gadā pieauga par 12,4 %, 2012. Gadā kritās par 14 %). *Modal* cena arī ir augsta, taču, neskatoties uz pārdošanas apjoma palielināšanos, cena strauji kritās un 2012. gadā sasniedza 17 % kritumu, proti, cena bija 2,54 eiro/kg. Vidējā cena trīs gados ir 2,72 eiro/kg [291].

- Kāds ir konkurences līmenis tirgū šobrīd?

Uzņēmumu konkurences līmenis tirgū ir zems tieši liocela ražošanā [287], taču, skatoties uz konkurējošiem produktiem, konkurences līmenis ir diezgan augsts.

8.7. tabula. Tirgus pozīcijas un konkurences intensitāte starp vadošajiem celulozes šķiedru produktiem.

	Tirgus pozīcija	Konkurences intensitāte
Liocels	#1	Zema
<i>Modal</i>	#1	Vidēja
Viscose	#2	Augsta

Konkurences līmenis ir lielāks, skatoties uz līdzīgiem produktiem – citām jau esošām un pasaulē zināmākām šķiedrām (sintētiskajām un dabīgajām (kā kokvilna un vilna)). Salīdzinot šos produktus, svarīgs ir ilgtspējības faktors, kas šajā gadījumā ir ietekme uz vidi (ūdens patēriņš un nepieciešamā teritorija). Šāds pētījums ir veikts liocelam un kokvilnai, kur liocelam nepieciešama 3,4 reizes mazāka zemes platību nekā kokvilnas ražošanai un 21,8 reizes mazāks ūdens patēriņš, kā arī ietekme uz vidi kopumā ir par 17,5 reizēm mazāka liocelam salīdzinājumā ar kokvilnu [291]. Sintētiskajām šķiedrām nav vajadzīgas zemes platības un pesticīdi kā kokvilnai, taču ietekme uz vidi ir liela, jo ražošanai tiek izmantoti fosilie resursi. Vilnas galvenā ietekme ir ūdens patēriņš.

Pēc dzīves cikla aprēķiniem liocels rada apmēram 0,2–1,2 kg CO<sub>2</sub> ekv./kg, turpretī kokvilna 2 kg CO<sub>2</sub> ekv./kg, un sintētika 2,6–4 kg CO<sub>2</sub> ekv./kg [298].

8.2. tabula. Liocela un konkurējošo produktu analīze Latvijas un starptautiskajā tirgū

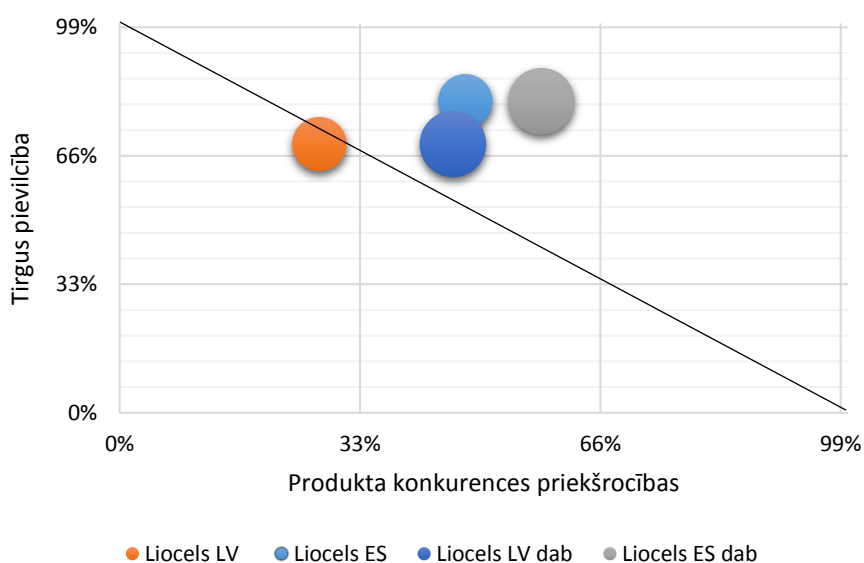
Faktori	Svars	Latvijas tirgus				Starptautiskais (Eiropas) tirgus			
		Liocels	Konkurenti			Liocels	Konkurenti		
			1. Kokvilna	2. Sintētika	3. Vilna		1. Kokvilna	2. Sintētika	3. Vilna
Pieprasījums	0,2	3	4	5	1	5	2	4	1
Tirgus daļa	0,15	2	3	5	1	2	3	4	1
Resursu pieejamība	0,2	5	1	2	2	5	3	3	3
Cenu līmenis	0,2	4	2	2	5	4	3	2	5
Produkcijas kvalitāte	0,15	5	4	3	4	5	4	3	4

Vides aizsardzības pasākumu iekļaušana (ražošanas procesā)	0,1	5	2	1	1	5	2	1	2
--	-----	---	---	---	---	---	---	---	---

Salīdzinot produktus, var secināt, ka viszemākais rezultāts ir vilnai abos tirgos, tātad konkurēt ar vilnas tirgu nav problēmu. Vispēcīgākais konkurents abos tirgos ir sintētika (tālāk seko kokvilna). Latvijas tirgū konkurences priekšrocību rādītājs  $R = 27\%$ , starptautiskajā tirgū  $R = 47\%$ .

8.2 tabula. Liocela un konkurējošo produktu analīze Latvijas un starptautiskajā tirgū dabīgo šķiedru segmentā

Faktori	Svars	Latvijas tirgus, dabīgo šķiedru segments				Starptautiskais (Eiropas) tirgus, dabīgo šķiedru segments			
		Liocels	Konkurenti			Liocels	Konkurenti		
			1. Kokvilna	2. Sintētika	3. Vīlna		1. Kokvilna	2. Sintētika	3. Vīlna
Pieprasījums	0,2	4	3	2	1	5	3	2	1
Tirgus daļa	0,15	3	4	2	1	3	5	2	1
Resursu pieejamība	0,2	5	2	3	4	5	2	3	3
Cenu līmenis	0,2	4	2	4	5	4	2	4	5
Produkcijas kvalitāte	0,15	5	3	3	4	5	3	3	4
Vides aizsardzības pasākumu iekļaušana (ražošanas procesā)	0,1	5	1	3	2	5	1	3	2



8.8. attēls. Matrica "Tirgus pievilcīgums – produkta konkurences priekšrocības" produktam liocelam, ES un Latvijas tirgos.

Rezultātos redzams, ka liocels Latvijas tirgū nesasniedz vēlamo rezultātu. Latvijas tirgus pievilcība ir 69 % un konkurences priekšrocības tikai 27 %, taču Eiropas tirgū rezultāts parāda, ka produktu ir iespējams realizēt, jo tirgus pievilcība ir 80 % un konkurences priekšrocības 47 %. Skatoties tikai uz dabīgo šķiedru konkurenci, konkurences priekšrocības Latvijas tirgū ir 46 % un Eiropas tirgū  $R = 58 \%$ , līdz ar to pozīcija ir nedaudz veiksmīgāka. Jāņem vērā, ka pilnīgai mārketinga izpētei ir jāveic tekstila ekspertu un Latvijas potenciālo apģērba ražošanas uzņēmumu anketēšana, lai saprastu, cik atvērti apģērba ražošanas uzņēmumi ir jaunas šķiedras izmantošanai savā produkcijā. Šajā gadījumā Eiropas tirgus ir pievilcīgāks, jo ir jau eksistējoši uzņēmumi, kas ražo liocelu un ir apģērba ražošanas uzņēmumi, kam ir regulārs pieprasījums tieši pēc šī produkta.

### 8.3. Bioeļļas tirgus noieta un cenu izpēte

Bioeļļu var izmantot kā izejvielu dīzeļdegvielas ražošanā, bet, nepārveidojot to, var izmantot kā smērvielu vai kurināmo. Kā kurināmo to var izmantot gan siltuma, gan elektrības ražošanai.

Bioeļļas apkures vērtība ir apmēram puse no mazuta vērtības. Pašlaik to var izmantot, aizstājot dabasgāzi vai mazutu [299]. Ir iespējams arī kurināt kopā ar dabasgāzi, kur bioeļļas saturs ir līdz pat 80 % [300]. Miksējot kurināmos, ir iespējams ievērojami ietaupīt kapitālizmaksas, salīdzinot ar 100 % biomasas ražotni. Lai pārietu no dabasgāzes uz bioeļļas kurināmo, ir nepieciešamas dažas modifikācijas iekārtās [301].

Problēmas noteikšana – fosilais kurināmais ne tikai rada lielu piesārņojumu, bet arī rada risku, ka kādā mirklī tas var arī beigties, tāpēc gan no vides, gan ekonomiskā viedokļa ir jāmeklē iespējas fosilos kurināmos maksimāli aizstāt ar atjaunojamajiem bioresursiem. To palīdz ieviest arī likumdošana, nosakot atjaunojamo resursu īpatsvaru un veicinot bioenerģijas attīstību, kas palīdz panākt vides piesārņojuma samazinājumu.

Bioeļļas komercializācija ir vieglāka, ja biomasas cena ir nulle vai ļoti zema. Ja tā nav, tad vajag ļoti stiprus tirgus blakus produktiem, ko iegūst no bioeļļas [302].

#### 8.3.1. Tirgus klasifikācija

- Pēc ražošanas sfēras: materiālo preču tirgus.
- Pēc gala patēriņa rakstura: ražošanas preču tirgus un starptautiskais tirgus.
- Pēc lietošanas termiņa: īstermiņa lietošanas preču tirgus, jo produkts ietilpt bieži pērkamo produktu grupā.
- Pēc ģeogrāfiskās atrašanās vietas:
  - Latvijas tirgus;
  - Eiropas tirgus.
- Pēc pircēju un pārdevēju skaita: monopolistiskā konkurence – kad ir liels piedāvātāju skaits, bet tie piedāvā līdzīgus, bet ne identiskus produktus. Šādā tirgū ir viegli iekļauties, bet grūti noturēties.

#### Tirgus attīstība

Sākot ar 1989. gadu, bioeļļu izmantoja pārtikas un ķīmisko vielu ražošanā, 2004. gadā – uzņēmumu un ēku siltumapgādē, 2009. gadā – elektrības ražošanai, 2013. gadā –



dīzeļdegvielas ražošanai. Tagad ar to aizstāj naftas produktus (eļļu) elektrostacijās, naftas produktus siltumapgādē un dzīvojamo māju un komerciālajās katlu mājās, dabasgāzi elektrostacijās un siltumapgādē [303].

Laikā no 2016. līdz 2020. gadam paredzams, ka bioeļļu izmantos kā izejvielu atjaunojamām degvielām (gāzei, dīzeļim, lidmašīnu degvielai) un bioķīmijai [303].

Pirmie jaunās produkcijas lielākie tirgi Eiropā – Francija (elektroenerģijai – eļļa) virs 2 MT/gadā, Itālija (elektroenerģijai – eļļa) virs 2 MT/gadā, Francija (siltumapgāde – eļļa) virs 2 MT/gadā. Tālāk seko Itālija (elektroenerģija – dabasgāze) virs 0,8 MT/gadā, Vācija (gan elektroenerģija, gan siltumapgāde – dabasgāze) ap 0,8 MT/gadā, tad Beļģija un Zviedrija [303]. Savukārt Latvijai izdevīgākas varētu būt Baltijas jūras reģiona valstis.

Agrāk aizstāja ogles ar koksni vai šķidro kurināmo, šķidro kurināmo ar dabasgāzi vai koka granulām, bet tagad šķidro kurināmo (mazutu) un dabasgāzi aizstāj ar pirolīzes eļļu [303].

### 8.3.2. Nozares vērtējums

Ar bioeļļu jau aizstāj mazutu siltumapgādē un elektroenerģijas ražošanā, bet var aizstāt arī dabasgāzi. Taču no bioeļļas var iegūt arī citus vērtīgus produktus, piemēram, smērvielas un biodīzeļdegvielu. Meža nozare ir galvenais biomasas un bioenerģijas piegādātājs, tāpēc ir novērtēts ievērojams bioeļļas produkcijas potenciāls Eiropas meža nozarē, jo jaunas bioenerģijas tehnoloģijas bieži tiek izstrādātas, lai tās pastāvētu paralēli jau esošajām meža nozares darbībām [301].

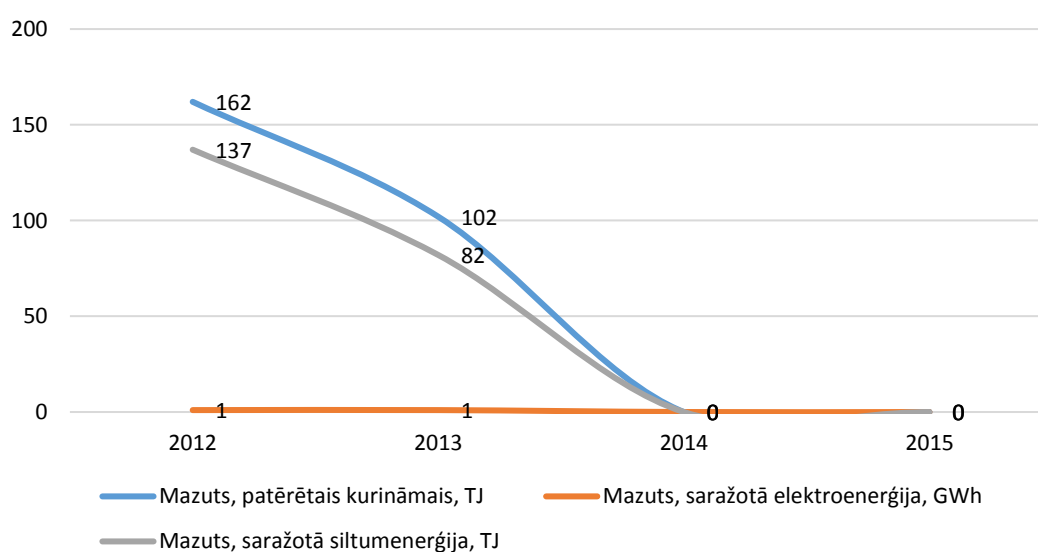
8.10. tabula. Pirolīzes bioeļļas ražošanas uzņēmumi, kas izmanto koku kā resursu 2012. gadā (virs 10 kg/h) [301]

Uzņēmums	Valsts	Kapacitāte Kg padeve/h	Kapacitāte Kg bioeļļas/h	Izmantošana
<b>Eiropa</b>				
<i>Biomass Engineering</i>	Lielbritānija	250	-	Degviela un produkti
<i>BTG</i>	Nīderlande	250	200	Degviela un ķīmiskās vielas
<i>BTG BioLiquids EMPYRO</i>	Nīderlande	6500	5000	Degviela
<i>Fraunhofer UMISICHT</i>	Vācija	250	-	Degviela
<i>Fortum</i>	Somija	10 000	-	Degviela
<i>KIT</i>	Vācija	1000	-	Transporta degviela
<i>Metso</i>	Somija	300	-	Degviela
<i>Pytec</i>	Vācija	250	-	Degviela
<i>VTT</i>	Somija	20	-	Degviela
<b>Ārpus Eiropas</b>				
<i>Ensyn several</i>	Kanāda un ASV	3–100	2–2350	Degviela un ķīmiskās vielas

<i>ABRITech/Advanced biorefinery Inc., Forespect</i>	Kanāda	70–700 2000	-	Degviela
<i>Agri-Therm/University of Ontario</i>	Kanāda	420		Degviela
<i>Genting</i>	Malaizija	2000	-	Degviela
<i>GTI</i>	ASV	50	-	Transporta degviela
<i>Iowa State University</i>	ASV	10	-	Frakcionētas eļļas degvielām un produktiem
<i>KiOR</i>	ASV	21000	-	Transporta degviela
<i>Mississippi State University</i>	ASV	200	150	Degviela
<i>Red arrow/Ensyn several</i>	ASV	125–1250	-	Pārtikas produkti un degviela
<i>University of Science and Technology of China, Hefei</i>	Ķīna	120	-	Degviela
<i>Virginia Tech</i>	ASV	250	-	Degviela
<i>UDT</i>	Čīle	15	-	Degviela un ķīmiskās vielas

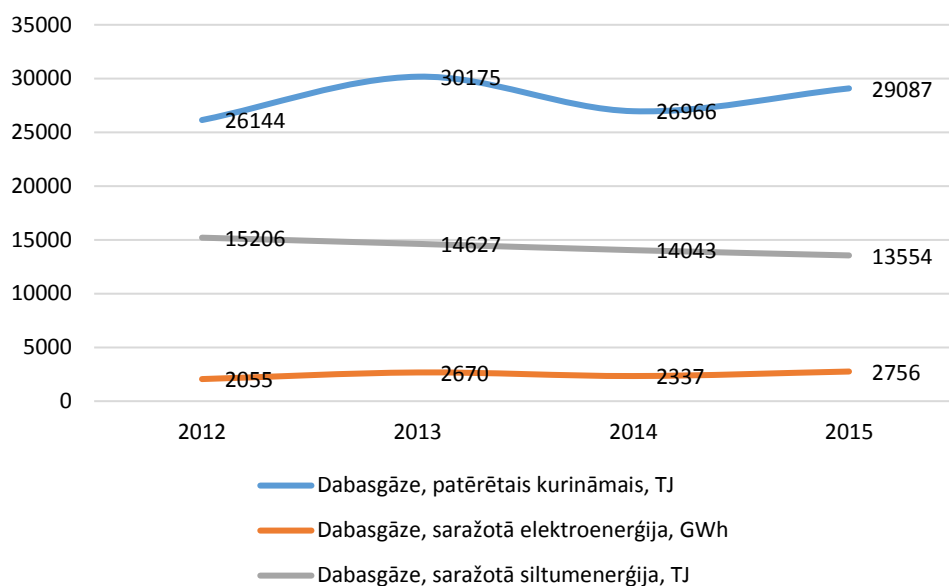
Bioeļļas kapacitāte visiem uzņēmumiem nav norādīta. Izmantotās tehnoloģijas uzņēmumos atšķiras, taču izejviela visiem ir koksne.

Latvijā mazuts koģenerācijas stacijās netiek izmantots kopš 2014. gada, taču dabasgāze tiek izmantota lielos apjomos.



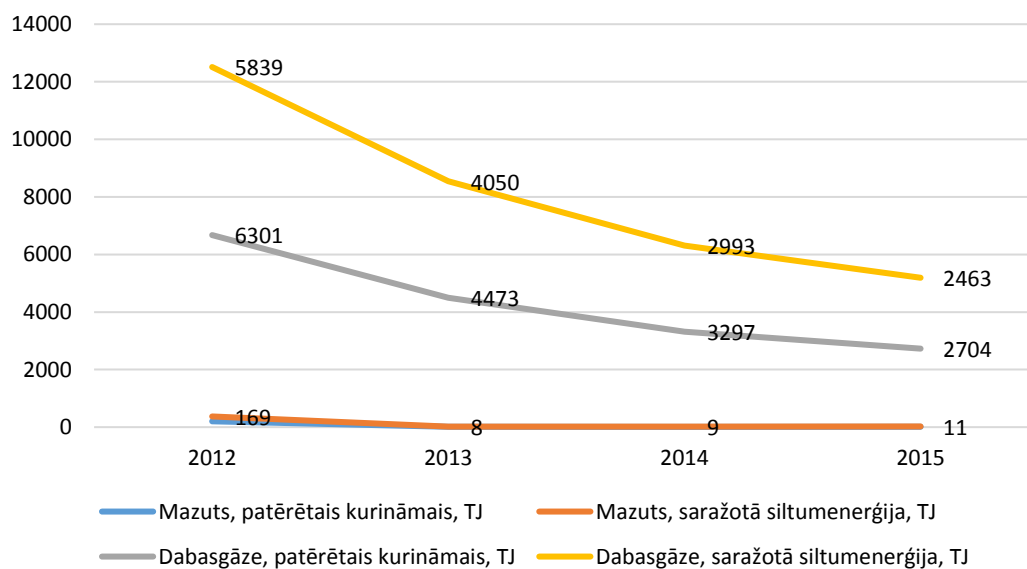
8.9. attēls. Koģenerācijas stacijās patērētais mazuts, saražotā siltumenerģija un elektroenerģija (CSP).

Mazuts tika izmantots Latvijā galvenokārt siltumenerģijas ražošanai, taču to aizstāja ar dabasgāzi.



8.10. attēls. Koģenerācijas stacijās patērētā dabasgāze, saražotā siltumenerģija un elektroenerģija (CSP).

Dabasgāze tiek izmantota Latvijā gan siltumenerģijas, gan elektroenerģijas ražošanā. Ja siltumenerģijas ražošanas apjomi no 2014. līdz 2015. gadam ir nedaudz samazinājušies, tad saražotā elektroenerģija ir palielinājusies un kopējais dabasgāzes patēriņš arī ir palielinājies, salīdzinot ar iepriekšējo gadu.



8.11. attēls. Katlumājās patērētais kurināmais un saražotā siltumenerģija, TJ (CSP).

Dabasgāzes izmantošana katlu mājās ir ievērojami samazinājusies, mazuts katlu mājās tiek izmantots niecīgos apmēros un Latvijā konkurenci bioeļļai nerada.

8.11. tabula. Bioeļļas Latvijas tirgus pievilcīgums nozares vērtējumā

Faktoru grupas	Ekstremāla nozīme	Ļoti nepievilcīgs	Nepievilcīgs	Neitrāls	Pievilcīgs	Ļoti pievilcīgs	Ekstremāla nozīme
Tirgus faktori							
Tirgus lielums	Mazs			X			Liels
Tirgus augšanas temps un potenciāls	Zems		X				Augsts
Pieprasījuma cikliskums	Augsts				X		Zems
Pieprasījuma sezonālītāte	Augsts				X		Zems
Cenu jūtīgums	Zems	X					Augsts
Ražošanas rentabilitāte	Zems		X				Augsts
Produkta diferenciacija	Zems					X	Augsts
Konkurences faktori							
Vienlīdzīgu konkurentu esamība	Daudz					X	Maz
Konkurentu specializācijas līmenis	Zems				X		Augsts
Šķēršļi ienākšanai nozarē							
Investīciju nepieciešamība	Liela				X		Maza
Izejvielu pieejamība	Grūti					X	Viegli

Saskaņā ar 8.11. tabulā redzamajiem vērtējumiem tika aprēķināta Latvijas tirgus pievilcība 69 %.

8.12. tabula. Bioeļļas Eiropas tirgus pievilcīgums nozares vērtējumā

Faktoru grupas	Ekstremāla nozīme	Ļoti nepievilcīgs	Nepievilcīgs	Neitrāls	Pievilcīgs	Ļoti pievilcīgs	Ekstremāla nozīme
Tirgus faktori							
Tirgus lielums	Mazs			X			Liels
Tirgus augšanas temps un potenciāls	Zems			X			Augsts
Pieprasījuma cikliskums	Augsts					X	Zems
Pieprasījuma sezonālītāte	Augsts				X		Zems

Cenu jutīgums	Zems		X	Augsts
Ražošanas rentabilitāte	Zems		X	Augsts
Produkta diferenciācija	Zems			X Augsts
Konkurences faktori				
Vienlīdzīgu konkurentu esamība	Daudz		X	Maz
Konkurentu specializācijas līmenis	Zems			X Augsts
Šķēršļi ienākšanai nozarē				
Investīciju nepieciešamība	Liela		X	Maza
Izejvielu pieejamība	Grūti			X Viegli

Saskaņā ar 8.12. tabulā redzamajiem vērtējumiem tika aprēķināta Eiropas tirgus pievilcība 73 %.

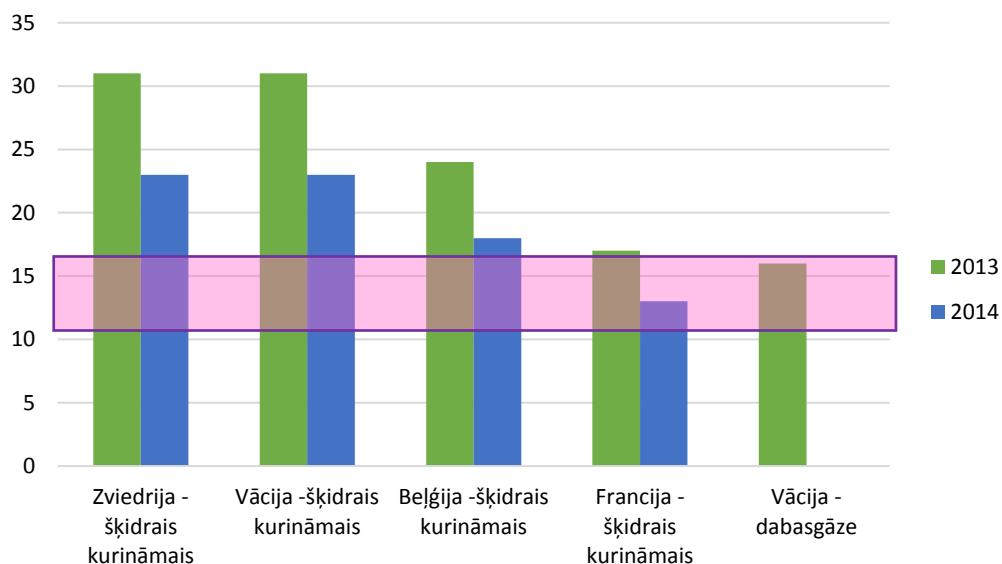
### 8.3.3. Bioeļļas konkurētspējas un tirgus pievilcības raksturojums

- Kas ir konkurenti?

Latvijā tiešo uzņēmumu konkurentu nav, pasaulē – Fortum (Somija), Empyro BV (Nīderlande), Ensyn (Kanāda) [302]. No produktu viedokļa – mazuts un dabasgāze.

- Kāda ir produkta tagadējā tirgus cena?

Cena svārstās no 9 līdz 15 eiro/Gj.



8.12. attēls. Fosilā kurināmā cena, salīdzinājumā ar pirolīzes bioeļļas cenu.

Iekrāsotajā laukumā ir pirolīzes bioeļļas cenas. Kā redzams, divu gadu laikā fosilo kurināmo cenas ir kritušās, bet pirolīzes eļļas cena svārstās no 10 līdz 16 USD/GJ jeb 9–15 eiro/GJ [303].

- Kāds ir konkurences līmenis tirgū šobrīd?

Konkurences līmenis samērā augsts. Bioeļļa kā kurināmais galvenokārt konkurē ar mazutu kā tā tiešais aizstājējs. Mazuta cenas šobrīd ir strauji kritušās, tāpēc grūtāk izkonkurēt, taču augstā sēra satura dēļ mazutu cenšas izskaust no tirgus. Kā otrs konkurents ir dabasgāze, kas arī ir fosilais kurināmais un Latvijā pārsvarā tiek izmantots, taču bioeļļa var konkurēt, pateicoties resursu pieejamībai un videi draudzīgākai ražošanai un lietošanai. Lai lietotu bioeļļu dabasgāzes katlu mājās, ir nedaudz ir jāpielāgo tehnoloģijas, piemēram, visas daļas, kas ir kontaktā ar bioeļļu, ir jānomaina pret nerūsējošā tērauda detaļām, jāpārbauda blīves un degļi [301].

Bioeļļas zemākais sadegšanas siltums ir 17,11 MJ/kg [304] un CO<sub>2</sub> ir nulle [305], un augstākais sadegšanas siltums ir 26,9 MJ/kg [306]. Dabasgāzei un mazutam ir augstāki sadegšanas siltuma rādītāji [307]. Emisiju faktors tieši CO<sub>2</sub> kontekstā mazutam ir lielāks, dabasgāzei mazs, bet bioeļļai nav [308].

Bioeļļai ir augsts blīvums, augsta viskozitāte, zems pH, zems sadegšanas siltums, CO<sub>2</sub> neitrāls, nav SO<sub>x</sub> un zems NO<sub>x</sub> saturs [309].

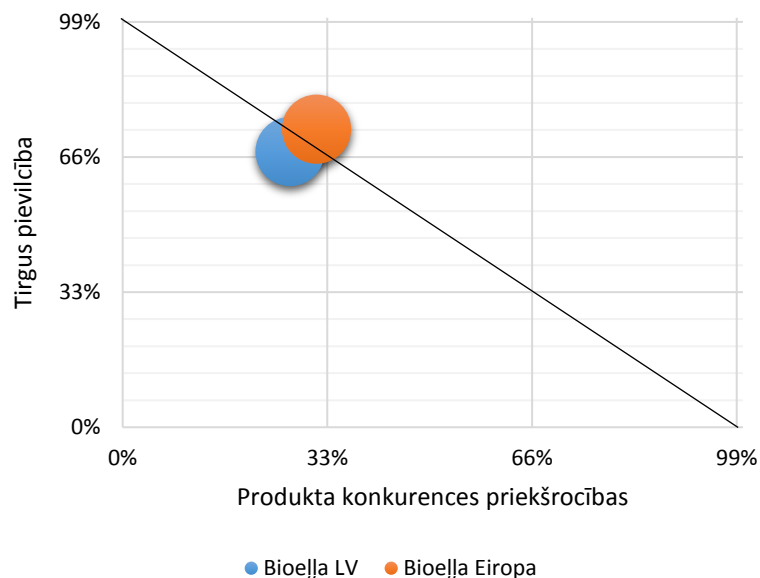
8.13. tabula. Kurināmo parametru salīdzinājums

	Zemākais sadegšanas siltums, MJ/kg	Augstākais sadegšanas siltums, MJ/kg	kg CO <sub>2</sub> uz t
Bioeļļa	17,11	26,90	0,00
Dabasgāze	47,13	52,21	0,60
Mazuts	39,46	42,20	11,27

Lai arī bioeļļai ir zemāks sadegšanas siltums nekā pārējiem, emisiju faktors un kopējā tendence pasaulē aizstāt fosilos ar atjaunojamajiem resursiem ir pietiekams, lai izvēlētos bioeļļu kā fosilo kurināmo aizstājēju.

8.14. tabula. Bioeļļas un konkurējošu produktu analīze Latvijas un starptautiskajā tirgū

Faktori	Svars	Latvijas tirgus			Starptautiskais tirgus		
		Bioeļļa	Konkurenti		Bioeļļa	Konkurenti	
			1. Mazuts	2. Dabasgāze		1. Mazuts	2. Dabasgāze
Pieprasījums	0,2	3	-	5	4	1	5
Tirgus daļa	0,15	3	-	5	3	2	4
Resursu pieejamība	0,2	5	-	1	5	1	2
Cenu līmenis	0,2	5	-	2	5	1	2
Produkcijas kvalitāte	0,15	3	-	4	3	2	4
Vides aizsardzības pasākumu iekļaušana (ražošanas procesā)	0,1	5	-	2	5	1	2



8.13. attēls. Matrica "Tirgus pievilcīgums – produkta konkurences priekšrocības" bioeļļai Latvijas un starptautiskajā (Eiropas) tirgū.

Tirgus pievilcība Latvijas tirgū ir 67 % un Eiropas tirgū 73 %, kas vairāk skaidrojams ar vides jautājumu aktualizēšanu un atjaunojamo resursu izmantošanu (līdz ar to vieglo pieejamību). Konkurences priekšrocības ir zemas abos gadījumos (Eiropā 31 % un Latvijā 27 %), kas galvenokārt ir spēcīgās konkurences ar fosilajiem kurināmajiem dēļ. Rezultāts varētu būt daudz pozitīvāks, ja tiktu izmantots viss bioeļļas potenciāls resp. produkti ar augstāku pievienoto vērtību.

#### 8.4. Ksilāna un tā atvasinājumu tirgus noieta un cenu izpēte

Ksilāns ir ksilozes ražošanas izejviela, no kā var iegūt arī ksilitolu. Izmantošanas iespējas ir ļoti plašas: farmācijā, pārtikas rūpniecībā. No tā var ražot cukura aizstājēju, kā arī plēvi pārtikas iesaiņošanai. Ksilāna atvasinājumus izmanto mašīnbūvē un metālapstrādē (biopolimēros un biokompozītmateriālos, ko izmanto kā pārklājumus), taču vislielākais ksilāna noieta ir ksilitola ražošana. Ņemot vērā perspektīvo izmantošanu pārtikas rūpniecībā un farmācijā, līdz 2024. gadam ir paredzami ievērojami panākumi [310].

Ksilitola tirgus, savukārt, 2015. gadā bija vairāk nekā 175 kilotonnas, un industrija sagaida līdz 6 % peļņu. Līdz 2023. gadam košļājamo gumiju ražošanas nozarē dominēs ksilitola pieprasījums, veidjot vairāk nekā 60 % no kopējā pieprasījuma [310].

Globālajā pārtikas nozarē ksilāna izmantošana pārtikas piedevām sasniedza 35 miljardus ASV dolāru 2015. gadā un prognozēts, ka tā var sasniegt 55 miljardus 2024. gadā ar vairāk nekā 5,5 % pieaugumu. Galvenās kategorijas ir pretsalīpes vielas, krāsu, garšu fermenti, saldīnātāji un citi [310].

Galvenie nozares dalībnieki ir *Xylan Corporation*, *Thomson Biotech* un *Southwestern Plating Company*. Šie uzņēmumi panāk produktu izstrādē ievērojamu izaugsmi, paplašinot arī ražošanu, kas varētu veicināt nozares izaugsmi [310].

Savukārt ksilitola (cukura aizstājēja) globālā tirgus apjoms pārsniedzis 750 miljonus ASV dolāru 2015. gadā, un līdz 2023. gadam tiek prognozēts pieaugums par 4 %. Ksilitolam ir pārtikas rūpniecībai nozīmīgas īpašības – tas ir mazkaloriju, ar lielisku garšu, daudzpusīgi izmantojams, ar ekvivalentām salduma īpašībām, minimāli ietekmējot cukura līmeni asinīs un insulīna līmeni un samazina pastiprinātu vēlmi ēst [311].

Problēmas noteikšana – palielinoties cilvēku skaitam, kas sirgst ar cukura diabētu, ir nepieciešami risinājumi ne tikai zāļu lietošanas jomā, bet arī cukura aizstāšanā. Viens no šīs slimības veicinātājiem ir aptaukošanās, tāpēc mazkaloriju saldinātāji ir viena no opcijām ceļā uz uzlabojumiem.

Ziemeļamerika un Karību jūras ir reģionos ir visaugstākie rādītāji cukura diabēta zāļu lietošanā. Aptaukošanās rada nopietnas veselības problēmas, un sekas ir 2. tipa diabēts, sirds slimības, invaliditāte un mirstības pieaugums. Ksilīta patēriņa stratēģija palīdzētu kontrolēt svaru un ne tikai ar zālēm, bet arī ar produktiem uzlabotu cilvēku veselības stāvokli, kas arī varētu būt lielākie faktori, kas nosaka ksilitola tirgus lielumu [311].

#### **8.4.1. Tirgus klasifikācija**

- Pēc ražošanas sfēras: materiālo preču tirgus.
- Pēc gala patēriņa rakstura: starptautiskais tirgus (ražošanas preču tirgus).
- Pēc lietošanas termiņa: īstermiņa lietošanas preču tirgus, jo produkts ietilpst bieži pērkamo produktu grupā.
- Pēc ģeogrāfiskās atrašanās vietas: Eiropas tirgus.
- Pēc pircēju un pārdevēju skaita: tīrā jeb pilnīgā konkurence.

#### **8.4.2. Nozares vērtējums**

Pagaidām Ķīna ir viena no potenciālā tirgus izaugsmes veicinātājām, aptverot gan košļājamo gumiju, gan konditorejas izstrādājumu tirgu. Esošajā ksilitola tirgū izejviela ir kukurūza (pārsvārā ģenētiski modificēta), kas nākotnē var ietekmēt tirgu un cenu, pieaugot pieprasījumam un palielinoties cilvēku skaitam, jo arvien vairāk parādās tendence pārtikas izejvielas neizmantojot ražošanai [311].

Ņemot vērā ksilāna atvasinājumu izmantošanu pārklājumiem, būtiskākais aspekts ir izejvielas cena, un zemāka tā būs kukurūzai. Pārtikas jomā ir sākts pievērst lielāku uzmanību veselības aspektiem, un mazāk tiek atbalstīta ksilāna un tā atvasinājumu iegūšana no ģenētiski modificētas kukurūzas, kas ir vēl viens noieta tirgus lieluma un pieprasījuma pēc attiecīgā produkta (ksilitola) virzītājspēks.

Vācijā ksilitola tirgus lielums 2015. gadā bija vairāk nekā 65 miljoni ASV dolāru, un košļājamā gumija kalpoja kā galvenais reģionālā tirgus izaugsmes virzītājspēks. Otrs lielākais patērētājs ar vairāk nekā 12 % no kopējā pieprasījuma bija konditorejas nozare. Eiropa ir dominējošais reģions patērētāju vidū, un tiek prognozēts pakāpenisks pieaugums. Somijas ksilitola tirgus, koncentrējoties uz veselības problēmām, reģistrēts tuvu 8,5 miljoniem ASV dolāru līdz 2023. gadam. Ķīnai līdz 2023. gadam tiek prognozēts augstākais tirgus lieluma kāpums, taču



Ķīna 50 % no saražotā eksportē uz ASV, Somiju, Poliju, Japānu, Lielbritāniju, Krieviju un Argentīnu [311].

Galvenie ksilitola ražotāji, kas aptver vairāk nekā 40 % no kopējā pieprasījuma, ir *Danisco* (*DuPont*), *Futaste Pharmaceutical*, *Yucheng Luijan* un *Hangzhou Shouxing* [311].

### Tirgus attīstība

Peredzams, ka pieaugs ksilitola pieprasījums tieši bez cukura un mazkaloriju produktu ražošanai, ko var lietot diabētiķi. Globālais ksilitola tirgus ir novērtēts ap 161 000 tonnām, un tā vērtība bija 670 miljoni dolāru 2013. gadā. Tiek sagaidīts pieaugums līdz 242 000 tonnām, 2020. gadā sasniedzot vērtību 1 miljards dolāru. Pieauguma rādītājs ir 6 % gan daudzumā, gan vērtībā. [312]

8.15. tabula. Ksilitola tirgus pievilcīgums nozares vērtējumā

Faktoru grupas		Ekstremāla nozīme	Ļoti nepievilcīgs	Nepievilcīgs	Neitrāls	Pievilcīgs	Ļoti pievilcīgs	Ekstremāla nozīme
Tirgus faktori								
Tirgus lielums		Mazs		X				Liels
Tirgus augšanas temps un potenciāls		Zems		X				Augsts
Pieprasījuma cikliskums		Augsts				X		Zems
Pieprasījuma sezonālitate		Augsts				X		Zems
Cenu jutīgums		Zems		X				Augsts
Ražošanas rentabilitāte		Zems		X				Augsts
Produkta diferenciacija		Zems					X	Augsts
Konkurences faktori								
Vienlīdzīgu esamība	konkurentu	Daudz	X					Maz
Konkurentu līmenis	specializācijas	Zems				X		Augsts
Šķēršļi ienākšanai nozarē								
Investīciju nepieciešamība		Liela	X					Maza
Izejvielu pieejamība		Grūti					X	Viegli

Saskaņā ar 8.15. tabulā redzamajiem vērtējumiem ksilitola tirgus pieprasījums ir 67 %.

#### 8.4.3. Konkurētspējas un tirgus pievilcības raksturojums ksilitolam

- Kas ir konkurenti?

- ksilitols: *Danisco (DuPont)*, *Futaste Pharmaceutical* un *Yucheng Luijan*;
- no produktu viedokļa – saldinātāji maltitols un sorbitols (sorbīts).

- Kāda ir produkta tagadējā tirgus cena ?

Sākot no 6 eiro/kg no koksnes [313].

- Kāds ir konkurences līmenis tirgū šobrīd?

Saldinātāju ir samērā daudz un konkurence ir liela, bet ksilitolam, īpaši no bērza, ir savas priekšrocības, pretstatot līdzīgiem saldinātājiem.

Ksilitola cena ir atkarīga no izejmateriāla. Ksilitols, kas ražots no kukurūzas, ir lētāks (2,5 eiro/kg) nekā tas, kas ražots no bērza, taču jāņem vērā, ka lielākā daļa kukurūzas ir ģenētiski modificēta. Galvenie konkurenti saldinātāju vidū ir maltitols, kura tirgus cena ir sākot no 8 eiro/kg, un sorbitols ar tirgus cenu no 11 eiro/kg [314].

8.16. tabula. Ksilitola un konkurējošo produktu salīdzinājums

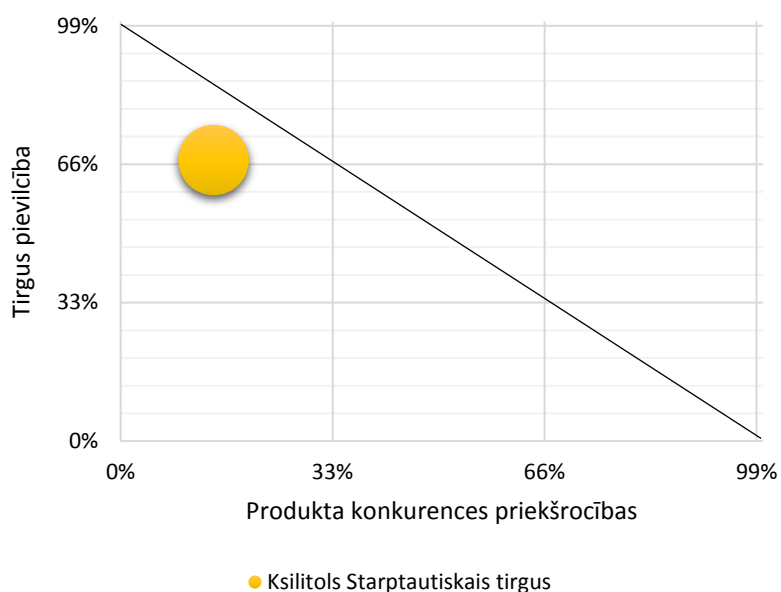
Polioli (zemas intensitātes saldinātāji)	Relatīvā intensitāte (saharoze =1) [315]	Kalorija, cal/g [316]	Īpašības [317]	Galvenā pielietojuma jomas [316] [317]
Ksilitols (izejviela - bērzs)	1	2,4	Pretkariesa izteikta garša, uzlabo zarnu trakta darbību.	Īpašības, piparmētras, kuņģa-izstrādājumos, mutes higiēnas līdzekļos, farmācijā, kosmētikā.
Maltitols (izejviela – kukurūzas ciete)	0,9	2,1	Gandrīz tikpat salds kā saharoze, neietekmē cukura un insulīna līmeni asinīs.	Konditorejas izstrādājumos, citā pārtikā
Sorbīts (izejviela – kukurūzas ciete)	0,6	2,6	Labs mitrinātājs.	Pārtikā, farmācijā, konditorejas izstrādājumos.

Prognozētais pieprasījuma pieaugums sorbitolam ir 2–3 % [318], maltitolam 2,7 %, ksilitolam 6 % [311].

8.17. tabula. Ksilitola un konkurējošo produktu analīze starptautiskajā (Eiropas) tirgū

Faktori	Svars	Starptautiskais tirgus			Tirgus B (ja attiecināms)		
		Ksilitols	Konkurenti		Produkts	Konkurenti	
			1. Sorbitols	2. Maltitols		1	2
Pieprasījums	0,20	5	3	2	-	-	-
Tirgus daļa	0,15	4	5	3	-	-	-
Resursu pieejamība	0,20	5	3	3	-	-	-
Cenu līmenis	0,20	3	5	4	-	-	-
Produkcijas kvalitāte	0,15	5	3	4	-	-	-
Vides aizsardzības pasākumu iekļaušana (ražošanas procesā)	0,10	4	4	4	-	-	-

Latvijas tirgus netika izvērtēts, jo ksilitolu vai tam līdzīgos produktus Latvijā neražo.



8.13. attēls. Matrica "Tirgus pievilcīgums – produkta konkurences priekšrocības" ksilitolam starptautiskajā (Eiropas) tirgū.

Tirgus pievilcība ir 67 %, taču konkurences priekšrocības tikai 14 %. No šādiem rezultātiem var secināt, ka ksilitolam pieprasījums ir, bet ir liela konkurence un ir jāskatās uz faktoriem, kas visvairāk to ietekmē un jāveic atbilstoši pasākumi, lai uzlabotu situāciju.

## 8.5. Kopsavilkums

Uzskatāmākam rezultātu apkopojumam ir izveidota tabula, kurā ietverti galvenie rādītāji.

8.18. tabula. Tirgus noietu rezultātu kopsavilkums

Produkts	Cena	Tirgus pievilcība		Konkurences priekšrocības	
		Vietējais tirgus	Starptautiskais tirgus	Vietējais tirgus	Starptautiskais tirgus
Liocels	2,54 eiro/kg	69 %	80 %	27 % 46 % (dab.)	47 % 58 % (dab.)
Bioeļļa	9–15 eiro/GJ	67 %	73 %	27 %	31 %
Ksilāns (ksilitols)	6 eiro/kg	-	67 %	-	14 %

Tirgus izpētes rezultāti ietver tirgus pievilcību, kas kopā ar konkurences priekšrocībām parāda iespējamās produkta komercializēšanas iespējas. Visneizdevīgākajā pozīcijā atrodas ksilitols no ksilāna, jo ksilāns ir izejviela, ko iegūst kā blakusproduktu citos ražošanas procesos, turklāt ksilitolam kā saldīnātājam ir liela konkurence, kas galvenokārt rada šādu rezultātu. Būtu jāskatās uz kompleksu produkturažošanas iespējām no ksilāna vai ksilāna kā blakusprodukta ražošanu.

Bioeļļas kā kurināmā rezultāts ir samērā zems, bet augstāks nekā ksilitolam. Starptautiskajā tirgū, uzlabojot konkurences priekšrocības, būtu iespējams to realizēt, bet pirms tam būtu ieteicams izvērtēt produktus, ko var iegūt no bioeļļas un kas būtu ar augstāku pievienoto vērtību.

Liocels Latvijas tirgū nerasniedz komercializēšanas līmeni konkurences dēļ, taču, skatoties tikai dabīgo šķiedru segmentu, Latvijas tirgus uzrāda labākas konkurences priekšrocības. Liocels starptautiskajā tirgū uzrāda iespējas produktu komercializēt gan visu tekstilšķiedru segmentā, gan dabīgo tekstilšķiedru segmentā. Pirms ražošanas uzsākšanas un komercializēšanas būtu nepieciešama pilnīgāka tirgus izpēte un analīze biznesa plāna ietvaros.

## 9. Ekonomiskās analīze

### 9.1. Ekonomiskās analīzes metodika

Šajā nodaļā tiek aprakstīta bioproduktu ekonomiskās analīzes metodika. Lai izvērtētu bioproduktu ekonomisko pamatotību, analīzei tiek izmantota sistēmdinamikas modelēšanas datorprogramma *Powersim Studio 8*. Šajā nodaļā dots īss sistēmdinamikas teorijas izklāsts, kā arī tiek aprakstīta aprēķinu metodoloģija.

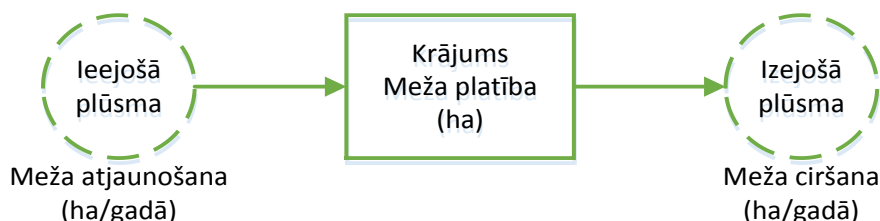
#### 9.1.1. Ievads sistēmdinamikā

Sistēmdinamika ir kompleksu sistēmu dinamiskās attīstības pētīšanas metode, ar kuras palīdzību ir iespējams izprast un analizēt kompleksas sistēmas un to problemātisko uzvedību. Kompleksa sistēma ir vairāku elementu kopa, kas savstarpēji mijiedarbojas laikā. Sistēmas elementi un to savstarpējā mijiedarbība veido sistēmas struktūru [319].

Sistēmdinamikas galvenie raksturlielumi ir šādi:

- krājumi;
- plūsmas;
- atgriezeniskās saites;
- precīzi definētas sistēmas robežas;
- cēloņsakarības [320].

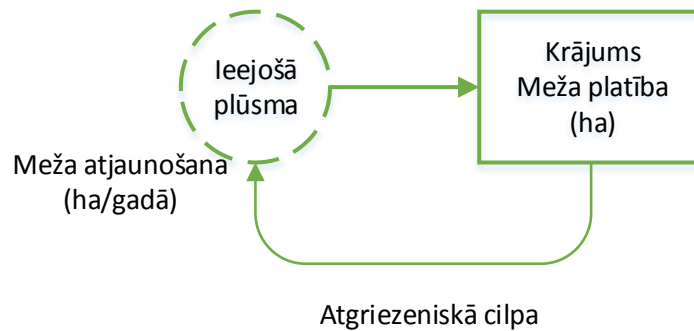
Krājums ir daudzums, kas uzkrājas laika gaitā. Krājums var būt, piemēram, meža krāja vai arī meža platība. Turpretim plūsma raksturo krājuma izmaiņas ātrumu. Krājumu raksturo gan ieejošās, gan izejošās plūsmas (skatīt 9.1. attēlu).



9.1. attēls. Krājumi un plūsmas [321].

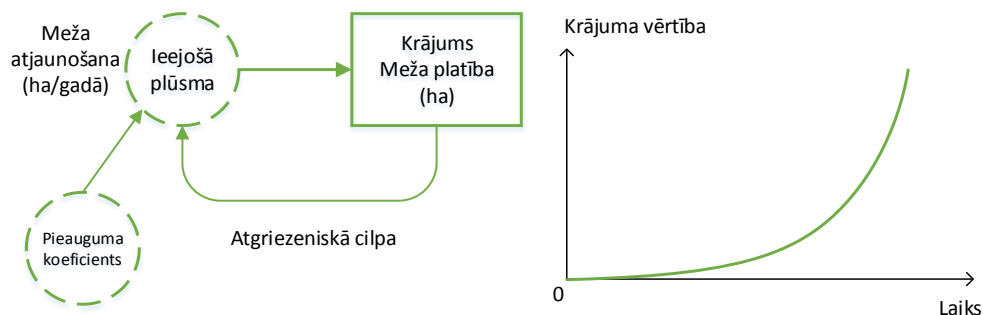
Tādējādi plūsma var būt, piemēram, mežu atjaunošana vai mežu ciršana. Ja ieejošā plūsma ir lielāka nekā izejošā plūsma, tad krājuma vērtība laikā palielinās. Ja ieejošā plūsma ir mazāka nekā izejošā plūsma, tad krājuma vērtība laikā samazinās. Turpretim, ja abas plūsmas ir vienādas, tad krājuma izmaiņa laikā ir nemainīga.

Tā kā sistēma ir vairāku elementu kopa, kas savstarpēji mijiedarbojas, tad cēloniskās attiecības starp šiem elementiem var raksturot ar atgriezeniskajām saitēm. Tādējādi krājumi un ar to saistītās plūsmas ir atkarīgi viens no otra (skatīt 9.2. attēlu). Piemēram, 9.2. attēls reprezentē saikni starp plūsmu un krājumu. Atkarībā no tā, kāda ir mežu atjaunošana, ir atkarīgs tas, kāda būs kopējā mežu platība. Tajā pašā laikā, zinot, kāda ir kopējā meža platība, ir iespējams regulēt plūsmu, šajā gadījumā mežu atjaunošanas apjomu.



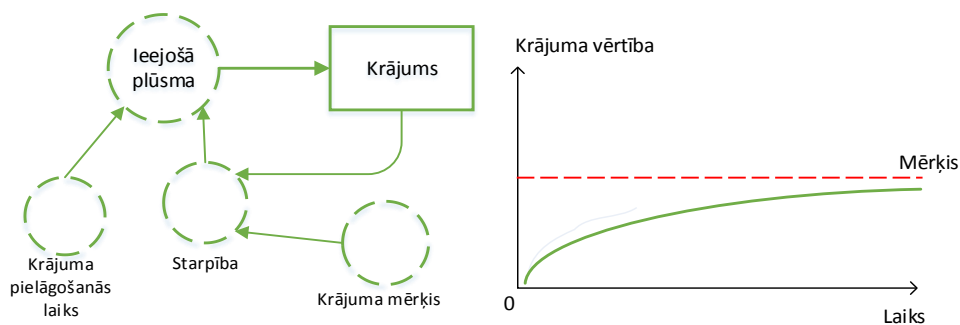
9.2. attēls. Savstarpējā saikne starp plūsmu, krājumu un atgriezenisko saiti.

Zinot to, kādai ir jābūt krājuma vērtībai, ir iespējams regulēt krājumā ieejošās un izejošās plūsmas. Piemēram, pieejamās meža krājas apjoms nosaka to, vai tā ir nepietiekama un tādējādi ir jāpalielina meža krāja, veicot meža atjaunošanu, vai arī meža krāja ir pārāk liela, un ir jāsamazina meža atjaunošanas apjomi.



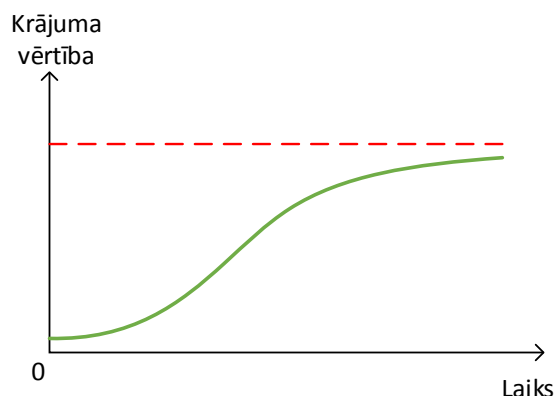
9.3. attēls. Eksponenciāla pieauguma struktūra [322].

Atgriezenisko saišu cilpas var būt gan pozitīvas jeb stimulējošas (skatīt 9.3. attēlu), gan arī negatīvas jeb *mērķi meklējošas*. Eksponenciālam pieaugumam vai samazinājumam sākotnēji ir raksturīgs lēns pieaugums vai samazinājums, kas vēlāk strauji izmainās. Struktūrai, kas rada eksponenciālo pieaugumu, ir pozitīva atgriezeniskā saite, jo, palielinoties krājumam, palielinās arī plūsma [323]. Pozitīvā atgriezeniskā cilpa rada eksponenciālu pieaugumu vai samazinājumu, bet, tā kā pieaugums/samazinājums nevar būt bezgalīgs, pastāv dabīgi, kā arī mākslīgi veidoti kontroles mehānismi, kas ierobežo pieaugumu/samazinājumu un nodrošina sistēmas tiekšanos uz līdzsvara stāvokli. Tādējādi negatīvās atgriezenisko saišu cilpas ir tās, kas virza sistēmu uz līdzsvara stāvokli.



9.4. attēls. Uz mērķi virzītas uzvedības struktūra [322].

Uz mērķi virzītas sistēmas uzvedības gadījumā mērāmais lielums var būt vai nu lielāks vai arī mazāks par mērķi. Lai sistēmu varētu virzīt uz līdzsvara stāvokli, krājuma vērtībai vajadzētu sakrist ar mērķi. Tā kā reālajā dzīvē eksistē pieauguma robežas, tad sistēmas uzvedības tendence ir tāda, kā norādīts 9.5. attēlā [323]. Piemēram, sākotnēji var strauji pieaugt dzīvnieku populācija kāda noteiktā teritorijā, tomēr, pieaugot dzīvnieku skaitam, konkurences apstākļos samazinās barības pieejamība, kas noved pie tā, ka dzīvnieku populācija vairs nevar pieaugt [323].

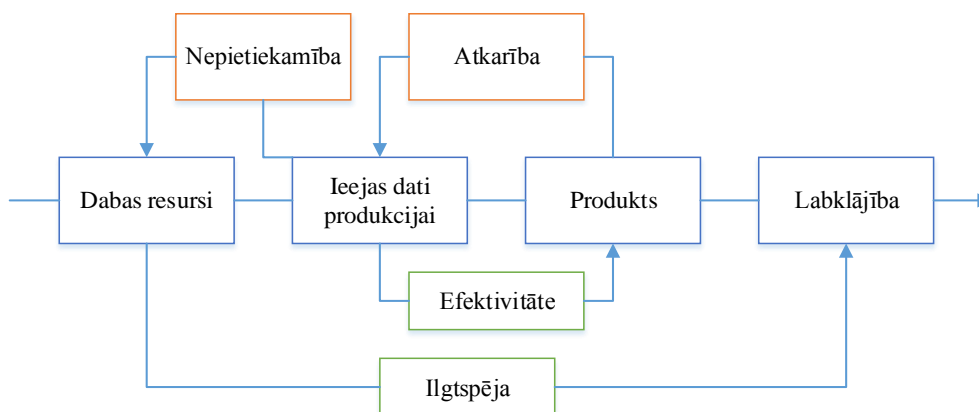


9.5. attēls. S-veida pieaugums.

Ne vienmēr notiek mērķa jeb limita sasniegšana. Piemēram, atļautais CO<sub>2</sub> emisiju apjoms (augšējā robeža) var tikt pārsniegts, ja tiek izmantots fosilais kurināmais, netiek nodrošināta pilnīga kurināmā sadegšana vai pareizi degšanas procesa apstākļi. Tās ir sekas nepārdomātai rīcībai [320].

Sistēmā jāiekļauj tikai tie elementi, kas ir svarīgi konkrētas problēmas pētīšanai, un kuriem ir kāda ietekme uz sistēmas uzvedību. Endogēnie jeb iekšējie lielumi ir atbildīgi par sistēmas radīto uzvedību. Eksogēnie jeb ārējie faktori ietekmē iekšējos faktorus. Tādēļ, lai izprastu modeļa struktūru, ir svarīgi norādīt robežas starp iekšējiem un ārējiem faktoriem, kā arī ir jānorāda tie faktori, kas netiek iekļauti sistēmdinamikas modelēšanā. Pie neiekļautajiem faktoriem ir jāmin tie lielumi, kuru iekļaušana modelēšanai būtu vēlama vai nepieciešama, ja tiktu paplašināts pētījuma virziens [324].

Sistēmdinamikas modelēšanā tiek pētītas cēloņsakarības, nevis lielumu korelācija vai regresija. Lai noskaidrotu, kas ietekmē rezultātu, tiek pētīti cēloņi sistēmas uzvedībai. Sistēmdinamika ir funkcionāla pieeja sistēmas uzvedības un dinamikas pētīšanai laikā [325].



9.6. attēls. Produktu ekonomiskā vērtību ķēde [326].

Dabas resursi tiek iegūti un tiek izmantoti dažādu produktu ražošanā. Ražošanas efektivitāte ir atkarīga no izmantotajiem produktiem/izejvielām un saražotā produkta. Labklājība ir atkarīga no ekonomiskās izaugsmes, produkta ekonomiskās pamatotības un dabas resursu ilgtspējīgas izmantošanas. Resursu nepietiekamība iestājas brīdī, kad dabas resursu pieejamais daudzums ir nepietiekams, lai nodrošinātu nepieciešamās produkcijas saražošanu. 1992. gadā *The World Business Council for Sustainable Development* WBCSD (Pasaules Biznesa padome ilgtspējīgai attīstībai) aktualizē ekoefektivitātes konceptu. WBCSD mērķis ir veicināt pāreju uz ilgtspējīgu uzņēmējdarbību. Organizācijas mērķi 2050. gadam ietver ārējo izmaksu novērtējumu (ekosistēmu pakalpojumi, ūdens patēriņš u.c.), lauksaimniecības efektivitātes palielināšanu, nepalielinot izmantotās zemes platību un ūdens patēriņu, pārmērīgas mežu ciršanas novēršanu, CO<sub>2</sub> emisiju samazināšanu un pāreju uz zema oglekļa emisiju energoapgādi, kā arī energopatērētāju vadība [327]. Ekoefektivitāte ir resursu efektivitāte un resursu produktivitāte, proti, samazināt izmantoto resursu daudzumu un radīto atkritumu apjomu, kā arī palielināt produktu ekonomisko un pievienoto vērtību. Uzņēmumu līmenī ekoefektivitāte ir sasaiste starp tā vides un ekonomisko sniegumu.

### 9.1.2. Investīcijas un finansēšana

Investīcijas ir ilgtermiņa kapitālieguldījums kādā uzņēmumā jaunas darbības īstenošanai, piemēram, jauna produkta ražošanai, lai gūtu peļņu vai kādu citu vērtīgu efektu. Investīciju dinamiku ietekmē vairāki faktori, piemēram, ekonomiskā situācija un uzņēmējdarbība valstī, tirgus pieprasījums un piedāvājums, kredīta procentu un nodokļu tirgus, kā arī situācija ārējos tirgos, proti, citās pasaules valstīs.

Investīcijas bioprodukta ražošanas tehnoloģijās tiek aprēķinātas, izmantojot 9.1. formulu [322]:

$$IPRT = J_p \cdot IPRT_i, \quad (9.1.)$$

kur

$IPRT$  investīcijas bioprodukta ražošanas tehnoloģijās, eiro/gadā;

$J_p$  pasūtītās jaudas, (t/gadā)/gadā;

$IPRT_i$  īpatnējās investīcijas bioprodukta ražošanas tehnoloģijās, eiro/(t<sub>prod.</sub> gadā).

Investīcijas bioprodukta ražošanas tehnoloģijās tiek izmantotas bioproduktu ražošanas kapitālizmaksu aprēķinam. Investīcijas jaunu bioproduktu ražošanas tehnoloģijās palielina kapitālizmaksas. Tādējādi kapitālizmaksu palielinājums tiek aprēķināts, izmantojot 9.2. formulu [322].

$$KIP = IPRT \cdot \frac{r}{1 - \frac{1}{(1+r)^n}}, \quad (9.2.)$$

kur

$KIP$  kapitālizmaksu palielinājums, (eiro/gadā)/gadā;

$r$  diskonta likme;



$n$  ekonomiskais dzīves ilgums, gadi.

Bioprodukta ražošanas kapitālizmaksas ir ikgadējo kapitālizmaksu vērtība, kas tiek izmantota bioprodukta kopējo izmaksu noteikšanai [322].

$$KI(t) = \int_{t_0}^t [KIP(t) - KIS(t)] dt + KI(t_0),$$

(9.3)

kur

$KI$  bioprodukta ražošanas kapitālizmaksas, eiro/gadā;

$KIS$  kapitālizmaksu samazinājums, (eiro/gadā)/gadā.

Kapitālizmaksas samazinās, kad izmantotās iekārtas bioproduktu ražošanai tiek atpelnītas. Kapitālizmaksu samazinājums tiek noteikts, ņemot vērā tehnoloģisko iekārtu ekonomisko dzīves ilgumu. Tas tiek noteikts, izmantojot funkciju *DELAYPPL*, kas parāda novēlojumu.

$$KIS = DELAYPPL(KIP, n),$$

(9.4)

kur

$n$  iekārtu ekonomiskais dzīves ilgums, gadi.

### 9.1.3. Pieprasījums, piedāvājums un cenas

Modelī nav apskatīts pieprasījums un piedāvājums, bet gan pieņemts, ka Latvijā saražotais apjoms starptautiskā mērogā būs neliels un nespēs ietekmēt pieprasījuma un piedāvājuma attiecību. Sākotnēji primārais produkta tirgus ir eksporta tirgus, nevis vietējais. Parametrs, kas tiek ņemts vērā, ir produkta cena. Cenu var pieņemt kā konstantu lielumu vai arī, ja pieejamas cenu prognozes, pieņemt cenu izmaiņas (palielinājumu) laikā [322].

### 9.1.4. Darbaspēks un darbaspēka izmaksas

Nepieciešamais darbaspēks tiek noteikts, ņemot vērā, cik daudz jaunu darbavieta rada ražošanas jaudu palielinājums, kā arī kāds ir darbavieta samazinājums, likvidējot ražošanas jaudas [322]. Bioprodukta ražošanas darbaspēks tiek aprēķināts, izmantojot 9.5. formulu.

$$PRD(t) = \int_{t_0}^t (DP(t) - DS(t)) dt + PRD(t_0),$$

(9.5.)

kur

$PRD$  bioprodukta ražošanas darbaspēks, cilvēki;

$DP$  darbaspēka palielinājums, cilvēki/gadā;

$DS$  darbaspēka samazinājums, cilvēki/gadā.

Darbaspēka palielinājums tiek noteikts, ņemot vērā nepieciešamību pēc jauna darbaspēka, kas rodas ražošanas jaudu pieauguma gadījumā.

$$DP = IF(ND > PRD, ND - PRD, 0), \quad (9.6.)$$

kur

$ND$  nepieciešamais darbaspēks, cilvēki.

Nepieciešamais darbaspēks tiek noteikts, ņemot vērā plānotās ražošanas jaudas izmaiņas un nepieciešamo darbaspēku uz vienu ražošanas jaudas vienību. Nepieciešamais darbaspēks tiek aprēķināts ar 9.7. formulu.

$$ND = D_{\bar{t}} \cdot J_j, \quad (9.7)$$

kur

$D_{\bar{t}}$  darbaspēks uz vienu jaunās jaudas vienību, cilvēki/(t/gadā);

$J_j$  jaunā jauda, t/gadā.

Jaunā jauda tiek aprēķināta ar 9.8. formulu.

$$J_j = J_R + J_{EN} - J_N, \quad (9.8)$$

$J_j$  jaunā jauda, t/gadā;

$J_R$  ražošanas jauda, t/gadā;

$J_{EN}$  ekspluatācijā nodotās jaudas, t/gadā;

$J_N$  nokalpojušās jaudas, t/gadā.

Aprēķinot darbaspēku uz vienu jaunās jaudas vienību, ir jāņem vērā ražošanas jaudu ietekme uz darbaspēku nepieciešamību, jo, palielinoties ražošanas jaudām, samazinās nepieciešamais darbaspēks uz vienu jaudas vienību. Tādējādi darbaspēks uz vienu jaunās jaudas vienību tiek aprēķināts ar 9.9. formulu.

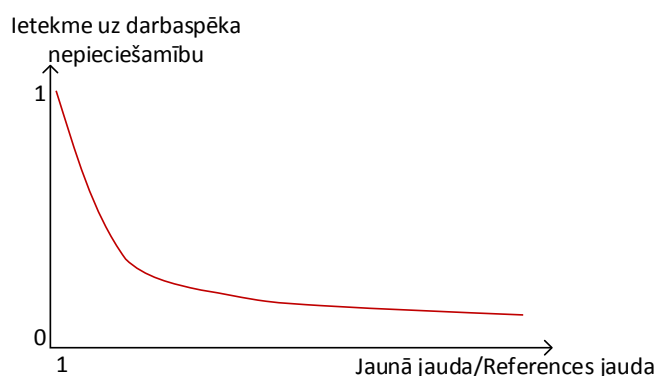
$$D_{\bar{t}} = D_{\bar{t}}(t_0) \cdot I_{RJ}, \quad (9.9)$$

kur

$D_{\bar{t}}(t_0)$  sākotnējā darbaspēka vērtība uz vienu jaudas vienību, cilvēki/(t/gadā);

$I_{RJ}$  ražošanas jaudu ietekme uz darbaspēka nepieciešamību.

Ražošanas jaudas ietekme uz darbaspēka nepieciešamību ir koeficients, kuras vērtības diapazons ir 0,1–1,0 (skatīt 9.7. attēlu).



Šī koeficienta vērtība tiek iegūta no nelineāras sakarības, kurā par neatkarīgo mainīgo tiek izmantota attiecība starp jauno jaudu un references jaudu.

$$I_{RJ} = f(J_j; J_{ref}), \quad (9.10)$$

kur

$J_{ref}$  references jauda, t/gadā.

Darbaspēka ikgadējās izmaksas tiek aprēķinātas, izmantojot formulu.

$$D_I = PRD \cdot A_v, \quad (9.11)$$

kur

$D_I$  darbaspēka ikgadējās izmaksas, eiro/gadā;

$A_v$  viena darbinieka vidējā alga, eiro/(cilvēku gadā).

### 9.1.5. Ieņēmumi, izmaksas un peļņa

Kopējā ikgadējā peļņa tiek aprēķināta ar formulu.

$$I_{ki} = R_{ki} - C_{ki}, \quad (9.12)$$

kur

$I_{ki}$  kopējā ikgadējā peļņa no, eiro/gadā;

$R_{ki}$  kopējie ikgadējie ieņēmumi no bioprodukta ražošanas, eiro/gadā;

$C_{ki}$  kopējās ikgadējās bioprodukta izmaksas, eiro/gadā.

Kopējie ikgadējie ieņēmumi ir summa, ko veido ieņēmumi no bioprodukta pārdošanas. Kopējās ikgadējās izmaksas veido bioprodukta vai bioproduktu ražošanas izmaksas. Kopējie ikgadējie ieņēmumi tiek aprēķināti, izmantojot 9.13. formulu.

$$R_{ki} = P_{BP} \cdot PA_{BP}, \quad (9.13)$$

kur

$P_{BP}$  bioprodukta cena, eiro/t;

$PA_{BP}$  bioproduktu pārdotais apjoms, t/gadā.

Bioprodukta ražošanas īpatnējās izmaksas ietver mainīgās izmaksas un kapitālizmaksas. Izmaksās tiek ietverts arī emerģijas nodoklis, kas ir atkarīgs no ražošanas ķēdes ilgtspējas novērtējuma. Mainīgās izmaksas ietver:

- darbaspēka ikgadējās īpatnējās izmaksas;
- īpatnējās elektroenerģijas izmaksas;
- citas ar bioprodukta ražošanu saistītas izmaksas, piemēram, ūdens un citu papildizejvielu izmaksas;
- siltumenerģijas izmaksas.

Pastāvīgās izmaksas ir:

- bioprodukta ražošanas kapitālizmaksas.

Bioprodukta ražošanas izmaksas gadā tiek aprēķinātas, ņemot vērā bioprodukta īpatnējās ražošanas izmaksas un saražoto bioprodukta apjomu gadā. Tādējādi bioprodukta ražošanas izmaksas tiek aprēķinātas, izmantojot 9.14. formulu.

$$C_{BP} = C_{\bar{t}} \cdot R_{BP}, \quad (9.14)$$

kur

$C_{BP}$  bioprodukta ražošanas izmaksas, eiro/gadā;

$C_{\bar{t}}$  bioprodukta ražošanas īpatnējās izmaksas, eiro/t;

$R_{BP}$  bioprodukta ražošanas apjoms, t/gadā.

Lai aprēķinātu kopējo ekonomisko ikgadējo peļņu uz izmantotā resursa vienību, tiek izmantota 9.15. formula.

$$P_{ki} = \frac{I_{ki}}{R_{BI}}, \quad (9.15)$$

kur

$P_{ki}$  kopējā ikgadējā peļņa uz izmantotā resursa vienību, eiro/t;

$R_{BI}$  izmantotās izejvielas apjoms, t/gadā.

Lēmumi par resursu izmantošanu produkta ražošanai tiek pieņemti, ņemot vērā peļņas rādītājus vairāku gadu garumā [1]. Ja peļņas rādītāji ir pozitīvi, tad notiek produkta ražošanas attīstība, kamēr, ja peļņas rādītāji ir negatīvi, produkta ražošanas apjomi samazinās vai ražošana tiek apturēta pavisam.

## 9.2. Bioeļļas ražošanas ekonomiskās analīze

Šajā nodaļā tiek aprakstīti bioproduktu ekonomiskās analīzes rezultāti. Lai izvērtētu bioproduktu ekonomisko pamatotību, analīzei tiek izmantota sistēmdinamikas modelēšanas datorprogramma *Powersim Studio 8*.

Ekonomiskās analīzes veikšanai svarīgs priekšnosacījums ir izejas datu pieejamība. Lai varētu izvērtēt trīs izvēlēto tehnoloģiju ekonomisko izdevīgumu, nepieciešami izejas dati gan par tehnoloģiskajiem procesiem, enerģijas patēriņu, izejvielu un materiālu plūsmām. Ekonomiskajā analīzē izmantoti dati par meža resursu apjomiem, kā arī to iegūšanas, transportēšanas un pārdošanas ekonomiskajiem rādītājiem. 9.1. tabulā parādīti izejas dati, kas attiecas uz visu trīs produktu ekonomisko analīzi. Turpmākajās apakšnodaļās katrs no produktiem un ar tiem saistītie individuālie rādītāji aplūkoti atsevišķi. Modelēšanas procesā tika skatītas visas 9.1. tabulā uzskaitītās izejvielas, un tika salīdzinātas to izmaksas, ņemot vērā gan mežizstrādes, gan transportēšanas izmaksas.

9.1. tabula. Sistēmdinamikas modeļa ievaddati par meža resursiem un izmaksām

	Skaitliskā vērtība	Mērvienība
Ciršanas atliekas	500 000	cieš.m <sup>3</sup>
Celulozes šķelda no skujkoku zāģbalķiem	1 200 000	cieš.m <sup>3</sup>
Tehnoloģiskā koksne un šķelda no lapkoku zāģbalķiem	1 300 000	cieš.m <sup>3</sup>
Tehnoloģiskā koksne no meža un skujkoku zāģbalķiem	1 700 000	cieš.m <sup>3</sup>
Malka	1 000 000	cieš.m <sup>3</sup>
Papīrmalka	3 100 000	cieš.m <sup>3</sup>
Ciršanas atlieku cena	10	eiro/ber.m <sup>3</sup>
Tehnoloģiskās un celulozes šķeldas cena	11	eiro/ber.m <sup>3</sup>
Malkas cena	22	eiro/cieš.m <sup>3</sup>
Tehnoloģiskās koksnes cena	28	eiro/cieš.m <sup>3</sup>
Papīrmalkas cena	33	eiro/cieš.m <sup>3</sup>
Meža šķeldas sagatavošanas izmaksas	8,5	eiro/ber.m <sup>3</sup>
Kokmateriālu mežizstrādes izmaksas	9,5	eiro/cieš.m <sup>3</sup>
Šķeldas transportēšana (30–200 km)	0,92–4,44	eiro/ber.m <sup>3</sup>
Kokmateriālu transportēšana (30–200 km)	2,69–11,90	eiro/cieš.m <sup>3</sup>

Ražošanas procesā tika izmantots lētākais pieejamais resurss, un, ja ar to nebija pietiekami jaudas nodrošināšanai, tika izmantots nākamais lētākais resurss. Kā pamatresursi, skatoties pēc ekonomiskā izdevīguma, bija malka un mežizstrādes atlikumi, kam sekoja tehnoloģiskā šķelda. Pārējie resursi faktiski netika izmantoti savas augstās cenas dēļ, jo nepieciešamo apjomu ražošanas vajadzībām bija iespējams nosegt ar malku un šķeldām.

9.2. tabulā parādīti iespējamie investīciju apjomi uz noteiktu ražošanas jaudu. Dati ņemti, balstoties uz investīcijām reālās ražotnēs, kas šobrīd ir vienas no lielākajām savā sfērā. Liocela šķiedras ražošanas gadījumā investīcijas sastāv no divām daļām – investīcijām liocela šķiedras ražotnē (150 miljoni eiro), kā arī investīcijām celulozes ražotnē (140 miljoni eiro).

9.2.tabula. Investīciju piemēri no esošām ražotnēm

	Investīcijas, milj. eiro	Jauda, t/gadā	Atsauce
Bioeļļa	30	50 000	[328]
Liocela šķiedra	150 + 140	67 000	[329], [330]
Ksilāna atvasinājumi	75	15 000	[331]

Ekonomiskā izvērtējuma modelēšanas procesā tika izdarīti vairāki pieņēmumi, kas visiem produktiem tika izvēlēti vienādi. Lai gan realitātē starp dažādiem produktiem iespējama atšķirīga cenu izmaiņu dinamika, lai pēc tam būtu vieglāk savstarpēji salīdzināt visus produktus, tika izvēlētas vienādas dinamiskās attīstības vērtības.

Sistēmdinamikas modeļa aprēķinos izmantoti šādi pieņēmumi:

- izejvielu un gala produktu cenas pieaugums 2 % gadā;
- atalgojuma pieaugums nodarbinātajiem 3 % gadā;
- siltumenerģijas tarifa pieaugums 1,5 % gadā;
- elektroenerģijas tarifa pieaugums 1,5 % gadā.

Pieņēmumi balstīti uz Centrālās statistikas pārvaldes vēsturisko datu analīzi un ekspertu viedokļiem, tostarp LVM pārstāvju ieteikumiem.

### 9.2.1. Bioeļļas ekonomiskā analīze

Ekonomikas analīzē izmantotais bioeļļas ražošanas tehnoloģiskais risinājums tika izvēlēts, balstoties uz 2012. gadā Somijā uzbūvēto bioeļļas ražotni. Pasaulē šobrīd darbojas tikai pāris lielas jaudas bioeļļas ražotnes, no kurām lielākās atrodas Kanādā (15 000 t/gadā), ASV (45 000 t/gadā), Nīderlandē (24 000 t/gadā) un Somijā (50 000 t/gadā) [332]. Bioeļļas ražotne Somijā tika uzcelta sadarbībā ar uzņēmumu *Fortum*, un atrodas blakus *Fortum* koģenerācijas stacijai Joensū pilsētā.

Procesa tehnoloģiskās shēmas pamatā ir verdošā slāņa pirolīzes reaktors, kas savienots ar koģenerācijas staciju. Šajā gadījumā koģenerācijas stacija netiek būvēta speciāli bioeļļas ražotnei, bet bioeļļas ražotne tiek būvēta blakus esošai koģenerācijas stacijai. Tādēļ ieguvums ir gan koģenerācijas stacijai, gan bioeļļas ražotnei, jo bioeļļas ražošanas procesā iegūtos blakusproduktus (bioogles un pirolīzes gāzi) var sadedzināt koģenerācijas iekārtā pirolīzes procesa siltuma un elektroenerģijas nodrošināšanai. Tas ļauj koģenerācijas staciju darbināt ar augstāku noslodzi, līdz ar to ceļot arī stacijas lietderības koeficientu [333].

Pie bioeļļas ražotnes atrodas arī priekšapstrādes iekārtas, kas paredzētas biomasas sagatavošanai pirms ievadīšanas pirolīzes reaktorā. Pirmsapstrāde iekļauj biomasas žāvēšanu un samalšanu.

### 9.2.2. Sistēmdinamikas modeļa ievaddati par bioeļļas ražošanu

Sistēmdinamikas modelī izmantotie ievaddati, kas attiecas tieši uz bioeļļas ražošanas procesu, parādīti 9.3. tabulā. Dati par bioeļļas ražošanas izejvielām parādīti 9.1. tabulā.

9.3.tabula. Sistēmdinamikas modeļa ievaddati par bioeļļas ražošanas izvērtēšanai

	Skaitliskā vērtība	Mērvienība	Atsauce
Reaktorā ievadītās biomasas relatīvais mitrums	10	%	[334]
Bioeļļas izstrādes apjoms	70	%	[335]
Kapitālizmaksas	600	eiro/t	[328]
Bioeļļas cena	190	eiro/t	[336], [337]
Darbspēka nepieciešamība	0,0003	cilv./t	[338]
Vidējā alga sektorā	1125	eiro/mēn.	[339]

Bioeļļas izstrādes apjoms, kā arī priekšapstrādes nosacījumi ņemti, balstoties uz vairākiem literatūras avotiem, un izvēlētas vidējās vērtības. Bioeļļas izstrādes apjoms ir atkarīgs no dažādiem apstākļiem, tostarp ievadītās biomasas veida un sagatavošanas. Izmantojot meža

atlikumus ar augstu lapu/skuju īpatsvaru, bioeļļas izstrādes apjoms samazināsies, kamēr izmantojot kvalitatīvākus izejmateriālus, saražotās bioeļļas apjoms var pārsniegt pat 75 %. Bioeļļas izstrādes apjoms attiecināms uz jau izžāvētu un sagatavotu biomasu.

Tiek pieņemts, ka žāvēšanas iekārtās tiek ievadīta biomasa ar 50 % relatīvo mitrumu, bet pēc žāvēšanas tam jābūt ne augstākam par 10 %.

Ražošanas procesā netiek pievadīta papildu enerģija, jo tiek pieņemts, ka procesa blakusprodukti – bioogles uz pirolīzes gāze, tiek sadedzināti koģenerācijas stacijā esošajā katlā, un ar iegūto enerģiju pietiek, lai nosegtu procesā nepieciešamo siltumu un elektroenerģiju [340]. Dažādos avotos minēts atšķirīgs siltumenerģijas un elektroenerģijas patēriņš, bet no visiem avotiem var spriest, ka ar bioogļu un pirolīzes gāzes enerģiju ir pietiekami, lai nosegtu procesa enerģijas nepieciešamību [341], [342]. Balstoties uz [342] dotajiem aprēķiniem, noteikts, ka procesa nodrošināšanai nepieciešams 1800–1900 kWh/t enerģijas, kamēr no blakusproduktiem iegūstamais enerģijas apjoms sadedzināšanas rezultātā veido 2000 kWh/t.

Tā kā šobrīd Latvijā nedarbojas neviena bioeļļas ražošanas iekārta, sistēmdinamikas modeļi tiek pieņemti vidējā darba samaksa enerģētikas nozarē, kas varētu atbilst arī bioeļļas ražošanas gadījumam. Dati par algu tiek ņemti no Centrālās statistikas pārvaldes. Šajā gadījumā darbaspēka izmaksas netiek ņemtas no ārzemju literatūras, jo vidējā darba samaksa nozarēs ir atkarīga no konkrētās valsts.

Bioeļļas cena arī atšķiras atkarībā no literatūras avota, un svārstās plašā diapozonā (160–250 eiro/t). Bioeļļas cena tiek izvēlēta tuvāk minimālajai vērtībai (190 eiro/t). Galvenais cenu ietekmējošais faktors šobrīd ir mazuta cena, jo, lai gan bioeļļu iespējams izmantot arī biodīzeļdegvielas, vai dažādu ķīmisku elementu iegūšanai, šobrīd tas netiek darīts, un pamatā bioeļļu izmanto kurināmajos katlos, aizstājot mazutu. Cenas svārstības atkarīgas arī no bioeļļas enerģētiskās vērtības. Enerģētiskā vērtība uz produkta tonnu var atšķirties izmantotā izejmateriāla un priekšapstrādes parametru ietekmē. Lai iegūtu augstāku enerģētisko vērtību, jāievēro norādītās biomasas sagatavošanas prasības, pretējā gadījumā iespējams augstāks ūdens īpatsvars galaproduktā, līdz ar to zemāka enerģētiskā vērtība un pārdošanas cena.

### 9.2.3. Pieņēmumi bioeļļas ražošanai

Bioeļļas ekonomiskās izvērtēšanas gaitā tika izdarīti šādi pieņēmumi:

- bioeļļas ražotne tiek celta blakus koģenerācijas stacijai;
- koģenerācijas stacijas būvniecība netiek iekļauta ekonomiskajā izvērtējumā (tiek uzskatīts, ka izmanto jau esošu koģenerācijas staciju);
- tiek pieņemts, ka izmaksas, kas saistītas ar enerģijas izmantošanu, tiek segtas no blakusproduktu sadedzināšanas;
- ražošanas apjoms tiek pieņemts 30 000 t/gadā (balstoties uz Latvijā pieejamo koģenerācijas staciju jaudu);
- žāvēšanas iekārtā tiek ievadīta biomasa ar 50 % mitrumu;
- tehnoloģiju ekonomiskais dzīves ilgums tiek pieņemts 15 gadi;
- investīciju diskonta likme tiek pieņemta 7 %.

- pārējās izmaksas tiek pieņemtas 10 % apmērā.

Tiek pieņemts, ka līdzīgi kā Somijas gadījumā, bioeļļas ražotne tiek būvēta blakus koģenerācijas stacijai, bet, ņemot vērā, ka Latvijā nav tik lielas biomasas koģenerācijas stacijas kā Somijā, arī bioeļļas ražošanas potenciāls tiek pieņemts zemāks – 30 000 tonnas gadā. Lielāku apjomu iespējams saražot, būvējot vairākas bioeļļas ražotnes vai arī investējot papildus enerģijas ražošanas iekārtās.

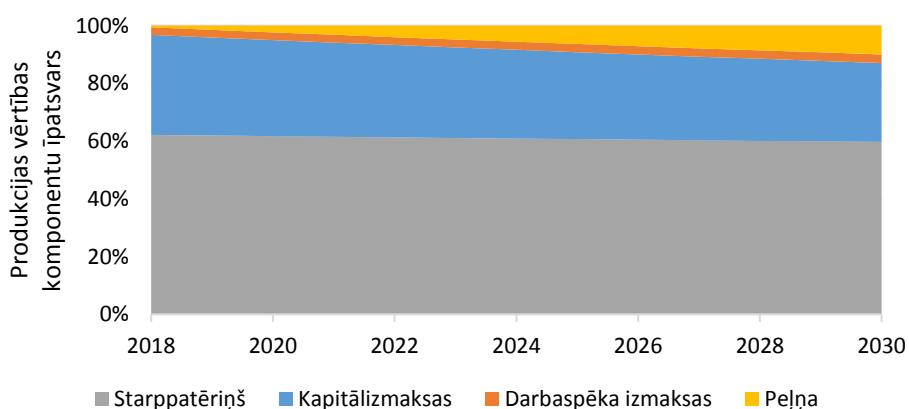
Koģenerācijas staciju šajā gadījumā var pieņemt arī kā enerģijas pārdevēju bioeļļas ražotnei, jo blakusprodukti tiek padoti uz koģenerācijas staciju, bet pretī tiek saņemts siltums un elektroenerģija. ņemot vērā, ka aprēķini rāda, ka neliela daļa no blakusproduktu enerģijas paliek pāri, tiek pieņemts, ka ar šo daļu tiek segtas papildu ražošanas izmaksas koģenerācijas stacijā. Papildus tam, pateicoties papildu slodzei, ko nodrošina enerģijas ražošana bioeļļas ražotnei, uzlabojas arī koģenerācijas stacijas lietderības koeficients elektroenerģijas izstrādei, un tas koģenerācijas stacijai sniedz papildu peļņu.

Diskonta likme 7 % apmērā tiek ņemta kā vidējā vērtība starp 5 %, kas bieži tiek lietota enerģētikas infrastruktūras objektu plānošanas gadījumā, un 10–12 %, kas varētu būt diskonta likme mazākiem projektiem ar īsāku termiņu. Reālā vērtība, protams, atkarīga no katra konkrētā projekta, un tā jāizvērtē izstrādājot attiecīgo projektu.

#### 9.2.4. Sistēmdinamikas modelēšanas rezultāti bioeļļas ražošanai

Ekonomiskā analīze tika veikta līdz 2030. gadam, un tika pieņemts, ka būvniecība varētu sākties 2018. gadā. 9.2. attēlā parādīts, kā varētu izskatīties bioeļļas vērtības sadalījums. Redzams, ka lielāko daļu jeb vairāk nekā 60 % veido starppatēriņš. Starppatēriņš iekļauj izejvielas un to izmaksas.

Pārējo daļu veido kapitālizmaksas, darbaspēka izmaksas un peļņa, kas kopā veido produkta pievienoto vērtību. Kā redzams, peļņas daļai ir tendence pieaugt, kamēr kapitālizmaksu daļai nedaudz samazināties. Tas skaidrojams ar to, ka tiek prognozēts bioeļļas cenas pieaugums, kura temps pieņemts 2 % apmērā, kamēr realitātē tas atkarīgs lielā mērā no mazuta cenas izmaiņām. Tajā pašā laikā kapitālizmaksu samazinājums saistīts ar to, ka atšķirībā no produkta pārdošanas cenas, kapitālizmaksām netiek prognozēts cenas pieaugums, jo tehnoloģijas laika gaitā paliek lētākas, vai saglabājas pašreizējā līmenī, ja vien netiek pilnībā nomainītas uz kādu citu, jaunāku tehnoloģiju.

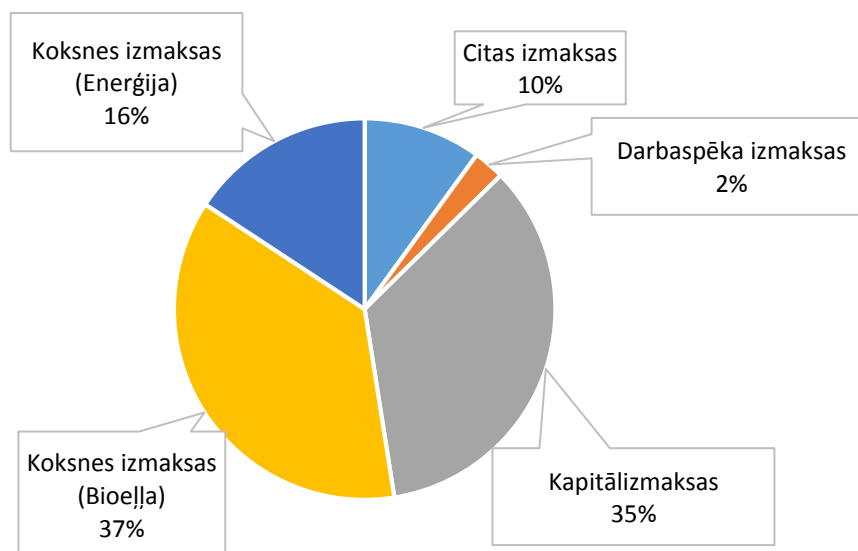


9.8. attēls. Bioeļļas ražošanas vērtības sadalījums.



Kā redzams 9.8. attēlā, starppatēriņam un darbaspēka izmaksām netiek prognozētas ievērojamas izmaiņas attiecībā pret pārējām produkta vērtību daļām.

Skatoties atsevišķi tikai ražošanas izmaksu pozīciju, 9.9. attēlā redzams, ka vairāk nekā pusi veido tieši koksnes izmaksas. Šajā sadalījumā nav atsevišķi izdalītas enerģijas izmaksas, jo tā kā enerģija tiek nodrošināta no blakusproduktu sadedzināšanas, enerģijas izmaksas iekļaujas jau izejvielu izmaksās. Uzskatāmības dēļ koksnes izmaksas ir sadalītas divās daļās, parādot cik liela daļa no koksnes aiziet gala produktā, un cik liela daļa blakusproduktos, tādējādi aptuveni parādot kāda varētu būt enerģijas izmaksu daļa.



9.9. attēls. Bioeļļas izmaksu pozīciju sadalījums.

Kapitālizmaksas veido nākamo lielāko izmaksu daļu, un kopā ar izejvielu izmaksām tie ir gandrīz 90 % no visām izmaksām. Šīs pozīcijas ir minimāla iespēja ietekmēt, un 9.9. attēls rāda, ka peļņas daļa ir ļoti niecīga, kas nozīmē, ka bioeļļas cena nedrīkst būt zemāka par ekonomiskajā analīzē izvēlēto vērtību, kā arī ražošanas efektivitātei ir jābūt tuvu norādītajam līmenim, lai bioeļļas ražošana būtu ekonomiski pamatota, un būtu iespējams gūt peļņu.

Ja ražošanas efektivitāte ir augsta un saražotās bioeļļas enerģētiskā vērtība ir augstāka par vidējo literatūrā norādīto vērtību (13–18 MJ/kg), arī bioeļļu būs iespējams pārdot par augstāku cenu, un peļņas rādītāji uzlabosies.

Šajā pētījumā tika skatīts variants ar koģenerācijas stacijas izmantošanu enerģijas ieguvei. Lai noteiktu, kādi varētu būt ekonomiskie rādītāji individuālajai katlu mājai un elektroenerģijas iepirkšanai no tīkla, ir jāveic papildu analīze.

### 9.3. Liocela ražošanas ekonomiskā analīze

Liocela ražošanas tehnoloģiskais risinājums ekonomiskajai analīzē tika izvēlēts, balstoties uz *Lenzig* grupas ražošanas praksi. Pasaulē šobrīd darbojas vairākas *Lenzig* grupā esošas ražotnes, no kurām divas atrodas Austrijā (65 000 un 67 000 t/gadā), viena ASV (50 000 t/gadā), un viena Lielbritānijā (40 000 t/gadā) [343]. *Lenzig* ir viens no trīs lielākajiem liocela ražotājiem pasaulē. Galvenie konkurenti ir liocela ražotāji no Āzijas, bet par to uzstādītajām jaudām un investīciju apjomu ir ļoti skopa informācija.

Ekonomiskajā analizē tiek ņemts vērā, ka liocela šķiedras ražošanas galvenā izejviela ir celuloze. Tas nozīmē, ka nepieciešama celulozes rūpnīca, un tās būvēšana un izmaksas arī tiek ņemtas vērā ekonomiskajos aprēķinos. Celulozes rūpnīcu iespējams celt lielāku, nekā nepieciešams liocela ražošanai, bet, tā kā netiek pētīta celuloze kā izejviela, tad ražotne tiek izvēlēta atbilstoši liocela ražošanas nepieciešamībai, un tiek pieņemts, ka visa saražotā celuloze tiek pārvērsta liocela šķiedrā. Celulozi izdevīgas importa cenas gadījumā iespējams iepirkt arī no ārvalstu ražotājiem, tomēr, tā kā pētījuma mērķis ir noskaidrot vietējo resursu izmantošanas iespējas augstas pievienotās vērtības produktu ražošanai, šāds variants netika apskatīts.

Procesa tehnoloģiskās shēmas pamatā ir celulozes rūpnīca un liocela ražotne. Celulozes ražošanas procesam nepieciešama siltumenerģija un elektroenerģija, ūdens, kā arī ķīmikālijas – nātrijs sārms (NaOH), magnija oksīds (MgO), sēra dioksīds (SO<sub>2</sub>) un ūdeņraža pārskābe (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Citas ķīmikālijas atsevišķi netika skatītas, jo to izmantošanas apjomi ir salīdzinoši nelieli. Liocela ražošanas procesam nepieciešama arī elektroenerģija un siltumenerģija, ūdens, kā arī organisks šķīdinātājs NMMO (*N-Methylmorpholine N-oxide*). Celulozes ražošanas blakusprodukti (hemiceluloze un lignīns) tiek izmantoti kurināmā katlā, lai ražotu celulozes un liocela procesiem nepieciešamo siltumenerģiju. Elektroenerģija tiek ņemta no tīkla.

### 9.3.1. Sistēmdinamikas modeļa ievades dati par liocela ražošanu

Sistēmdinamikas modelī izmantotie ievaddati, kas attiecas tieši uz liocela ražošanas procesu, parādīti 9.4. tabulā. Dati par liocela ražošanas izejvielām parādīti 9.1. tabulā.

Celulozes izstrādes apjoms, kas dots 9.4. tabulā, attiecas uz sausas koksnes masu. Tehnoloģiju aprakstos nav minēts, ka koksne būtu jāžāvē līdz kādam noteiktam mitruma saturam, tāpēc pieņemts, ka tiek ievadīta koksne ar 50 % mitrumu, bet tālākajos aprēķinos tiek ņemts vērā, ka izstrādes apjoms attiecināts tikai uz sausās koksnes masu, nevis ievadītās koksnes masu.

9.4. tabula. Sistēmdinamikas modeļa ievaddati liocela ražošanas izvērtēšanai

	Skaitliskā vērtība	Mērvienība	Atsauce
Celulozes izstrādes apjoms	32	%	[344]
Liocela ražošanas atkritumi	5	%	[254]
Kapitālizmaksas	4328	eiro/t	[329], [330]
Liocela cena	2500	eiro/t	[345], [346]
Darbspēka nepieciešamība (celuloze)	0,0058	cilv./t	[347]
Darbspēka nepieciešamība (liocela)	0,002	cilv./t	[348]
Vidējā alga sektorā	900	eiro/mēn.	[339]
NMMO cena	4000	eiro/t	[349], [350]
NMMO daudzums	6000	kg/t	[351]
NMMO atgūšanas procents	99,5	%	[254], [351]

NaOH daudzums	28	kg/t	[347]
MgO daudzums	20	kg/t	[347]
SO <sub>2</sub> daudzums	30	kg/t	[347]
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> daudzums	21	kg/t	[347]
NaOH cena	310	eiro/t	[347]
MgO cena	300	eiro/t	[352]
SO <sub>2</sub> cena	900	eiro/t	[353]
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> cena	675	eiro/t	[347]
Ķīmikāliju atgūšanas procents	97	%	[347]
Nepieciešamais enerģijas daudzums	47	GJ/t	[354]
Iegūstamā enerģija no blakusproduktiem	26	GJ/t	[354]

Darbspēka nepieciešamība celulozes un liocela ražošanai tika skatīta atsevišķi, un vidējā alga tika ņemta kā vidējā atalgojuma vērtība no Centrālās statistikas pārvaldes datubāzes.

Ņemot vērā literatūrā atrodamo informāciju, tika pieņemts, ka daļu no procesam nepieciešamās enerģijas iespējams iegūt no celulozes ražošanas blakusproduktiem (hemicelulozes un lignīna šķidrums). Enerģijas patēriņš skatīts kopā celulozes un liocela procesiem. Trūkstošais siltumenerģijas patēriņš tiek iegūts kurināmā katlā, sadedzinot papildus nepieciešamo biomasas daudzumu, bet elektroenerģija procesa nodrošināšanai tiek ņemta no elektroapgādes tīkla.

Atšķirībā no bioeļļas ražošanas procesa, celulozes un liocela ražošanai nepieciešams ievērojams ķīmikāliju apjoms, tāpēc tas ņemts vērā ekonomiskajos aprēķinos.

### 9.3.2. Pieņēmumi liocela ražošanai

Liocela ekonomiskās izvērtēšanas gaitā tika izdarīti šādi pieņēmumi:

- liocela rūpnīca tiek celta kopā ar celulozes ražotni;
- blakusprodukti tiek sadedzināti kurināmā katlā, un iegūtā siltumenerģija tiek izmantota ražošanas procesā;
- nepieciešamā elektroenerģija tiek ņemta no elektroapgādes tīkla;
- ražošanas apjoms tiek pieņemts 65 000 t/gadā;
- celulozes ražošanas procesā tiek ievadīta biomas ar 50 % mitrumu;
- tehnoloģiju ekonomiskais dzīves ilgums tiek pieņemts 15 gadi;
- investīciju diskonta likme tiek pieņemta 7 %;
- pārējās izmaksas tiek pieņemtas 30 % apmērā.

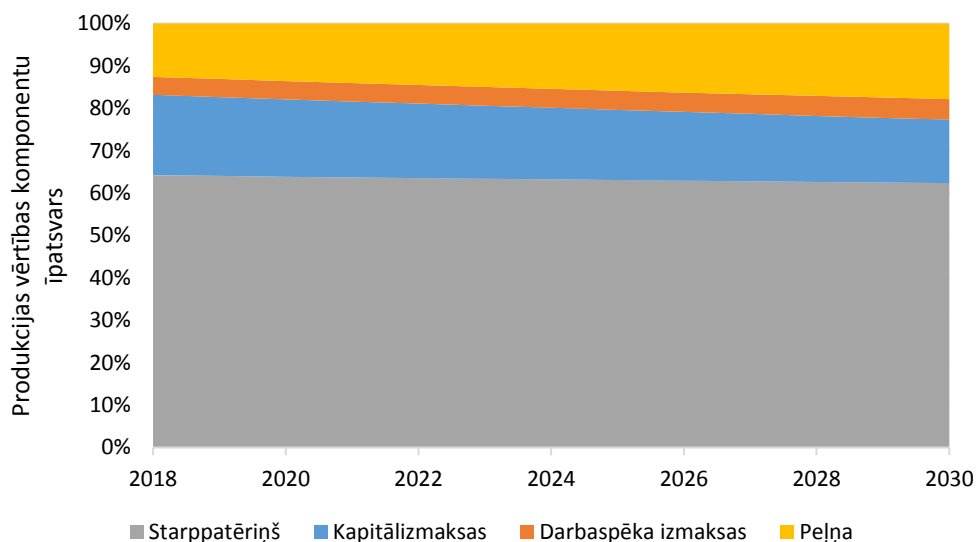
Pārējās izmaksas iekļauj darbināšanas un remonta izmaksas, ūdens izmaksas, pārējo ķīmikāliju izmaksas un citas izmaksas. Precīza informācija par atsevišķām sadaļām nebija pieejama, tāpēc, balstoties uz pieejamo informāciju, tika pieņemts, ka papildu izmaksas varētu būt 30 % apmērā no kopējām izmaksām [347], [343].

Ražotnes ražošanas jauda tika pieņemta 65 000 tonnas gadā, kas atbilst *Lenzig Austria* ražotņu izmēriem. Meža resursi ļautu ražot arī lielāku apjomu, bet jāņem vērā, ka šobrīd

tirgū pieprasījums pēc liocela vēl tikai aug. Austrijas piemērs ir pierādījis, ka šāds ražošanas apjoms ir ekonomiski pamatots.

### 9.3.3. Liocela ražošanas sistēmdinamikas modelēšanas rezultāti

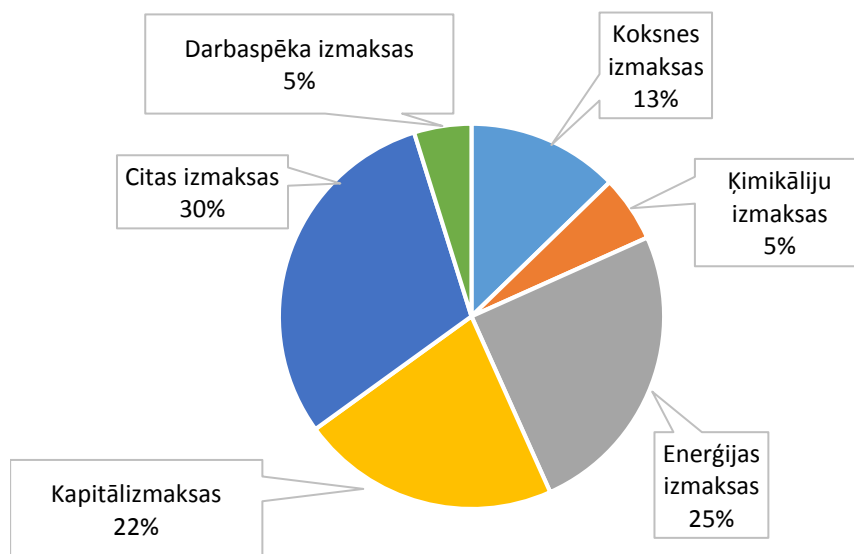
Līdzīgi kā bioeļļas gadījumā, arī liocela ražošanas ekonomiskā analīze tika veikta līdz 2030. gadam, un tika pieņemts, ka būvniecība varētu uzsākties 2018. gadā. 9.10. attēlā parādīts iespējamais liocela vērtības sadalījums. Arī liocela ražošanas gadījumā lielāko vērtības daļu aizņem starppatēriņš, kurā iekļaujas gan koksnes izmaksas, gan citas izejvielas.



9.10. attēls. Liocela ražošanas vērtības sadalījums.

Redzams, ka liocela gadījumā peļņas rādītāji ir daudz augstāki par bioeļļas rādītājiem. Nav informācijas, lai salīdzinātu, vai šie peļņas rādītāji atbilst reālajiem peļņas rādītājiem no liocela ražošanas. *Lenzig* grupa gada pārskatos norāda peļņas rādītājus, bet tos nav iespējams skatīt kā liocela peļņas rādītājus, jo paralēli liocelam *Lenzig* grupa ražo arī celulozi un citas tekstila šķiedras. Tomēr, ņemot vērā, ka nesen Austrijā tika uzbūvēta jauna liocela ražotne ar ražošanas jaudu 67 000 tonnas gadā, var pieņemt, ka *Lenzig* grupai peļņas rādītāji no liocela ražošanas un pārdošanas ir pietiekami augsti.

9.10. attēlā redzams, ka nav vērojamas būtiskas svārstības starp vērtību komponentiem.



9.11. attēls. Liocela izmaksu pozīciju sadalījums.

9.11. attēlā sīkāk izdalītas ražošanas izmaksas, atklājot gan enerģijas, gan ķīmikāliju un citas izmaksas. Redzams, ka galvenās izmaksu pozīcijas veido enerģijas izmaksas, kapitālizmaksas un citas izmaksas, kamēr darbaspēks, koksne un ķīmikālijas sastāda mazāku daļu no izmaksām. Liocela ražošana ir energointensīvs process, tāpēc atšķirībā no bioeļļas ražotnes, ražošanas procesiem nepieciešamo enerģijas patēriņu nav iespējams nodrošināt tikai ar blakusproduktu sadedzināšanu, bet nepieciešama ievērojama daļa papildus enerģijas.

#### 9.4. Ksilāna atvasinājumu ražošanas ekonomiskā analīze

Ksilāna atvasinājumu ražošanas tehnoloģiskais risinājums ekonomiskajai analīzē tika izvēlēts, balstoties uz zinātnisko literatūru un eksperimentāliem piemēriem, jo informācija no konkrētiem ražotājiem nebija pietiekami detalizēta. Ksilāns un tā atvasinājumi var būt kā izejviela vairākos ražošanas procesos, bet katram no tiem ir atšķirīgas prasības ksilāna tīrības un sastāva ziņā, kas ievērojami maina arī ražošanas izmaksas. Lai varētu veikt ekonomisko analīzi, tika izvēlēta ksilāna ražošana tālākai izmantošanai ksilitola iegūšanā. Bieži vien ksilitola rūpnīcas tiek būvētas kopā ar ksilāna iegūšanas rūpnīcām. Netika atrasta informācija, ka tiek celtas atsevišķas ksilāna rūpnīcas, jo ksilāns parasti tiek iegūts kā blakusprodukts citos ražošanas procesos. Ekonomiskajā analīzē tika skatīts, kādas varētu būt izmaksas, ja ksilāna rūpnīca tiktu celta atsevišķi un pārējā koksne tiktu izmantota enerģijas ieguvei, nenesot papildu peļņu no citu produktu, piemēram, celulozes pārdošanas. Ksilitola ražošana šobrīd ir vispopulārākais ksilāna izmantošanas veids, bet tāpat attīstās arī ksilāna atvasinājumu kā pārklājuma materiāla ražošana. Pasaulē šobrīd lielākais ksilitola ražotājs ir Ķīna, kas saražo gandrīz 50 % no kopējā ksilitola apjoma. Ķīna darbojas vairākas ksilitola ražotnes ar kopējo jaudu 125 000 tonnas gadā. Atsevišķu rūpnīcu izmēri ir aptuveni 20 000 tonnas gadā [355]. Eiropā galvenais spēlētājs ir *Danisco* kompānija, kura vienu no savām rūpnīcām uzbūvējusi blakus *Lenzig* celulozes ražotnei un kā izejvielu izmanto celulozes ražošanas blakusproduktus. Par ražošanas jaudām precīza informācija netika iegūta.

Ekonomiskajā analīzē tiek ņemta vērā ksilāna ražošana, lai tā atbilstu ksilitola ražošanas prasībām. Tehnoloģiskās shēmas pamatā ir koksnes mērcēšana un šķīdināšana ar dažādiem šķīdinātājiem. līdz tiek iegūts vēlamais produkts. Tiek skatīta mikroviļņu asistētā ekstrakcija,

kurā papildus ķīmikāliju izmantošanai tiek izmantoti arī mikroviļņi, lai celtu procesa efektivitāti un samazinātu enerģijas patēriņu [356]. Galvenās izmantotās ķīmikālijas ir amonija hidroksīds ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ), sālsskābe ( $\text{HCl}$ ) un nātrija sārms ( $\text{NaOH}$ ). Visas no šīm vielām iespējams daļēji atgūt un izmantot atkārtoti. Procesam nepieciešama arī siltumenerģija un elektroenerģija. Siltumenerģija tiek iegūta, ražošanas procesa pārpalikumus sadedzinot, kamēr elektroenerģija tiek ņemta no elektroapgādes tīkla.

Ksilāna atvasinājumu ražošanai būtisks priekšnosacījums ir lapu koksnes izmantošana, jo tajos ir ievērojami augstāks ksilāna saturs. Teorētiski iespējams izmantot arī skuju koksni, tomēr ksilāna ieguves apjoms būs ievērojami mazāks.

#### 9.4.1. Sistēmdinamikas modeļa ievaddati par ksilāna atvasinājumu ražošanu

Sistēmdinamikas modelī izmantotie ievaddati, kas attiecas tieši uz ksilāna ražošanas procesu, parādīti 9.5. tabulā. Dati par ksilāna atvasinājumu ražošanas izejvielām parādīti 9.1. tabulā.

9.5. tabula. Sistēmdinamikas modeļa ievaddati ksilāna ražošanas izvērtēšanai

	Skaitliskā vērtība	Mērvienība	Atsauce
Ksilāna izstrādes apjoms	15	%	[356]
Kapitālizmaksas	5 000	eiro/t	[331]
Ksilitola cena	2 500	eiro/t	[355]
Darbspēka nepieciešamība	0,0058	cilv./t	[347]
Vidējā alga sektorā	800	eiro/mēn.	[339]
$\text{NaOH}$ daudzums	38,7	kg/t	[356]
$\text{NH}_4\text{OH}$ daudzums	500	kg/t	[357]
$\text{HCl}$ daudzums	97	kg/t	[356]
$\text{NaOH}$ cena	310	eiro/t	[347]
$\text{NH}_4\text{OH}$ cena	300	eiro/t	[358]
$\text{HCl}$ cena	10 000	eiro/t	[359]
$\text{NaOH}$ atgūšanas procents	97	%	[347]
$\text{NH}_4\text{OH}$ atgūšanas procents	60	%	[360]
$\text{HCl}$ atgūšanas procents	88	%	[361]
Nepieciešamais enerģijas daudzums	8 200	kWh/t	[356]

Ksilāna izstrādes apjoms, kas redzams 9.5. tabulā, attiecas uz sausas koksnes masu. Nepieciešamais ķīmikāliju apjoms nātrija sārna gadījumā dots uz saražotās produkcijas vienību, kamēr pārējo ķīmikāliju apjoms dots uz izmantotās koksnes vienību.

Darbspēka nepieciešamība ņemta līdzīga celulozes ražošanai, ņemot vērā, ka daļa procesu ir ļoti līdzīgi, tikai vēršot pastiprinātāku uzmanību uz attiecīgajiem ražošanas posmiem. Alga tika ņemta kā vidējā atalgojuma vērtība no Centrālās statistikas pārvaldes datubāzes sadaļas par ķīmisko vielu un ķīmisko produktu ražošanu.

Siltumenerģija procesa nodrošināšanai tika iegūta, sadedzinot ksilāna atvasinājumu ražošanas procesā radušos blakusproduktus. Elektroenerģija procesa nodrošināšanai tiek ņemta no elektroapgādes tīkla.

Līdzīgi kā celulozes un liocela ražošanai, arī ksilāna atvasinājumu ražošanai nepieciešams ievērojams ķīmikāliju apjoms, tāpēc tas ņemts vērā ekonomiskajos aprēķinos.

#### 9.4.2. Pieņēmumi ksilāna atvasinājumu ražošanai

Ksilāna atvasinājumu ekonomiskās izvērtēšanas gaitā tika izdarīti šādi pieņēmumi:

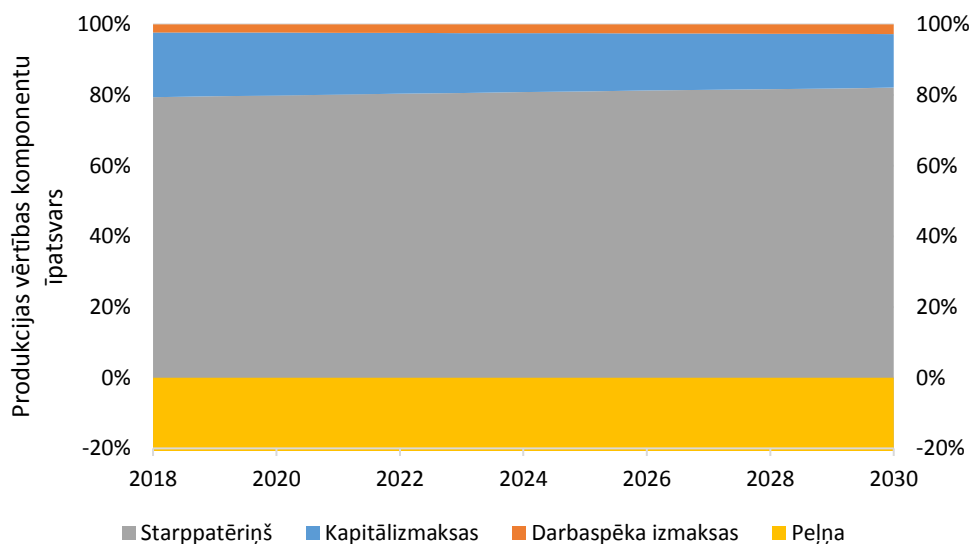
- ksilāna atvasinājumu ražotne tiek celta kā atsevišķa ražotne, neražojot blakusproduktus pārdošanai;
- ksilāns tiek ražots no lapu kokiem;
- blakusprodukti tiek sadedzināti kurināmā katlā, un iegūtā siltumenerģija tiek izmantota ražošanas procesā;
- nepieciešamā elektroenerģija tiek ņemta no elektroapgādes tīkla;
- ražošanas apjoms tiek pieņemts 20 000 t/gadā;
- tehnoloģiju ekonomiskais dzīves ilgums tiek pieņemts 15 gadi;
- investīciju diskonta likme tiek pieņemta 7 %;
- pārējās izmaksas tiek pieņemtas 25 % apmērā.

Pārējās izmaksas iekļauj darbināšanas un remonta izmaksas, ūdens izmaksas, pārējo ķīmikāliju izmaksas un citas izmaksas. Par ksilāna un tā atvasinājumu ražošanas procesa ekonomisko pusi ir ļoti skopa informācija, tāpēc pārējās izmaksas tika pieņemtas 25 % apmērā, bet, iespējams, šī vērtība ir vēl lielāka.

Ražotnes ražošanas jauda tika pieņemta 20 000 tonnas gadā, kas atbilst Ķīnas ražotāju (ksilitola) vidējām jaudām. Meža resursi ļautu ražot arī lielāku apjomu, bet jāņem vērā pieprasījums tirgū, lai ražošanu varētu veikt ar pilnām jaudām.

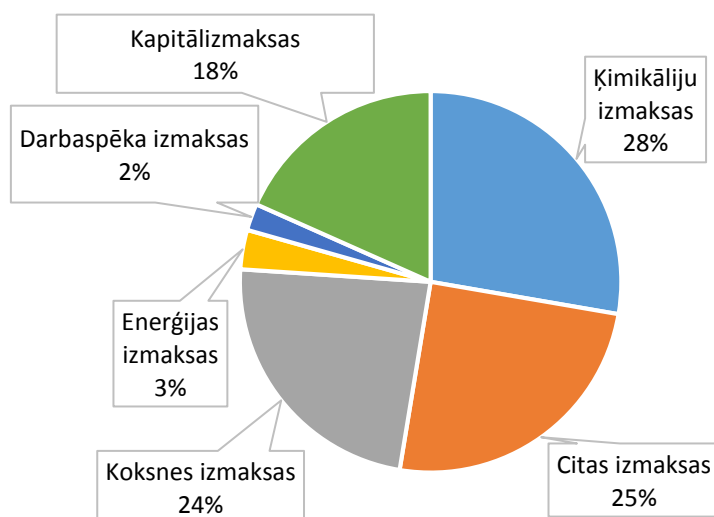
#### 9.4.3. Sistēmdinamikas modelēšanas rezultāti ksilāna atvasinājumu ražošanai

Arī ksilāna atvasinājumu ražošanas ekonomiskā analīze tika veikta līdz 2030. gadam, un tika pieņemts, ka būvniecība varētu sākties 2018. gadā. Tāpat kā iepriekšējiem produktiem, arī ksilānam atvasinājumiem lielāko daļu vērtības veido starppatēriņš, tomēr atšķirībā no pārējiem produktiem ksilāna peļņas rādītāji ir negatīvi, kas nozīmē, ka ksilāna un tā atvasinājumu kā atsevišķa produkta ražošana nav ekonomiski pamatota, kas apstiprina to, kāpēc ksilāna un tā atvasinājumu ražotnes pamatā tiek būvētas kopā ar citām ražotnēm, piemēram, celulozes ražotnēm.



9.12. attēls. Ksilāna atvasinājumu ražošanas vērtības sadalījums.

9.12. attēlā redzams, ka starp ksilāna produkcijas vērtībām nav vērojamas būtiskas svārstības, un peļņas rādītāji saglabājas negatīvi visu šo laika periodu.



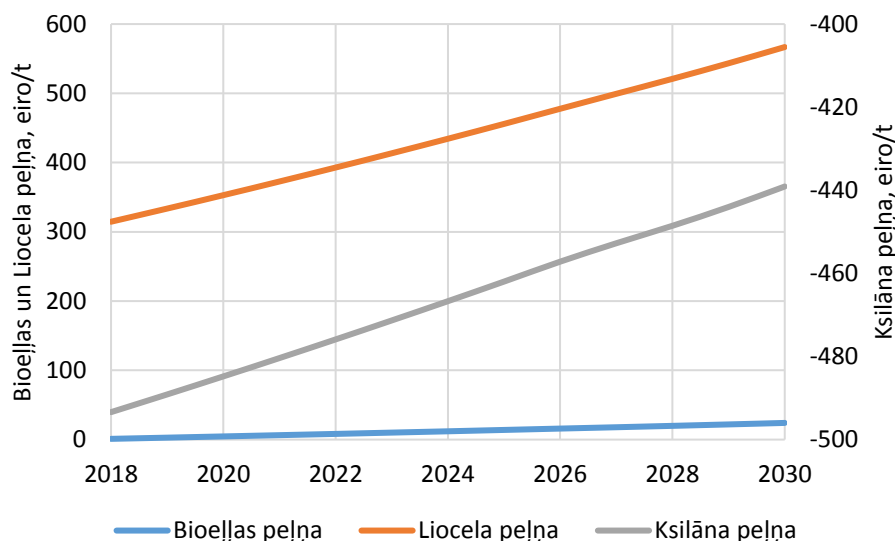
9.13. attēls. Ksilāna atvasinājumu izmaksu pozīciju sadalījums.

9.13. attēlā parādīts izmaksu sīkākais sadalījums, kur redzams, ka galvenās izmaksu pozīcijas ir ķīmikāliju izmaksas, koksnes izmaksas un citas izmaksas, bet ļoti tuvu seko kapitālizmaksas. Ja ķīmikāliju vai citu izmaksu pozīciju būtu iespējams samazināt, ksilāna un tā atvasinājumu ražošana atsevišķā ražotnē varētu kļūt ekonomiski pamatotāka, bet, ņemot vērā, ka peļņas rādītāji bija negatīvi, un to daļa kopējā produktu vērtībā bija ļoti ievērojama (9.12. attēls), visticamāk, ka atsevišķa ksilāna un tā atvasinājumu ražotne vienalga nebūtu ekonomiski pamatota. Iespējams, ievērojami palielinot ražošanas jaudas, būtu iespējams samazināt kapitālizmaksu daļu, bet visticamāk tas nebūtu pietiekami, lai peļņas rādītāji kļūtu pozitīvi, turklāt pastāv risks, ka šādā gadījumā produkcijai nebūtu iespējams atrast noieta tirgu.



## 9.5. Kopsavilkums

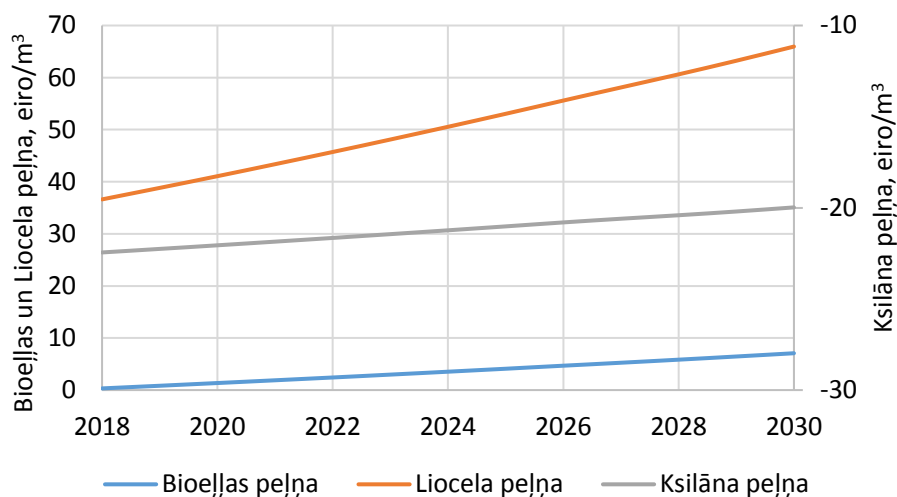
Veicot ekonomisko analīzi, tika noteikts, vai izvēlētie produkti ir ar nākotnes perspektīvu, apskatot situāciju, kad produktu ražošana notiek bez blakusproduktu iegūšanas un pārdošanas. Iepriekšējās apakšnodaļās tika parādīti katra produkta individuālie rādītāji, bet šajā apakšnodaļā tie tiks savstarpēji salīdzināti.



9.14. attēls. Produktu salīdzinājums pēc peļņas uz saražotās produkcijas vienību.

Salīdzinot iegūtos peļņas rādītājus, 9.14. attēlā redzams, ka uz saražoto produkcijas vienību vislielākā peļņa ir liocelam, bet otrajā vietā ir bioeļļa. Tas parāda, ka liocela ražošana ir ar augstāku pievienoto vērtību kā bioeļļas ražošanai, kurai, lai gan arī vērojama peļņa, tomēr balansē uz ekonomiskā izdevīguma robežas. Salīdzinot ar iepriekšējiem diviem produktiem, ksilāna atvasinājumu peļņas rādītāji ir negatīvi, un tas atrodas tālu no ekonomiskā izdevīguma. Visiem produktiem peļņas rādītāji ir ar pozitīvu augošu tendenci, kas skaidrojams ar aprēķinos izdarītajiem pieņēmumiem cenas un izmaksu sadaļās.

Lai gan pieņēmumi ir balstīti uz vēsturiskajos datos vēroto tendenci un ekspertu pieņēmumiem, tie negarantē, ka nākotnes rezultāti sakritīs ar pieņēmumiem. Lai noskaidrotu pieņēmumu un dažādu modeļa parametru ietekmi uz rezultātiem, būtu jāveic katra pieņēmuma un parametra jutības analīze. Tas palīdzētu noteikt, kuram no parametriem ir lielāka ietekme uz rezultātiem, tādējādi nosakot, kurām pozīcijām ir jāpievērš padziļinātāka uzmanība.



9.15. attēls. Produktu salīdzinājums pēc peļņas uz izmantotās koksnes vienību.

Skatoties no ražošanas un izejvielu patēriņa viedokļa, trīs izvēlētie produkti ir ļoti atšķirīgi, tad peļņas rādītāji uz saražotās produkcijas vienību pietiekami labi neparāda savstarpējo izdevīgumu. 9.15. attēlā redzama gūtā peļņa uz izmantotās koksnes resursa vienību. Šajā gadījumā redzams, ka skaitliskā izteiksmē starpība starp peļņas rādītājiem ir ievērojami mazāka, tomēr pozīciju sadalījums nemainās, un liocela ražošanai arī šajā gadījumā ir augstāki peļņas rādītāji. Būtiskākā atšķirība ir izmantotais koksnes daudzums uz produkcijas vienību. Bioeļļas ražošanā koksnes apjoms uz saražotās produkcijas vienību ir viszemākais, kamēr ksilāna atvasinājumu gadījumā tas ir visaugstākais. Bioeļļas ražošanas gadījumā no sausas koksnes iespējams izstrādāt 70 % galaprodukta, kamēr ksilāna atvasinājuma gadījumā tie ir tikai 15 %.

Liocela ražošana, pēc priekšizpētes rezultātiem, ir ar augstāko potenciālu, un to būtu vērts pētīt padziļinātāk. Arī bioeļļai ir potenciāls attīstīties, sevišķi, ja tiks ieviestas daudz stingrākas normas un nodokļu politika fosilo resursu izmantošanā, jo šobrīd būtiskākais attīstības šķērslis ir tiešā konkurents – mazuta – zemā cena. Ir vērts analizēt arī bioogļu kā atsevišķa produkta iegūšanu, lai saprastu, vai nav izdevīgāk paralēli bioeļļai ražot arī bioogles, bet enerģiju ražot no papildu biomasas.

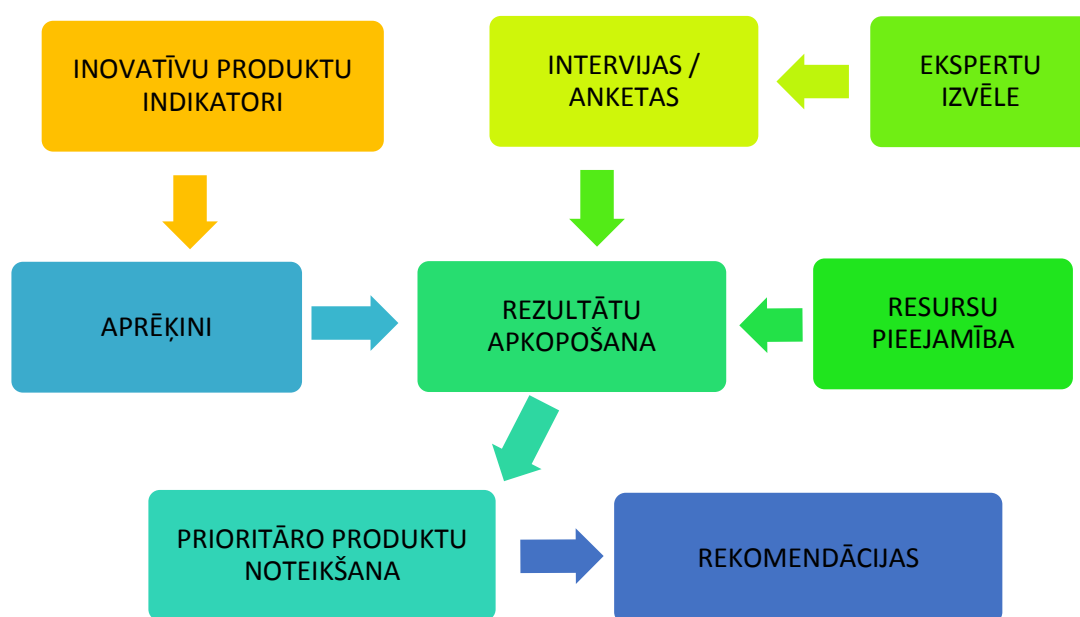
Lai gan pēc priekšizpētes rezultātiem ksilāna atvasinājumi neizskatās perspektīvs produkts, jāņem vērā, ka tika skatīts gadījums, kad ksilāna atvasinājumi tiek ražots kā atsevišķs produkts, un blakusprodukti neveidoja papildu pievienoto vērtību, tomēr pastāv iespēja, ka, apvienojot ksilāna ražošanu ar citu blakusproduktu ražošanu vai iegūstot ksilānu kā blakusproduktu citam ražošanas procesam (piemēram, celulozes ražošanai), iespējams to padarīt par ekonomiski izdevīgu produktu.

Ir svarīgi ņemt vērā, ka visas priekšizpētes rezultātos attēlotās vērtības ir iegūtas, balstoties uz izejas datiem, kas iegūti no pieejamās literatūras un var 100 % neatbilst reālajai situācijai, ja šīs tehnoloģijas tiešām tiktu ieviestas. Šie rezultāti ir tikai indikatīvi, lai aptuveni novērtētu dažādu produktu attīstības iespējas. Pirms kāda no tehnoloģijām tiek virzīta uz ieviešanas fāzi, ir jāveic daudz padziļinātāka un detalizētāka attiecīgās tehnoloģijas un ražošanas procesu izpēte, iedziļinoties katrā ražošanas posmā, un konsultējoties ar jau esošiem ražotājiem vai tehnoloģiju patentu turētājiem, lai iegūtu pilnīgāku informāciju.

## 10. Perspektīvākie inovatīvie produkti no meža biomasas

### 10.1. Produktu izvērtēšanas metodika

Literatūras avotos pieejama informācija par neskaitāmiem inovatīviem produktiem, kurus iespējams izgatavot no meža biomasas. Katram no tiem ir savas labās un sliktās īpašības, attīstības stadija (no eksperimentiem laboratorijas apstākļos līdz komercializētiem un tirgū pieejamiem produktiem). Lai būtu iespējams objektīvi savstarpēji salīdzināt šos produktus un noteikt, kuri no tiem šī pētījuma pasūtītājam (LVM) ir visatbilstošākie, izstrādāta inovatīvu produktu no meža biomasas izvērtēšanas metode. Metodikas algoritms ir ilustrēts 10.1. attēlā. Algoritms sastāv no 8 moduļiem, kas ietver inovatīvu produktu indikatorus, ekspertu izvēles principus, intervijas, to rezultātu apkopojumu, resursu pieejamības noteikšanu, aprēķinus, prioritāro produktu noteikšanu un attīstības rekomendāciju izstrādi.



10.1. attēls. Metodikas algoritms.

#### 10.1.1. Inovatīvu produktu indikatoru modulis

Lai visiem šajā pētījumā iesaistītajiem pētniekiem un inovatīvu produktu no meža biomasas meklētājiem būtu vienota izpratne par to, kas ir inovatīvs produkts, tas tika definēts atbilstoši Latvijas Republikas normatīvajiem aktiem. Tie nosaka, ka 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 [362]. Inovatīvo produktu atlasē tika ņemta vērā biotehonomikas pamatprincipos ietvertā bioresursu izmantošana, kas nozīmē, ka tie jāizmanto produktu ražošanai ar pēc iespējas augstāku pievienoto vērtību, ievērojot ekodizaina un tīrākas ražošanas pamatprincipus [363, 1]. Inovatīvu produktu indikatoru tika izvēlēti, balstoties uz šādiem kritērijiem:

- kāda ir inovācijas attīstības pakāpe, tai skaitā vai šī inovācija ir patentēta un tiek komerciālos apjomos ražota;

- produkta ražošanas pievienotā vērtība, balstoties uz biotehonomikas pamatprincipiem;
- tirgus cena, noieta tirgus, inovācijas komercializācijas ekonomiskais pamatojums.
- patērētājam jau pieejami līdzīgi produkti tirgū;
- ietekme uz klimatu, vidi un cilvēka veselību visā produkta dzīves cikla laikā (izgatavošana, lietošana, utilizācija);
- ražošanas tehnoloģijas, to attīstības pakāpe, pieejamība.
- izejvielu un resursu pieejamība, to līdzšinējā izmantošana, ieguves (tai skaitā audzēšanas) ietekme uz vidi, klimatu un cilvēku veselību.

### 10.1.2. Interviju modulis

Balstoties uz pirmajā modulī izstrādātajiem inovatīvo produktu indikatoriem, tika izstrādāta četras dažādas anketas: informatīvā, kvantitatīvā novērtējuma, kvalitatīvā novērtējuma, un ekspertu anketa daudzkritēriju analīzē izmantoto indikatoru svara (būtiskuma) noteikšanai.

Pirmā anketa ir detalizēta informatīva aptaujas anketa, lai par katru inovatīvo produktu strukturētā veidā varētu apkopot nepieciešamo informāciju. Aptaujas anketas jautājumi tika sadalīti 8 tematiskās daļās: vispārēja informācija par produktu, izgudrojuma aizsardzības līmenis, izejvielas produkta ražošanai, ražošanas tehnoloģijas, komercializācijas pakāpe, tirgus analīze, produkta ekonomiskais pamatojums un produkta ietekme uz vidi, klimatu un cilvēka veselību. Iegūtā informācija tālāk tika izmantota produktu savstarpējai salīdzināšanai un analīzei. Nepieciešamības gadījumā izstrādāto aptaujas anketu var izmantot par pamatu zinātniskā personāla intervēšanai, lai iegūtu nepieciešamos datus par viņu izstrādātajiem inovatīvajiem produktiem. Līdz ar to šāda pieeja dod iespēju iegūt nepieciešamo informāciju no zinātniskajiem darbiniekiem gan tiešā, gan netiešā veidā. Šādu aptaujas anketu var pielāgot un izmantot, lai iegūtu strukturētu informāciju arī citu, ne tikai no meža biomasas iegūtu, produktu komercializācijas izvērtēšanai.

Otra anketa ir informatīva anketa par produkta komercializācijas potenciāla noteikšanai būtiskiem kvantitatīvajiem indikatoriem. Indikatori tiek izteikti katram produktam skaitliskā veidā:

- īpatnējais koksnes resursu patēriņš,  $t_{\text{koksnes}}/t_{\text{produkta}}$ ;
- koksnes produkta īpatsvars gala produktā,  $\text{kg}_{\text{koksnes}}/\text{kg}_{\text{produkta}}$ ;
- īpatnējais elektroenerģijas patēriņš,  $\text{kWh}_{\text{el.}}/t_{\text{produkta}}$ ;
- īpatnējais kurināmā patēriņš,  $\text{kWh}/t_{\text{produkta}}$ ;
- īpatnējais siltumenerģijas patēriņš,  $\text{kWh}_{\text{th.}}/t_{\text{produkta}}$ ;
- īpatnējais ūdens patēriņš,  $\text{kg}_{\text{ūdens}}/t_{\text{produkta}}$ ;
- īpatnējais atkritumu daudzums,  $\text{kg}_{\text{atkritumu}}/t_{\text{produkta}}$ ;
- īpatnējais blakusproduktu daudzums,  $\text{kg}_{\text{blakusprod.}}/t_{\text{produkta}}$ ;
- CO<sub>2</sub> emisiju faktors,  $t_{\text{CO}_2}/t_{\text{produkta}}$ ;
- nepieciešamās investīcijas produkta ražošanas uzsākšanai,  $\text{€}_{\text{investīcijas}}/t_{\text{produkta}}$ ;
- ekspluatācijas izmaksas,  $\text{€}_{\text{darb.}}/t_{\text{produkta}}$ ;
- produkta pašizmaksa,  $\text{€}_{\text{pašizm.}}/t_{\text{produkta}}$ ;
- neto peļņa,  $\text{€}_{\text{peļņa}}/t_{\text{produkta}}$ ;
- produkta pārdošanas cena,  $\text{€}_{\text{cena}}/t_{\text{produkta}}$ .

Kvantitatīvo indikatoru skaitliskās vērtības tika izmantotas kā izejas dati, lai aizpildītu trešo – produkta kvalitatīvā novērtējuma anketu.

Kvalitatīvā novērtējuma anketā katrs indikators tika novērtēts skalā no 0 līdz 5, ņemot vērā pieejamo vispārējo un kvantitatīvo informāciju par produktu. Vērtējums 0 tika piešķirts, ja attiecīgajam rādītājam nav nozīmes, izvērtējot produkta komercializācijas potenciālu. Anketās tika iekļauti turpmāk uzskaitīti indikatori (iekavās norādīts piešķiramais vērtējums):

- Produkta ražošanas gatavības stadija:
  - produkts izgatavots tikai laboratorijas apstākļos (1);
  - lielāka vai mazāka mēroga eksperimenti par šī produkta izgatavošanu ir veikti vairākās Pasaules valstīs, bet vēl ir daudz nezināmo un ideja nav patentēta (2);
  - produkta ideja ir patentēta (3);
  - ir zināma visa nepieciešamā informācija, lai uzsāktu šī produkta ražošanu, bet tas vēl nav izdarīts (4);
  - ir īstenots vismaz viens produkta ražošanas pilotprojekts (5).
- Koksnes resursu izmantošanas apmērs:
  - produkta izgatavošanai var izmantot tikai noteiktu koka daļu (piem., tikai mizu) no konkrētas koku sugas (1);
  - produkta izgatavošanai var izmantot tikai noteiktu koka daļu (piem., tikai mizu) no dažādām koku sugām (2);
  - produkta izgatavošanai var izmantot visa veida koku sugu lietkoksnī (t.sk. malka/tehnoloģiskā koksne), bet nevar izmantot mežizstrādes atlikumus (3);
  - produkta izgatavošanai var izmantot visa veida koku sugas un visas koka daļas izņemot zāleni (4);
  - produkta izgatavošanai var izmantot visa veida koku sugas un visas koka daļas (tai skaitā mizu, zarus un zāleni) (5).
- Produkta noieta tirgus:
  - lokāls (tikai Latvijā) (1);
  - pieprasījums Baltijas valstīs (2);
  - pieprasījums Baltijas un Skandināvijas valstīs (3);
  - pēc šī produkta ir pieprasījums Eiropas valstīs un Krievijā (4);
  - pēc šī produkta ir pieprasījums visās valstīs, tai skaitā Āzijas valstīs un Ziemeļamerikā (5).
- Tehnoloģiskā procesa sarežģītība:
  - produkta ražošanai nepieciešamās tehnoloģijas vēl ir izstrādes stadijā (1);
  - produkta ražošanai nepieciešamās tehnoloģijas ir izstrādātas, bet vēl nav īstenots dzīvē (2);
  - tehnoloģiskais process ir ļoti sarežģīts un netiek plaši lietots (3);
  - tehnoloģiskais process ir vidēji sarežģīts (4);
  - produkta ražošanai nepieciešamās tehnoloģijas ir vienkāršas, labi zināmas un plaši lietotas (5).
- Īpatnējais ūdens patēriņš:
  - produkta izgatavošanas procesā tiek patērēts ļoti daudz ūdens ( $>400\text{m}^3_{\text{ūdens}}/t_{\text{produkta}}$ ), ūdens samazinājums produkta izgatavošanas procesā nav iespējams (1);
  - produkta izgatavošanas procesā tiek patērēts ļoti daudz ūdens ( $>400\text{m}^3_{\text{ūdens}}/t_{\text{produkta}}$ ), ūdens samazinājums produkta izgatavošanas procesā ir iespējams (2);

- produkta izgatavošanas procesā tiek patērēts vidēji daudz ūdens ( $200-400\text{m}^3_{\text{ūdens}}/t_{\text{produkta}}$ ) (3);
- produkta izgatavošanas procesā tiek patērēts neliels ūdens daudzums ( $<200\text{m}^3_{\text{ūdens}}/t_{\text{produkta}}$ ) (4);
- produkta izgatavošanas procesā netiek patērēts ūdens (5).
- Īpatnējais elektroenerģijas patēriņš:
  - produkta izgatavošanas procesā tiek patērēts ļoti daudz elektroenerģijas ( $>500\text{ MWh/gadā}$ ), tās samazinājums produkta izgatavošanas procesā nav iespējams (1);
  - produkta izgatavošanas procesā tiek patērēts ļoti daudz elektroenerģijas ( $>500\text{ MWh/gadā}$ ), tās samazinājums produkta izgatavošanas procesā ir iespējams (2);
  - produkta izgatavošanas procesā tiek patērēts vidēji daudz elektroenerģijas ( $100-500\text{ MWh/gadā}$ ) (3);
  - produkta izgatavošanas procesā tiek patērēts neliels elektroenerģijas daudzums ( $<100\text{ MWh/gadā}$ ) (4);
  - produkta izgatavošanas procesā netiek patērēta elektroenerģija (5).
- Īpatnējais siltumenerģijas patēriņš:
  - produkta izgatavošanas procesā tiek patērēta liels daudzums siltumenerģijas ( $>500\text{ MWh/gadā}$ ), kas galvenokārt tiek iegūta no fosilajiem resursiem (1);
  - produkta izgatavošanas procesā tiek patērēta liels daudzums siltumenerģijas ( $>500\text{ MWh/gadā}$ ), bet tā pilnībā vai lielā apmērā tiek iegūta no atjaunojamajiem energoresursiem vai ražošanas procesa pārpalikumiem (2);
  - produkta izgatavošanas procesā tiek patērēts vidēji liels daudzums siltumenerģijas ( $100-500\text{ MWh/gadā}$ ) (3);
  - produkta izgatavošanas procesā tiek patērēts neliels siltumenerģijas daudzums ( $<100\text{ MWh/gadā}$ ) (4);
  - produkta izgatavošanas procesā netiek patērēta siltumenerģija (5).
- Atkritumu un atlikumu apmērs, kas rodas produkta ražošanas procesā:
  - ražošanas procesā radušos atkritumus un atlikumus nav iespējams nekur izmantot, tie jānoglabā poligonā vai jāapsaimnieko kā bīstamie atkritumi (1);
  - augsts atlikumu daudzums ( $> 15\%$  no ieejošās plūsmas) (2);
  - Vidējs atkritumu un atlikumu daudzums ( $5-15\%$  no ieejošās plūsmas) (3);
  - zems ražošanas procesā radušos atkritumus un atlikumus daudzums ( $<5\%$  no ieejošās plūsmas) (4);
  - zems ražošanas procesā radušos atkritumu un atlikumu daudzums, no tiem vismaz  $80\%$  iespējams izmantot citu produktu ražošanai, pārējo var izmantot kā energoresursu (5).
- Blakusprodukti, kurus var ražot paralēli konkrētajam produktam no šī produkta ražošanas resursu plūsmas:
  - ražojot šo produktu, no tā ražošanas resursu plūsmas nav iespējams ražot citus produktus (1);
  - ražojot šo produktu, no tā ražošanas resursu plūsmas ražot citus produktus ir iespējams, bet tas nav ekonomiski izdevīgi vai ir kādi citi būtiski šķēršļi (2);
  - šī produkta ražošanas resursu plūsmu iespējams izmantot vismaz  $50\%$  apmērā, ražojot dažādus produktus (3);
  - šī produkta ražošanas resursu plūsmu iespējams izmantot  $95-100\%$  apmērā, ražojot dažādus produktus, bet ne visi ir produkti ar augstu pievienoto vērtību (4);
  - šī produkta ražošanas resursu plūsmu iespējams izmantot  $95-100\%$  apmērā, ražojot dažādus produktus ar augstu pievienoto vērtību (5).

- CO<sub>2</sub> emisiju apmērs, kas rodas produkta ražošanas procesā:
  - produkta ražošanas procesā rodas ļoti liels apjoms CO<sub>2</sub> emisiju (izmantojamo sadedzināšanas iekārtu kopējā nominālā siltumspēja pārsniedz 20 MW) (1);
  - produkta ražošanas procesā rodas liels apjoms CO<sub>2</sub> emisiju (izmantojamo sadedzināšanas iekārtu kopējā nominālā siltumspēja ir 10–15 MW) (2);
  - produkta ražošanas procesā rodas vidēji liels apjoms CO<sub>2</sub> emisiju (izmantojamo sadedzināšanas iekārtu kopējā nominālā siltumspēja ir 5–10 MW) (3);
  - produkta ražošanas procesā rodas neliels apjoms CO<sub>2</sub> emisiju (izmantojamo sadedzināšanas iekārtu kopējā nominālā siltumspēja ir līdz 5 MW) (4);
  - produkta ražošanas process ir CO<sub>2</sub> neitrāls (5).
- Produkta ietekme uz dabisko apkārtējo vidi (gaiss, ūdens, augsne, klimats, dzīvie organismi):
  - šāda produkta izgatavošana vai lietošana rada lielu ietekmi uz vidi, klimatu un bioloģisko daudzveidību, jo intensīvi tiek iegūti un izmantoti gan fosilie resursi, gan bioresursi (1);
  - šāda produkta izgatavošana vai lietošana rada vidēji lielu ietekmi uz vidi, klimatu un bioloģisko daudzveidību, jo ilgtspējīgi tiek iegūti un izmantoti gan fosilie resursi, gan bioresursi (2);
  - šāda produkta izgatavošana vai lietošana rada nelielu ietekmi uz vidi, klimatu un bioloģisko daudzveidību, jo ilgtspējīgā veidā tiek iegūti un izmantoti tikai bioresursi (3);
  - šāda produkta izgatavošana vai lietošana neatstāj nekādu ietekmi uz vidi, klimatu un bioloģisko daudzveidību (4);
  - šāda produkta izgatavošana vai lietošana rada pozitīvu ietekmi uz vidi, klimatu un bioloģisko daudzveidību (5).
- Produkta ietekme uz cilvēku veselību:
  - šī produkta izgatavošana neatbilst Eiropas Komisijas izstrādātajām labākajām pieejamajām tehnoloģijām (BAT – *Best Available Techniques*), tāpēc tā izgatavošana / lietošana var atstāt ietekmi uz cilvēku veselību (1);
  - šī produkta izgatavošana neatbilst Eiropas Komisijas izstrādātajām labākajām pieejamajām tehnoloģijām (BAT – *Best Available Techniques*), tāpēc tā izgatavošana / lietošana var atstāt ietekmi uz cilvēku veselību, bet ir iespējams izmantot citas tehnoloģijas, kas atbilstu Eiropas Komisijas izstrādātajām labākajām pieejamajām tehnoloģijām (BAT – *Best Available Techniques*) (2);
  - šāda produkta izgatavošana / lietošana nerada nekādu ietekmi uz cilvēku veselību (3);
  - ar šo produktu var aizstāt kādu līdzīgu produktu, kuram ir negatīva vai neitrāla ietekme uz cilvēku veselību (4);
  - šāda produkta izgatavošana / lietošana rada pozitīvu ietekmi uz cilvēku veselību (5).
- Produkta atbilstība ekodizaina pamatprincipiem:
  - produkts pilnībā neatbilst ekodizaina pamatprincipiem (1);
  - produkts daļēji atbilst ekodizaina pamatprincipiem (2);
  - produkts daļēji atbilst ekodizaina pamatprincipiem, bet ir iespējams veikt uzlabojumus, lai tas vairāk atbilstu ekodizaina pamatprincipiem (3);
  - produkts daļēji atbilst ekodizaina pamatprincipiem, bet ir iespējams veikt uzlabojumus, lai tas pilnībā atbilstu ekodizaina pamatprincipiem (4);
  - produkts pilnībā atbilst ekodizaina pamatprincipiem (5).
- Nepieciešamās investīcijas produkta ražošanas uzsākšanai:

- produkta ražošanas un komercializācijas uzsākšanai nepieciešamas ļoti lielas investīcijas (> 3 miljoni eiro) (1);
- produkta ražošanas un komercializācijas uzsākšanai nepieciešamas vidēji lielas investīcijas (1,5 – 3 miljoni eiro) (2);
- produkta ražošanas un komercializācijas uzsākšanai nepieciešamas nelielas investīcijas (0,5 – 1,5 miljoni eiro) (3);
- produkta ražošanas un komercializācijas uzsākšanai nepieciešamās investīcijas iespējams piesaistīt no investoriem un dažādiem finanšu instrumentiem ar minimālu (līdz 500 000 eiro) uzņēmēja līdzfinansējumu (4);
- produkta ražošanas un komercializācijas uzsākšanai nepieciešamas mazas investīcijas (līdz 500 000 eiro) (5).

Veicot šādu indikatoru analīzi, jāreķinās ar to, ka visi dati par visiem interesējošajiem produktiem nebūs pieejami. It sevišķi tas attiecināms uz vēl izpētes stadijā esošām inovācijām. Tāpēc ir nepieciešami pamatoti pieņēmumi, kas balstīti uz ticamu informāciju par līdzīgiem produktiem vai tehnoloģijām.

Ar ceturtais anketas palīdzību ekspertu semināra laikā tika noskaidrots ekspertu viedoklis par to, cik būtiskas ir 3 galvenajām produkta komercializācijas potenciālu noteicošajām kategorijām: inženiertehniskajiem rādītājiem, ietekmes uz vidi un klimatu rādītājiem, un ekonomiskajiem rādītājiem. Ekspertiem bija jānosaka arī katra rādītāja indikatoru svarīgums (10.1. tabula).

10.1. tabula. Daudzkritēriju analīzē ietvertie rādītāji un indikatoru

Inženiertehniskā rādītāja indikatori	Ietekmes uz klimatu un vidi rādītāja indikatori	Ekonomiskā rādītāja indikatori
<ul style="list-style-type: none"> <li>produkta ražošanas gatavības stadija;</li> <li>koksnes resursu izmantošanas apmērs;</li> <li>koksnes apmērs gala produktā;</li> <li>tehnoloģiskā procesa sarežģītība;</li> <li>ražošanai izmantotais elektroenerģijas patēriņš;</li> <li>ražošanai izmantotais siltumenerģijas patēriņš.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>īpatnējais ūdens patēriņš;</li> <li>īpatnējais elektroenerģijas patēriņš;</li> <li>īpatnējais siltumenerģijas patēriņš;</li> <li>atkritumu un atlikumu apmērs, kas rodas produkta ražošanas procesā;</li> <li>blakusprodukti, kurus var ražot paralēli konkrētajam produktam no šī produkta ražošanas resursu plūsmas;</li> <li>CO<sub>2</sub> emisiju apmērs, kas rodas produkta ražošanas procesā;</li> <li>produkta ietekme uz dabisko apkārtējo vidi;</li> <li>produkta ietekme uz cilvēku veselību;</li> <li>produkta atbilstība ekodizaina pamatprincipiem.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>produkta noieta tirgus</li> <li>nepieciešamās investīcijas produkta ražošanas uzsākšanai</li> <li>iekārtu ekspluatācijas izmaksas</li> <li>produkta pašizmaksa</li> <li>neto peļņa</li> <li>produkta pārdošanas cena</li> </ul>

Tālāk šo anketu rezultāti tika izmantoti rezultātu apkopojuma modelī un aprēķinos, lai noteiktu katra produkta komercializācijas potenciālu.

### 10.1.3. Ekspertu izvēles modulis

Ekspertu izvēles modulī tika izstrādāti kritēriji, atbilstoši kuriem tika atlasīti būtiskākie “spēlētāji” mežu nozarē, lai no to vidus izraudzītu meža nozares ekspertus. Nozīmīgākie



mežu nozares pārstāvji tika atlasīti pēc šādiem kritērijiem: zinātniskās institūcijas, kas nodarbojas ar meža biomasas izpēti un jaunu produktu izgudrošanu no meža biomasas, meža nozares augstākās izglītības iestādes un meža nozares valsts institūcijas.

Izvēlētie mežu nozares eksperti tika iesaistīti intervijās, lai noskaidrotu un izvērtētu inovatīvos produktus no meža biomasas un atlasītu perspektīvākos inovatīvos produktus. Tika rīkots ekspertu seminārs, kura laikā eksperti noteica daudzkritēriju analīzei nepieciešamo indikatoru svarīgumu (svaru) un piedalījās diskusijās par perspektīvāko produktu no meža biomasas izvēli.

#### **10.1.4. Resursu pieejamības modulis**

Resursu pieejamības modulī tiek atlasīti tikai tie pasūtītājam pieejamie meža biomasas resursi, no kuriem tas ir gatavs uzsākt produktu ražošanu. Šajā konkrētajā gadījumā tie ir mežizstrādes atlikumi (koku zari, galotnes un skuju koku zalenis), tehnoloģiskā koksne (dažādu sugu papīrmalka, malka) un celmu koksne. Kā prioritārais resurss tiek izvirzīta lapkoku tehnoloģiskā koksne un dažādu koku sugu tehnoloģiskā koksne, kuras apjomā dominē lapkoks. Šajā modulī izvērtēts, kurus no šiem teorētiski pieejamajiem resursiem un kādā apjomā būtu iespējams tehnoloģiski iegūt, ņemot vērā arī to ieguves ekonomisko pamatojumu. Resursu ieguves noteikšanas rezultāti tiek ņemti vērā rezultātu apkopojuma modulī un ietekmē perspektīvāko inovatīvo produktu izvēli. Lai gan Latvija ir bagāta ar meža resursiem, tomēr to apjoms ir ierobežots un tieši to tehnoloģiskā pieejamība var būt par iemeslu, kāpēc inovatīvs produkts no meža biomasas ar augstu pievienoto vērtību var netikt komercializēts.

#### **10.1.5. Aprēķinu modulis**

Aprēķinu modulī ņemti vērā indikatoru modulī izstrādātie faktori. Tā kā šie faktori ir ļoti atšķirīgi un savstarpēji grūti salīdzināmi, tika pielietota daudzkritēriju analīzes TOPSIS metode [364]. Šai metodei nepieciešamie dati tiek iegūti no interviju modulī izstrādātajām anketām. Ceturtajā anketā noteikto indikatoru (10.1. tab.) vidējā svarīguma pakāpe (vidējais svars) tika pārrēķināts proporcionāli rādītāja svaram un normalizēts. Tālākiem daudzkritēriju analīzes aprēķiniem tika izmantoti vidējie rezultāti no ekspertu sniegtajiem katra produkta kvalitatīvajiem novērtējumiem. Eksperti ar kvantitatīvajiem rādītājiem novērtēja katra produkta komercializācijas potenciālu. Izmantojot šādu produktu novērtējuma metodi, tiek samazināta vērtētāju subjektivitāte, jo tā balstīta uz pamatotiem skaitļiem vai ekspertu pieņēmumiem.

Daudzkritēriju analīze (*multi-criteria analysis*) (MCA) ir analīzes veids, kas ņem vērā vairāk nekā vienu aspektu. Šāda analīze nodrošina situācijas izvērtējumu iespējami tuvu reālajai situācijai. Šī metode dod iespēju savstarpēji salīdzināt vairākas alternatīvas un noteikt vislabāko no aplūkotajiem variantiem, ņemot vērā dažādus ietekmējošos kritērijus. Pastāv vairākas daudzkritēriju analīzes metodes. Pamatojoties uz konkrēto situāciju – kvantitatīvo un kvalitatīvo datu ierobežoto pieejamību, tika izvēlēta TOPSIS metodes. TOPSIS (*Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution*) metodē alternatīvas novērtē attiecībā pret ideālo iespējamo risinājumu. Alternatīva, kas ir vistuvāk ideālajam variantam, tiek uzskatīta par vislabāko. TOPSIS metode ir balstīta uz pieciem aprēķinu soļiem. Pirmais solis ir apkopot informāciju par alternatīvām un izvēlētajiem kritērijiem. Otrajā aprēķinu solī šie dati

tiek normalizēti. Nākamais solis ir datu normalizēšana ar svaru vērtībām un attāluma aprēķins no maksimālajām un minimālajām vērtībām (attālums no ideālā varianta) [365, 366, 367].

Ņemot vērā  $m$  kritērijus  $i$ ,  $n$  alternatīvas  $a$  tiek attēlotas lēmumu matricā  $X=(x_{ai})$  (10.2. tabula), kur  $i=1, \dots, m$  un  $a=1, \dots, n$ .

10.1. tabula. Daudzkritēriju analīzes matrica

Kri- tēriji	Alternatīvas					Standartizēta lēmumu matrica					Svars	Nosvērtā lēmumu matrica					Max	Min
	$x_{a1}$	$x_{a2}$	$x_{a3}$	...	$x_{an}$	$r_{1a}$	$r_{2a}$	$r_{3a}$	...	$r_{na}$	$w$	$v_{a1}$	$v_{a2}$	$v_{a3}$	...	$v_{an}$	$(v_{a1} \dots v_{an})$	
$i_1$											$w_1$							
$i_2$											$w_2$							
$i_3$											$w_3$							
..											..							
$i_n$											$w_n$							
											$\sum 1,0$							

Kritēriju normalizēšanai tiek lietota sadalošā normalizācijas metode (*distributive normalization*) (10.1. formula).

$$r_{ai} = \frac{x_{ai}}{\sqrt{\sum_{a=1}^n x_{ai}^2}}, \quad (10.1.)$$

kur

$a$  alternatīva;

$i$  kritērijs;

$r$  normalizēta vērtība.

Tālāk normalizētie rezultāti tiek pārrēķināti (nosvērti), ņemot vērā katra kritērija svaru  $w_i$  (10.2. formula).

$$v_{ai} = w_i * r_{ia}, \quad (10.2.)$$

kur

$w$  svars;

$v$  nosvērtā vērtība.

Nosvērtie rezultāti tiks ņemti vērā, lai noteiktu ideālo (šajā gadījumā – maksimālo) un ne-ideālo (šajā gadījumā – minimālo) vērtības variantu. Katrs nosvērtais rādītājs tiek salīdzināts ar attiecīgajam kritērijam atbilstošo maksimālo un minimālo vērtību. Katras alternatīvas kritēriju atšķirību no maksimālās vērtības kvadrātu summa tiek izmantota, lai noteiktu alternatīvas kopējo distanci līdz ideālajam risinājumam (10.3. formula).

$$d_a^+ = \sqrt{\sum (v_i^+ - v_{ai})^2} \quad (10.3.)$$

Tāpat, izmantojot atšķirību no minimālās vērtības, tiek noteikta distance līdz ne-ideālajam risinājumam (10.4. formula).

$$d_a^- = \sqrt{\sum (v_i^- - v_{ai})^2}, \quad (10.4.)$$

kur

$d_a^+$  distance līdz ideālajam risinājumam;  
 $d_a^-$  distance līdz ne-ideālajam risinājumam.

Katras alternatīvas relatīvais tuvums ideālajam risinājumam tiek aprēķināts ar 10.5. formulu.

$$C_a = \frac{d_a^-}{d_a^+ + d_a^-}, \quad (10.5.)$$

kur

$C_a$  relatīvais tuvums ideālajam risinājumam.

Šis koeficients vienmēr ir starp 0 un 1. Jo rezultāts tuvāks 1, jo alternatīva ir labāka.

#### 10.1.6. Rezultātu apkopojuma modulis

Rezultātu apkopojuma modulī tiek ietverts koncentrēts, vispārējs produkta apraksts, lai darba izpildē neiesaistītām pusēm būtu iespējams iepazīties ar analīzē ietvertajiem inovatīviem produktiem no meža biomasas. Aprakstošā daļa tiek papildināta ar pieejamiem, zinātniski pamatotiem kvantitatīviem datiem.

Aprēķinu modulī veiktais produktu izvērtējums atspoguļo produktu komercializācijas potenciālu. Jo iegūtais rezultāts ir tuvāks vieniniekam, jo attiecīgais produkts ir atbilstošāks ideālajam variantam un ar lielāku komercializācijas potenciālu. Lai produktu savstarpējais izvērtējums būtu objektīvāks, produkti un to novērtējuma aprēķinu rezultāti tika sadalīti pētījuma pasūtītāja noteikto nozaru griezumā: enerģētika, pārtikas rūpniecība, tekstilrūpniecība, biokompozītmateriāli un citi jauni materiāli ar augstu pievienoto vērtību. Piemēram, enerģētikas nozarē savstarpēji tika salīdzināti tādi produkti kā butanols, bioeļļa, biodīzeļdegviela un bioetanols. Savukārt tekstilrūpniecības nozarē savstarpēji salīdzināti 3 dažāda veida audumi, kurus var ražot no koksnes šķiedrām.

#### 10.1.7. Perspektīvāko inovatīvo produktu izvēles modulis

Atbilstoši izmantotajai produktu komercializācijas potenciāla noteikšanas metodei jāsecina, ka vislabākais variants ir tas, kuram daudzkritēriju analīzes rezultāts ir tuvāks vieniniekam. Pēc tāda principa produkti tiek sagrupēti, sākot ar vislabāko. Jebkurā gadījumā, aprēķinu rezultāts raksturo pētnieku zinātniski pamatotu ieteikumu, bet gala lēmums par produktiem, kuriem jāveic papildus detalizētāka analīze, pieder pētījuma pasūtītājam. Līdz ar to pastāv iespējamība, ka iedarbojas kādi subjektīvi apstākļi, kā rezultātā tālākai izpētei tiek virzīti produkti, kas pēc aprēķinu rezultātiem nav paši labākie, bet kādu faktoru dēļ, ir izraisījuši pasūtītāja interesi.

No izvērtētajiem 30 inovatīvajiem produktiem no meža biomasas, pasūtītājs atlasīja 3 produktus, kuriem papildus tiek veikta detalizēta ekodizaina, resursu pieejamības, noieta tirgus un cenas, un ekonomiskā analīze, un izvērtēta šo produktu ietekme uz klimata politikas mērķu sasniegšanu.

#### 10.1.8. Rekomendāciju modulis

Balstoties uz iepriekšējos moduļos aprakstīto darbību rezultātiem, tiek izstrādātas rekomendācijas pētījuma pasūtītājam par tālākajām darbībām perspektīvāko inovatīvo produktu no meža biomasas komercializēšanai un turpmākiem pētījumiem biotehonomikas attīstībai.

Šim pētījumam izstrādāto metodi var izmantot, lai novērtētu inovatīvu produktu no meža biomasas komercializācijas potenciālu un tos savstarpēji salīdzinātu, ņemot vērā dažādu faktoru ietekmi. Šo metodi iespējams pielāgot, lai izvērtētu komercializācijas pakāpi ne tikai no meža biomasas, bet arī no citiem resursiem izgatavotiem produktiem.

## 10.2. Daudzkritēriju analīzes rezultāti

Anketējot 24 ar meža nozari, inovācijām un meža biomasas izmantošanu produktu ražošanai saistītus ekspertus, tika noteikts daudzkritēriju analīzei nepieciešamo kategoriju un indikatoru svars. Inženiertehnisko rādītāju kategorijai svars tika noteikts 30.8 %, ietekmes uz vidi un klimatu rādītāju kategorijai 28.7 %, ekonomiskajiem rādītājiem 40.5 %. Indikatoru svara noteikšanas rezultāti attēloti 10.3. tabulā.

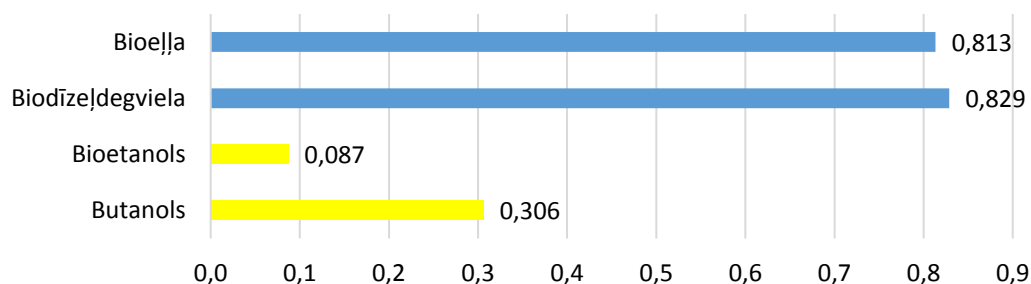
10.2. tabula. Daudzkritēriju indikatoru svara noteikšanas rezultāti

Nr. p.k.	Indikators	Vidējais svars
1	Produkta ražošanas gatavības stadija	0,066
2	Koksnes resursu izmantošanas apmērs	0,097
3	Produkta noieta tirgus	0,246
4	Tehnoloģiskā procesa sarežģītība	0,053
5	Īpatnējais ūdens patēriņš	0,022
6	Īpatnējais elektroenerģijas patēriņš	0,077
7	Īpatnējais siltumenerģijas patēriņš	0,061
8	Atkritumu un atlikumu apmērs, kas rodas produkta ražošanas procesā	0,038
9	Blakusprodukti, kurus var ražot paralēli konkrētajam produktam no šī produkta ražošanas resursu plūsmas	0,033
10	CO <sub>2</sub> emisiju apmērs, kas rodas produkta ražošanas procesā	0,034
11	Produkta ietekme uz dabisko apkārtējo vidi (gaiss, ūdens, augsne, klimats, dzīvie organismi)	0,033
12	Produkta ietekme uz cilvēku veselību	0,042
13	Produkta atbilstība ekodizaina pamatprincipiem	0,039
14	Nepieciešamās investīcijas produkta ražošanas uzsākšanai	0,159

Pēc ekspertu domām vislielākā nozīme, izvērtējot inovatīvu produktu no meža biomasas komercializācijas potenciālu, ir produkta noieta tirgus un nepieciešamajām investīcijām produkta ražošanas uzsākšanai indikatoriem. Šie indikatoru svara rezultāti tika izmantoti daudzkritēriju analīzes veikšanai. Analīzē tika ievietoti kvalitatīvo anketu rezultāti, kas noteikti, pamatojoties uz informatīvo un kvantitatīvo anketu rezultātiem.

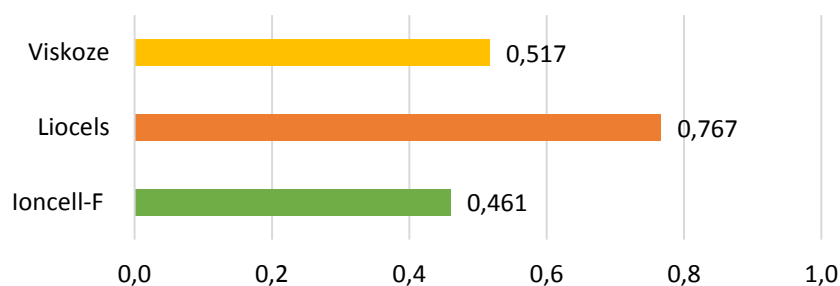
Daudzkritēriju analīzes rezultāti (10.2. attēls) produktiem enerģētikas sektorā parāda, ka vislielākais komercializācijas potenciāls ir biodīzeļdegvielai (0,829) un bioeļļai (0,813). Daudz zemāks vērtējums ir butanolam (0,306), bet ļoti zems komercializācijas potenciāls ir

bioetanalam (0,087). Ņemot vērā, ka no bioeļļas var ražot biodīzeļdegvielu, šos abus produktus var ražot vienlaicīgi un atkarībā no pieprasījuma bioeļļu realizēt kā starpproduktu vai pārstrādāt biodīzeļdegvielā.



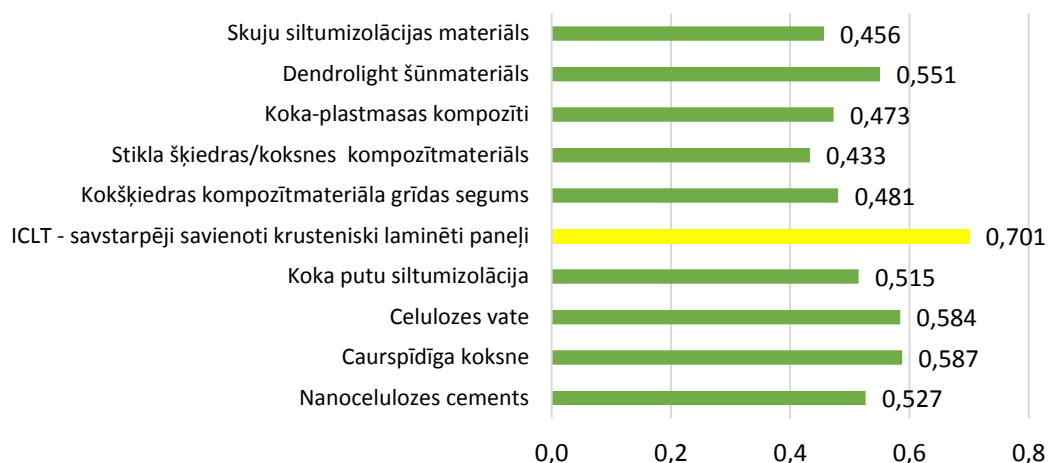
10.2. attēls. Komercializācijas potenciāla noteikšanas multi-kritēriju analīzes rezultāti enerģētikas nozares produktiem.

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) (10.3. attēls).



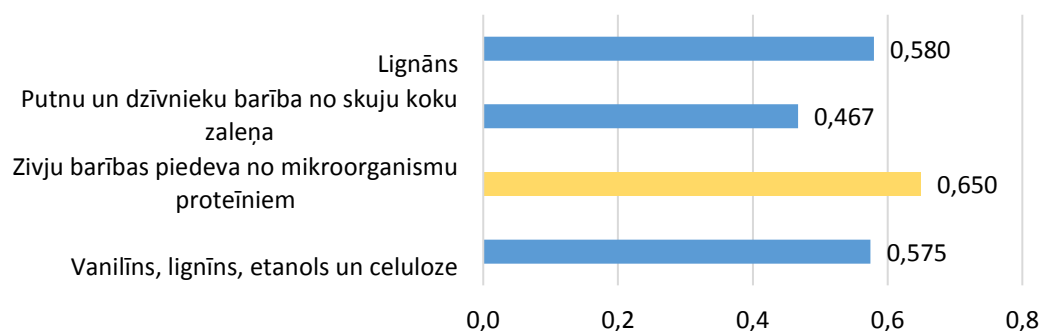
10.3. attēls. Komercializācijas potenciāla noteikšanas multi-kritēriju analīzes rezultāti tekstilrūpniecības nozares produktiem.

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) (0,701) (10.4. attēls).



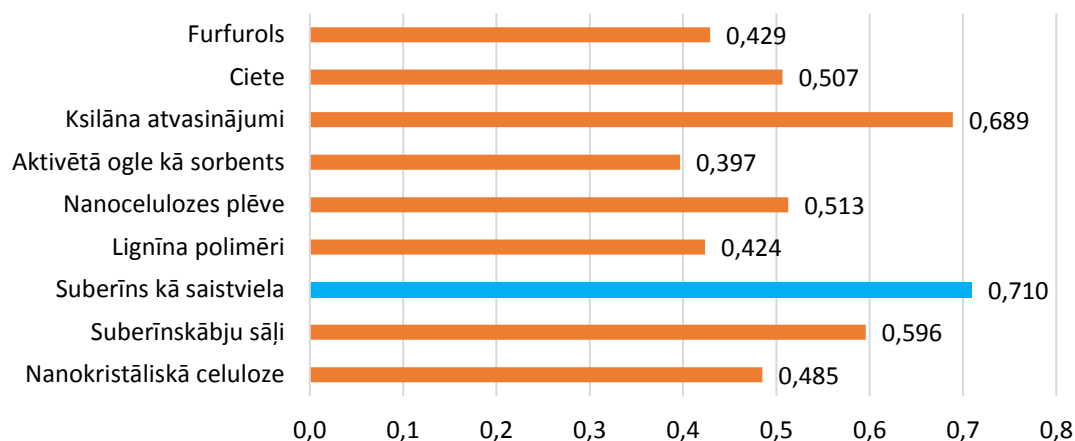
10.4. attēls. Komerģalizācijas potenciāla noteikšanas multi-kritēriju analīzes rezultāti biokompozītmateriālu un būvmateriālu produktiem.

Pārtikas nozarē arī ir līdzīga situācija, jo vidējais produktu komerģalizācijas potenciāls ir vidēji augsts (0,57) (10.5. attēls). Salīdzinoši labākais rezultāts ir zivju barības piedeva no mikroorganismu proteīniem (0,65).



10.5. attēls. Komerģalizācijas potenciāla noteikšanas multi-kritēriju 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 pielietojami dažādās nozarēs. Lielākā daļa šo produktu ir ķīmiskas vielas. Šos produktus savstarpēji salīdzinot ar daudzkritēriju analīzes metodi, redzams, ka vislielākais komerģalizācijas potenciāls ir suberīnam saistvielas ražošanai (0,71) (10.6. attēls). Līdzīgs rezultāts ir ksilāna atvasinājumiem (0,689).



10.6. attēls. Komercializācijas potenciāla noteikšanas multi-kritēriju analīzes rezultāti citiem inovatīviem produktiem no meža biomasas.

### 10.3. Perspektīvāko inovatīvo produktu no meža biomasas saraksts

Apkopojot visus daudzkritēriju analīzes rezultātus, redzams, ka vislielākais komercializācijas potenciāls ir biodīzeļdegvielai, bioeļļai, tekstilam no koksnes (liocelam) un suberīnam kā saistvielai. Saraksta pirmajā trijniekā ierindojas tie produkti, kuriem nav specifisku prasību attiecībā uz izejvielu (piem, 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 paneli), ksilāna atvasinājumiem un zivju barības piedevai no mikroorganismu proteīniem (10.4. tabula).

10.3. tabula. Produktu komercializācijas potenciāla izvērtējuma rezultāti, izmantojot daudzkritēriju analīzi

Produkts	Daudzkritēriju analīzes rezultāts	Vieta
Biodīzeļdegviela	0,829	1
Bioeļļa	0,813	2
Liocell (tekstils)	0,767	3
Suberīns kā saistviela	0,710	4
ICLT – savstarpēji savienoti krusteniski laminēti paneli	0,701	5
Ksilāna atvasinājumi	0,689	6
Zivju barības piedeva no mikroorganismu proteīniem	0,650	7
Suberīnskābju sāļi	0,596	8
Caurspīdīga koksne	0,587	9
Celulozes vate	0,584	10
Lignāns	0,580	11
Vanilīns, lignīns, etanols un celuloze	0,575	12
Dendrolight šūnmateriāls	0,551	13
Nanocelulozes cements	0,527	14
Viskoze	0,517	15
Koka putu siltumizolācija	0,515	16

Nanocelulozes plēve	0,513	17
Ciete	0,507	18
Nanokristāliskā celuloze	0,485	19
Kokšķiedras kompozītmateriāla grīdas segums	0,481	20
Koka-plastmasas kompozīti	0,473	21
Putnu un dzīvnieku barība no skuju koku zaleņa	0,467	22
Ioncell-F (tekstils)	0,461	23
Skuju siltumizolācijas materiāls	0,456	24
Stikla šķiedras/koksnes miltu termoplastiskais kompozītmateriāls	0,433	25
Furfurols	0,429	26
Lignīna polimēri	0,424	27
Aktivētā ogle kā sorbents	0,397	28
Butanols	0,306	29
Bioetanols	0,087	30

Katram no šiem produktiem ir savi plusi un savi mīnusi. Šis ir uzskatāms tikai kā sākuma materiāls, lai no attiecīgās nozares izvēlētos produktus ar visaugstāko komercializācijas potenciālu. Tāpēc pilnvērtīgai inovatīvu produktu komercializācijas potenciāla noteikšanai papildus jāveic detalizētāka analīze.

Ārpus perspektīvāko inovatīvo produktu saraksta palika produkti, kuriem tā pieteicējs nebija norādījis pietiekami detalizētu informāciju, lai šiem produktiem varētu veikt daudzkritēriju analīzi un noteikt to komercializācijas potenciālu. Tie ir 13 Latvijas valsts koksnes ķīmijas institūta piedāvātie produkti (acetilēta koksne, koksnes polimēra kompozīti ar termiski modificētas koksnes atlikumiem, kurināmās granulas ar uzlabotām īpašībām, Latvijā augošu lapkoku mizas biorafinēšana – kompleksas izmantošanas tehnoloģiskā shēma, levoglizenols, mikro (nano) fibrilēta celuloze, mikrokristāliskā celuloze, nanoporainu oglekļa materiālu uz biomasas bāzes superkondensatora elektrodiem, bioloģiski aktīvi savienojumi no priedes mehāniskās pārstrādes blakusproduktiem, suberīns kā saistviela ekoloģiskos šķiedru biokompozītos, tanīnu saturošs ekstrakts, termiski modificēta koksne, termo (ķīmiski) mehāniskā celuloze).

Šajā sarakstā nav iekļauti arī visi Latvijas Valsts mežzinātnes institūta "Silva" izstrādātie inovatīvie produkti no meža biomasas, jo par tiem netika sniegta detalizētāka informācija. Šie produkti izstrādāti Eiropas Reģionālās attīstības fonda (ERAF) līdzfinansētu nesaimniecisku projektu ietvaros. Šo projektu ietvaros radītas produktu tehnoloģijas atbilstoši Ministru kabineta nosacījumiem par nesaimnieciskajiem projektiem nav komercializējamas piecus gadus pēc projektu beigām.

No AS "Biolat" saņemta informācija, ka ir izstrādāti un patentēti produkti no skuju koku zaleņa un to ražošanas tehnoloģijas. Iesniegtajā sarakstā tika minēti šādi produkti: skuju ēterisko eļļu frakcijas, hlorofila karotīna pasta, skuju vitamīnu pasta, skuju biežais ekstrakts, skuju nātrija hlorofilīns, skuju nātrija hlorofilīna ūdens šķīdums "HO - FI", preparāts "Silbiols",



skuju poliprenoli, poliprenoli augu eļļā, fitoekols IF, skuju ūdens ekstrakts "AUSMA", skuju ūdens ekstrakts "MUNDRA", lubisil un dolofit. Liela daļa no šiem produktiem jau tiek ražoti un ir pieejami tirgū. Kā inovatīvs produkts tika piedāvāts skuju koku zalenis, sniedzot arī sīkāku informāciju, kas netika iekļauts šajā perspektīvāko inovatīvo produktu sarakstā, jo neatbilst šajā pētījumā definētajām inovatīva produkta prasībām, bet gan ir izejviela inovatīvu produktu ražošanai.

#### 10.4. Rekomendējamie inovatīvie produkti no meža biomasas tālākai izpētei

Pēc iegūtajiem rezultātiem pētījuma izpildītājs pasūtītājam rekomendēja veikt tālāko izpēti šādiem produktiem:

- biodīzeļdegviela no bioeļļas;
- liocelam (tekstilam no koksnes) + zivju barības piedevai no mikroorganismu proteīniem (abu produktu ražošanu var apvienot no vienas izejošās resursu plūsmas);
- suberīnam kā saistvielai.

Biodīzeļdegviela un bioeļļa pēc daudzkritēriju analīzes rezultātiem ieguva ļoti tuvus rezultātus, attiecīgi 1. un 2. vietu. Abi šie produkti ir savstarpēji saistīti. Bioeļļa ir gan kā galaprodukts, ko var izmantot kā šķidro kurināmo, gan kā izejviela smērvielu, ķīmikāliju un biodīzeļdegvielas ražošanai. Savukārt biodīzeļdegviela izmantojama kā galaprodukts – degviela. Tāpēc no pētījuma veicēja puses tika piedāvāts apvienot abus šos produktus un izvērtēt abu produktu ražošanu.

Tekstils no koksnes liocels ierindojās trešajā vietā, bet, ņemot vērā izejvielu plūsmu, tika piedāvāts vienlaicīgi apskatīt divu produktu ražošanu, jo tekstilam tiek izmantota koksnes celuloze, bet no pāri palikušās lignīna masas iespējams ražot zivju barības piedevu no mikroorganismu proteīniem, kas pēc daudzkritēriju analīzes rezultātiem ierindojās augstajā 7. vietā. Apvienojot šo abu produktu ražošanu, tiktu pilnībā izmantota visa izejošā koksnes biomasas plūsma, lai ražotu produktus ar augstu pievienoto vērtību, un nerastos nekādi atlikumi.

Suberīns kā saistviela ierindojās vērtējuma 4. vietā. Lai gan, arī šo produktu ražojot ir iespējams no izejošās plūsmas paralēli ražot citus produktus, tomēr šajā gadījumā tas tika piedāvāts tālākai analīzei kā atsevišķs produkts, jo šajā produktu analīzē nav iekļauti produkti, kurus varētu ražot paralēli šim produktam (piem., betulīns).

Pētījuma pasūtītājs AS "Latvijas valsts meži" pēc iepazīšanās ar daudzkritēriju analīzes rezultātiem, nolēma, ka tālākā izpēte jāveic liocelam (tekstilam no koksnes), ksilāna atvasinājumiem un bioeļļai.

Tālākās šo produktu komercializācijas potenciāla izpētes ietvaros katram produktam atsevišķi tika noteikta:

- produkta ietekme uz klimata politikas mērķu sasniegšanu (produktos uzkrātā oglekļa apjoma noteikšana un tā ietekme uz klimata politikas mērķu sasniegšanu) (šī pētījuma 5. nodaļa);

- koksnes resursa izvērtējums caur produkta prizmu (produkts -> nepieciešamais resurss -> resursa apjoms ekonomiski rentabli ražošanai -> resursa pieejamība (cik daudz no nepieciešamā resursa LVM var nodrošināt) (šī pētījuma 6. nodaļa);
- ekodizaina analīze (izmantojot ECO-it programmu) (šī pētījuma 7. nodaļa);
- potenciālā noieta tirgus izpēte (šī pētījuma 8. nodaļa);
- ekonomiskā analīze (izmantojot sistēmdinamikas modelēšanas metodi – šī pētījuma 9. nodaļa).

Šī pētījuma ietvaros, jo tā ir tikai priekšizpēte, izvēlēto trīs produktu tālākā analīze tiek veikta šo produktu atsevišķai ražošanai, neņemot vērā, ka paralēli, no izmantotās resursu plūsmas un atlikumiem iespējams ražot citus produktus un gūt no tā peļņu. Veicot turpmākus pētījumus un izvērtējot tālāk šo LVM izvēlēto produktu ražošanas iespējas, veicot ekonomiskos, tehnoloģiskos un ietekmes uz vidi un klimatu aprēķinus, noteikti jāizvērtē šo produktu ražošana kopā ar blakusproduktiem.

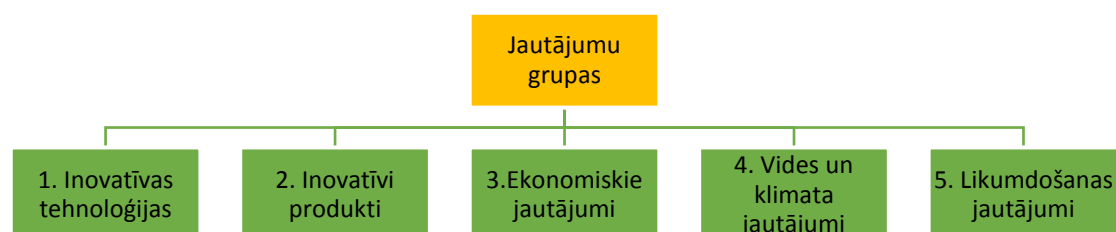
No koksni veidojošajiem galvenajiem organiskajiem savienojumiem: celulozes, hemicelulozes un lignīna, iespējams ražot dažādus inovatīvus produktus. Piemēram:

- no celulozes: nanocelulozi, levoglukozenolu, papīru;
- no hemicelulozes: furfuroļu, etanolu, butanolu, ksilitozi, glikozi, etiķskābi, bioūdeņradi, organiziskās skābes, fermentācijas substrātu enzīmu ražošanai, hitozānu;
- no lignīna: polimērus, zivju barības piedeva no mikroorganismu proteīniem, vanilīnu, funkcionālas piedevas, virsmaktīvās vielas, saistvielas, sorbentus, pretsalīpes vielas, oglekļa šķiedras, aktivēto ogli.

Zinot, ka liocell tekstilu iegūst no koksnes celulozes, ksilānu no hemicelulozes, iespējams izvērtēt, kādus produktus iespējams ražot no atlikumu plūsmām. Par katru no šiem blakusproduktiem, jāizvērtē, vai konkrētajā gadījumā tas ir pamatoti attiecībā uz izmantotajām koku sugām. Bioeļļas ražošanas procesā paralēli var iegūt bioogles un gāzi. Abus šos blakusproduktus var izmantot kā kurināmo. Jāpiemin, ka šajā tabulā nebūt nav ietvertas visas iespējas, tikai minētas zināmākās un šajā pētījumā ietvertās blakusproduktu ražošanas iespējas. No tā var secināt, ka pastāv plašas iespējas attīstīt bezatlikumu ražošanas shēmas un tādā veidā, ievērojot biotehonomikas pamatprincipus, panākt meža bioresursu ilgtspējīgu izmantošanu un produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanu.

## 11. Papildus pētāmie jautājumi. Ko darīt tālāk?

Viens no pētījuma uzdevumiem bija sagatavot jautājumu sarakstu, kas papildus pētāmi inovatīvu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanas tehnoloģiju attīstīšanai. Tā kā priekšizpēte veikta ne tikai, lai ieskicētu inovatīvas idejas produktu ražošanai no meža resursiem, bet arī lai rekomendētu papildu pētījumu virzienus, kuri ir nepieciešami, lai attīstītu inovatīvu produktu ar pēc iespējas augstāku pievienoto vērtību ražošanu, papildus pētāmo jautājumu saraksts apvienots ar rekomendācijām pētījuma pasūtītājam.



11.1. attēls. Jautājumu grupas.

Lai rastu atbildes par to, kas būtu turpināms, lai novestu idejas līdz reālam izpildījumam, sagatavotas rekomendācijas par papildus pētāmiem jautājumiem. Jautājumu saraksts inovatīvu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanas tehnoloģiju attīstīšanai sagatavots, balstoties uz pieredzi, kas iegūta gan pirms priekšizpētes projekta, gan tā izpildes laikā. Jautājumi sagrupēti 5 grupās (11.1. attēls).

### 11.1. 1. grupa. Inovatīvas tehnoloģijas

- 1.1. Izvērtēt kā samazināt atkritumu daudzumu, kuri tiek sadedzināti, lai iegūtu enerģiju ražošanas procesam. Ir jāveido inovatīvu produktu ražošanas tehnoloģiju simbioze, kura ļautu pilnīgāk un efektīvāk izmantot meža resursus: pamatprodukta ražošanas tehnoloģijas ļauj iegūt blakusproduktus, kuri tiek izmantoti kā izejviela cita produkta ražošanai.
- 1.2. Izstrādājot vai izvērtējot inovatīvas tehnoloģijas, jāpaaugstina enerģijas ražošanas energoefektivitāte. Jāanalizē koksnes apstrādes un pārstrādes atkritumu degšanas process energoefektivitāte katrai tehnoloģijai, lai iegūtu augstas kvalitātes (ne tikai siltumenerģiju, bet arī elektroenerģiju) un maksimālu daudzumu enerģijas.
- 1.3. Jārod iespējas radīt inovatīvas produktu ražošanas tehnoloģiju kopas, kurās, mainot parametru iestatījumus (piem., temperatūru, spiedienu, ātrumu u. tml.), iespējams ražot atšķirīgas produktu grupas produktus. Jāizvērtē, vai tādējādi būtu iespējams daļēji samazināt tehnoloģiju izgatavošanas, ražošanas procesa, iekārtu ekspluatācijas un utilizācijas izmaksas un visu iepriekš minēto procesu ietekmi uz vidi, kā arī samazināt kopējās investīcijas.
- 1.4. Izvērtējot kāda inovatīva produkta ražošanas uzsākšanu, jāizvērtē arī attiecīgā produkta ražošanas tehnoloģijas, vai tās atbilst biotehonomikas pamatprincipiem. Vēlams izvēlēties vislabākās pieejamās tehnoloģijas (*Best Available Techniques – BAT*). Jāsastāda tehnoloģiskās sistēmas ieejošās un izejošās plūsmas (izejvielas, elektroenerģija, siltumenerģija, ūdens, atlikumi/atkritumi utt.) balance, lai atrastu visefektīvākos,

ekonomiski visizdevīgākos, videi un klimatam visdraudzīgākos tehnoloģiskos risinājumus. Ir jāanalizē izvēlēto produktu līdzšinējā ražošana no fosilajiem resursiem un jāizvērtē iespējas pielāgot jau esošās tehnoloģiskās iekārtas atjaunojamajiem resursiem.

1.5. Izvērtēt iespējas Latvijā izveidot biorafinērijas rūpnīcu, kurā kā galvenais resurss tiktu izmantota meža biomasa.

1.6. Izvērtēt iespējas Latvijā atjaunot celulozes ražošanu, lai izgatavotu produktus ar augstu pievienoto vērtību, izmantojot inovatīvas, videi un cilvēka veselībai nekaitīgas tehnoloģijas.

## **11.2. 2. grupa. Inovatīvi produkti**

1.7. Veikt kopā ar zinātniskajām institūcijām mērķtiecīgas darbības, lai sasniegtu augstu tehnisko gatavību izvēlēto (interesējo, perspektīvāko) produktu komercializēšanā ražotņu pilotprojektu vai demonstrācijas projektu veidā. Ir jāveic uz rezultātu vērsti pētījumi – ar skaidri definētu mērķi, sagaidāmo rezultātu un tā lietojumu, lai zinātniskās izstrādes no laboratorijas nonāktu līdz ražotņu pilotprojektam vai demonstrācijas projektam. Ar augstas kvalitātes zinātniskiem pētījumiem sasniegt tādu līmeni, lai Latvijas zinātnieku sasniegumi tiek ieviesti ražošanā un no biomasas izgatavotu produktu tirgus cena būtu konkurētspējīga ar produktiem, kas izgatavoti no neatjaunojamiem dabas resursiem.

1.8. Novērtēt produkta lietošanas iespējas. Izvērtēt, vai izvēlētajā produkta ražošanas tehnoloģiskajā procesā radušies atlikumi ir izmantojami citu produktu ražošanai un vai šo blakusproduktu ražošana būtu ekonomiski pamatota. Jau agrīnā produktu un to ražošanas tehnoloģiju izstrādes stadijā ņemt vērā, lai to komponenti ir atkārtoti izmantojami.

1.9. Noskaidrot, vai ar inovatīviem produktiem, kas atbilst biotehonomikas principiem, iespējams pilnībā aizstāt no fosilajiem resursiem ražotos produktus. Ir jāsaprot valsts loma un iespējas biotehonomikas principu ieviešanai atkarībā no resursu pieejamības, valsts tautsaimniecības mērķu un prioritāšu viedokļa, no zinātnisko institūciju kapacitātes, no investoru vēlmēm un uzstādījumiem un no citu faktoru ietekmes.

1.10. Apzināt inovatīvus produktus no meža biomasas, kas ir agrīnā attīstības stadijā un vēl nav komercializēti, t. i., atrodas laboratorijas apstākļos, un atbalstīt praktiskus pētījumus šo produktu attīstībai. Dot iespēju Latvijas zinātnisko institūciju pārstāvjiem piedāvāt un AS “Latvijas valsts meži” atbalstīt vietējo zinātnieku radīto inovāciju attīstību meža biomasas izmantošanai produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai.

1.11. Veikt detalizētus pētījumus par bioeļļas, tekstila no koksnes un vērtīgu ķīmisku savienojumu ražošanas iespējām Latvijā, iekļaujot praktiskos pētījumus (tehnoloģiju un prototipu izstrādi) un biznesa plānu izstrādi konkrētu produktu ražošanai.

1.12. Veikt pētījumus arī par meža nekoksnes resursu izmantošanu atbilstoši biotehonomikas principiem produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai.

1.13. Veikt pētījumus par konkrētu, līdz šim nepilnīgi izmantotu meža bioresursu (piemēram, zaleņa, mizas) bezatlikumu izmantošanas iespējām dažādu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai. Veikt izpēti par lapu koku, atkarībā no koku sugas, izmantošanu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai.

### **11.3. 3. grupa. Ekonomiskie jautājumi**

1.14. Nepieciešama meža resursu izmantošanas Latvijā makroekonomiskā analīze. Šāda analīze palīdzētu izvērtēt priekšnoteikumus meža nozares pievienotās vērtības palielināšanai, izmantojot meža resursus inovatīvu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanas uzsākšanai. Meža resursu izmantošanas makroekonomiskās analīzes sistēmdinamikas modelis palīdzētu noskaidrot, kā attīstīt valsts makroekonomiku laikā no 2017. līdz 2030. gadam.

1.15. Ir jāveic padziļināts produktu ražošanas ekonomiskais aprēķins, ņemot vērā resursu pieejamības prognozi nākamajiem 10, 20 un 30 gadiem. Jāizpēta bioproduktu ražošanas rūpnīcas izvietojuma iespējas, nosakot konkrētajam produktam atbilstošu rūpnīcas ģeogrāfisko novietojumu Latvijas teritorijā, lai nodrošinātu rūpnīcu ar izejmateriāliem, infrastruktūru un darbaspēku.

1.16. Noteikt, cik liela nozīme ir sabiedrības izglītības līmenim un attieksmei, kas izpaužas reālā rīcībā, pieprasījuma pieaugumā pēc konkrēta bioprodukta. Izvērtēt, kā to iespējams ietekmēt. Iesaistīt sabiedrību uz zināšanām balstītas bioekonomikas attīstībā, jo inovatīvu produktu difūzija sabiedrībā ir apgrūtināta, tāpēc ir nepieciešama pircēju attieksmes maiņa. Ļoti svarīgi ir iesaistīt skolas un augstskolas informatīvos pasākumos, lai sniegtu pietiekami augsta profesionāla līmeņa informāciju, kas paaugstinātu sabiedrības izpratni par šiem jautājumiem. Ir jāiesaista plašsaziņas līdzekļi, lai sagatavotu atraktīvus stāstus par bioekonomiku no meža resursiem.

### **11.4. 4. grupa. Vides un klimata jautājumi**

1.17. Izstrādāt CO<sub>2</sub> piesaistes modelēšanas instrumentu, kas palīdzētu aizstāvēt Latvijas viedokli klimata politikas mērķu izstrādē. Nepieciešamību pēc kokmateriālu iznākuma modelēšanas instrumentiem nosaka SEG emisiju prognožu scenāriju izstrādāšana, kur šādi algoritmi vajadzīgi mežizstrādes apjoma un jaunu inovatīvu koksnes produktu ražošanas sasaistei un argumentācijas izstrādāšanai mežizstrādes apjoma dinamikai mainīgos ekonomiskos apstākļos.

1.18. Novērtēt inovatīva bioprodukta ražošanas procesu, vai to laikā nerodas vairāk SEG emisiju, nekā tiek ietaupīts, lietojot šo bioproduktu. Aprēķināt, kāda ir CO<sub>2</sub> emisiju emitēšanas (ražošanas procesā) un piesaistes balance. Veikt inovatīvo produktu aprites cikla un aprites izmaksu analīzi. Šobrīd to ir iespējams veikt, izmantojot *Power Sim* programmas izejas datu bāzi inventarizācijai un ietekmes noteikšanai.

1.19. Izstrādāt inovatīvu produktu ražošanas tehnoloģijas, kurās integrētas tikai tādas siltumenerģijas un elektroenerģijas iekārtas, kas izmanto atjaunojamus energoresursus.

Šādām tehnoloģijām ir jāizstrādā aprēķina modelis, kas katrā konkrētā gadījumā ļautu noteikt optimālo atjaunojamo energoresursu īpatsvaru, ieskaitot Saules un vēja enerģiju, un to izmantošanas tehnoloģiskos risinājumus.

- 1.20. Izvērtēt, kādu lomu spēlē mūsdienu meža koku selekcijas tendences, vērtējot resursu pieejamību inovatīvu produktu no meža biomasas ražošanai un kādu ietekmi uz vidi un meža bioloģisko daudzveidību šīs tendences var atstāt. Ilgtspējīgas inovatīvu produktu attīstības priekšnosacījums ir resursu ilgtspējība un to ražošanas un ieguves ietekme uz vidi, cilvēkiem un klimatu. Ir nepieciešams zinātnisks pētījums, lai saprastu robežnosacījumus.
- 1.21. Izvērtējot konkrētu produktu no meža biomasas ražošanu, ir jāvērtē arī, vai šim produktam vajadzīgs iepakojums un no kāda materiāla šim iepakojumam būtu jābūt, lai ar to netiktu radīts papildu slogs videi.
- 1.22. Izvērtēt, vai produktu iespējams ražot, izmantojot videi draudzīgus "ķīmiskos" šķīdinātājus vai kādas alternatīvas metodes. Ir jāmeklē videi visdraudzīgākie risinājumi, kas ļauj samazināt ietekmi uz vidi, aizstājot metodes, kurās lieto reaģentus, kas piesārņo vidi.
- 1.23. Veikt izpēti par bioekonomikas attīstības (palielinātas bioresursu izmantošanas bioproduktu ražošanai) ietekmi uz klimatu, vidi un bioloģisko daudzveidību, kā arī noteikt robežlielumus dažādiem bioresursiem, cik daudz ir pieļaujams paņemt no meža, neradot kaitējumu klimatam, videi un bioloģiskajai daudzveidībai.

### **11.5. 5. grupa. Likumdošanas jautājumi**

- 1.24. Izvērtēt citu valstu pieredzi par bioproduktu komercializāciju un ražošanu. Jāveic izpēte par iespējamo politikas instrumentu (nodokļi, granti, subsīdijas utt.) izmantošanas pieredzi citās valstīs un to lietošanas iespējām Latvijā. Lai veicinātu bioekonomikas attīstību mežsaimniecības nozarē, jāveic politikas instrumentu analīze un to ietekmes vērtējums šodien, 10, 20 un 30 gadu laikā.
- 1.25. Jāapzina šķēršļi un barjeras, kas varētu traucēt bioekonomikas attīstību veicinošas normatīvās bāzes sakārtošanu. Apzināt fosilo resursu pārvaldītāju ietekmi uz likumdošanas jautājumiem un kā tas varētu ietekmēt nepieciešamās izmaiņas normatīvajos aktos par labu bioekonomikas attīstībai.
- 1.26. Novērtēt bioekonomikas attīstību veicinošo normatīvo aktu ietekmi uz tautsaimniecību, nosakot, ka jābūt izstrādātai, ievērotai un izpildītai bioekonomikas stratēģijai katrā izglītības, zinātnes, valsts un pašvaldības iestādē un uzņēmumos. Meža nozarei ir nepieciešama bioekonomikas attīstības stratēģija (balstīta uz sektora dinamisku attīstību), kas būtu kā Latvijas bioekonomikas attīstības stratēģijas un Nacionālā attīstības plāna sastāvdaļa. Meža nozare varētu kļūt par galveno saiti starp izglītības, zinātnes, valsts un pašvaldības iestādēm un uzņēmumiem, lai iniciētu

bioekonomikas attīstību valstī. Izstrādāt uzņēmuma AS "Latvijas valsts meži" bioekonomikas stratēģiju.

- 1.27. Precizēt kopējo meža resursu pieejamību Latvijā (ieskaitot valsts un privātos mežus) un prognozēt to pieejamību dažādos laika periodos 2020., 2030. un 2050. gadā. Tā kā koksnes piegādi no kopšanas cirtēm neierobežo MK noteikumi, kā arī trūkst mežizstrādes prognozes sadalījuma pa sugām un potenciāli pieejamo kokmateriālu sortimentu griezumā, ir jāsagatavo prognoze par mežizstrādes apjomiem līdz 2030. un 2050. gadam.

## 12. Publiskā finansējuma piesaistīšanas iespējas inovatīvu produktu pētījumiem un komercializēšanai

Pētījuma ietvaros ir sagatavots izvērtējums par publiskā finansējuma piesaistīšanas iespējām, veicot papildu pētījumus un ieviešot ražošanā (komercializējot) perspektīvākos inovatīvos produktus ieviešanu (12.1. tabula). Apzinātas publiskā finansējuma programmas un iekļautas tabulā tās, kuru ietvaros varētu gūt atbalstu pētījumiem un projekta ietvaros radītajiem inovatīvajiem produktiem, noteikts katras programmas mērķis (pētījumi vai komercializēšana), pieejamais finansējuma apjoms un atbalsta intensitāte. Norādīts, kas var būt atbalsta saņēmējs, kādas ir katras programmas atbalstāmās aktivitātes, kā arī aktuālais laika periods un kur atrodama papildu informācija.

Vispiemērotākās investīciju programmas pētniecības jomā varētu būt Norvēģijas grants (2.1. neliela apjoma granta shēma) vai *Horizon 2020* (5.1. vai 5.3.). Publiskā finansējuma piesaistīšana inovatīvo produktu komercializēšanai varētu notikt ar Norvēģijas granta “Zaļo” tehnoloģiju ieviešanu ražošanā (2.2.) vai *Horizon 2020* MVU instrumenta programmu (5.2.1.), kas sadala “no koncepcijas līdz komercializēšanai” atbalstu 3 posmos mazajiem vai vidējiem uzņēmumiem vai jaundibinātiem uzņēmumiem.

Sekmīgi noslēdzot pilotprojektu FTI – *Fast track to innovation* (1.) un programmai sekmīgi virzoties tālāk, šis arī būtu ērts un efektīvs veids, kā piesaistīt investīcijas gan turpmākajiem pētījumiem, gan komercializēšanai.



11.5.tabula. Publiskā finansējuma piesaistīšanas iespējas inovatīvu produktu pētījumiem un komercializēšanai.

Nr.	Nosaukums	Finansējuma sniedzējs	Mērķis		Pieejamais finansējuma apjoms, eiro		Atbalsta intensitāte	Saņēmējs	Atbalstāmās aktivitātes	Aktuālais laika periods	Papildu informācija
			Pētījumiem	Komerčializēšanai	Kopējais	Maksimālais vienam projektam					
1.	FTI ( <i>Fast track to innovation</i> )	ES		X	100 milj./gadā	3 milj.	70 %	Privātais bizness (uz peļņu orientēts) min. 3, maks. 5 partneri, visi dibināti ES vai <i>Horizon 2020</i> valstīs	No idejas līdz tirgum (idejai jābūt izstrādātai tuvu realizācijai – 36 mēn.), visām izmaksu pozīcijām, kas saistītas ar tehnoloģijas virzīšanu tirgū (algas, iekārtas, personāla izmaksas u. c.).	2015–2016 (pilotprogramma, izvērtējot rezultātus, lems par turpmāko darbību)	<a href="https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/fast-track-innovation-pilot">https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/h2020-section/fast-track-innovation-pilot</a>
		ES	X		100 milj./gadā	3 milj.	100 %	Zinātniskām institūcijām un bezpeļņas organizācijām	Pētnieciskās un inovāciju aktivitātes, standartu izstrāde un veikspējas testēšana, pilotdarbības, demonstrācijas aktivitātes, risinājumu pārbaude reālajos darba apstākļos, sertifikācija, biznesa modeļu validācija.		
2.	EEA un Norvēģijas grants	LR Ekonomikas ministrija, LIAA, "Innovation Norway"	X	X	102,1 milj. (50,2 milj. EEA un 51,9 milj. Norvēģijas grants)			Juridiskās personas, kas Latvijā Republikā ir reģistrētas kā komersanti	Videi draudzīgu un energoefektīvu materiālu un produktu radīšana ēkām un būvēm; ekodizains; jebkuru citu produktu, tehnoloģiju vai procesu uzlabojumiem, kas dod ieguldījumu enerģijas efektīvai izmantošanai, izmešu samazināšanai, mazākam resursu patēriņam.	2014–2021	<a href="http://www.liaa.gov.lv/lv/fondi/norvegijas-finansu-grants">http://www.liaa.gov.lv/lv/fondi/norvegijas-finansu-grants</a>
2.1.	Neliela apjoma granta shēma	LR Ekonomikas ministrija, LIAA,	X		51,9 milj.	10 000–140 000	80 %	Latvijas Republikā reģistrēts komersants, kas atbilst sīkā (mikro), mazā vai vidējā komersanta statusam, vai Latvijas Republikā reģistrēts	Jaunuzsāktu komercdarbības aktivitāšu attīstība, sniedzot atbalstu komersantiem jaunu vai būtiski uzlabotu produktu, pakalpojumu un tehnoloģiju izstrādē un ieviešanā; (piem., prototipu izveide, ekspertu pakalpojumi, mārketingas, materiālu izmaksas,	2014–2021	

		"Innovation Norway"						komersants, kura viens no dibinātājiem vai vienīgais dibinātājs ir Latvijas Republikā reģistrēta zinātniskā institūcija, kas reģistrēta zinātnisko institūciju reģistrā	intelektuālā īpašuma tiesību nostiprināšanas pakalpojumu izmaksas).		
2.2.	Projektu iesniegumu atklāts konkurss "Atbalsts "Zaļo" tehnoloģiju ieviešanai ražošanā	LR Ekonomikas ministrijā, LIAA, "Innovation Norway"	X	X	51,9 milj.	170 000–700 000	45 %	Juridiskās personas, kas Latvijas Republikā ir reģistrētas kā komersanti	Aktivitātes mērķis ir atbalstīt inovatīvu vides tehnoloģiju, pakalpojumu un produktu ieviešanai: jaunu iekārtu iegādei, publicitātes pasākumiem, pētniecības pasākumiem, zināšanu pārneses darbību finansēšanai.		<a href="http://www.liaa.gov.lv/lv/fondi/norvegijas-finansu-grants">http://www.liaa.gov.lv/lv/fondi/norvegijas-finansu-grants</a>
3.	<b>COST programma</b>		X		129000 gadā	2200 gadā		Zinātnieku un speciālistu sadarbība	Pirmskonkurences pētniecībai, pētījumiem, kas risina aktuālas sabiedrības problēmas. Taču COST nedod kapitālieguldījumus pašiem pētījumiem, bet gan sadarbības veicināšanai.	4 gadi	<a href="http://www.cost.eu">www.cost.eu</a> <a href="http://viaa.gov.lv/lv/at/zinatnes_inovacijas_progr/cost_programma/cost_progr/">http://viaa.gov.lv/lv/at/zinatnes_inovacijas_progr/cost_programma/cost_progr/</a>
4.	<b>EUREKA + European Commission programma Eurostars-2</b>	36 Eurostars valstu budžeti un ES ar Horizon 2020 starpniecību	X	X	1,14 miljoni	210 000 uz projektu (maks. 70 000 gadā)	no 25 % (EK ieguldījums no projekta dalībniekam faktiski izmaksātā nacionālā atbalsta) līdz pat 100 % (fundamentāliem pētījumiem)	LR Uzņēmumu reģistra Komercreģistrā reģistrēti sīkie, mazie, vidējie un lielie komersanti ar juridiskās personas statusu; zinātnisko institūciju reģistrā reģistrētas zinātniskās institūcijas. Obligāta ir vismaz viena pētniecībā un attīstībā iesaistīta sīkā (mikro), mazā vai vidējā uzņēmuma – jaunā produkta, tehnoloģijas vai pakalpojuma ieviešana –	Transnacionālu inovatīvu projektu atbalsts, kuros izstrādātos produktus var ātri komercializēt. EUREKA: Fundamentālie pētījumi (100 % atbalsta intensitātes), rūpnieciskie pētījumi (50 %), eksperimentālā izstrāde (25 %), tehniski ekonomiskā priekšizpēte (50 %). Lielākā daļa projekta budžeta jāvelta pētniecībai. Eurostars 2 mērķis – Eiropas valstu atbalsts pētniecībā un attīstībā MVU (inovatīviem).	2010–20XX	<a href="https://www.eurostars-eureka.eu/about-eurostars">https://www.eurostars-eureka.eu/about-eurostars</a>

								dalība projektā. Dalījums: mazo, vidējo uzņēmumu īpatsvars 72 %, universitātes 12 %, pētniecības institūti 9 %, lieli uzņēmumi 6 %.			
5.	Horizon 2020 EEN tīkls	EK			80 miljardi		70–100 %; (20 % no kopējā budžeta, sabiedrības problēmu risināšanai un LIET - Pamattehnoloģiju un rūpniecisko tehnoloģiju attīstībai, atbalsts MVU)	Pieejams visiem, visas inovācijas formas, MVU instruments	Uzņēmējdarbības attīstībai, vienkāršota pieeja, atvērta visiem uzņēmumiem, universitātēm, institūtiem visās ES valstīs un ārpus tām, līdzfinansējums pētnieciskām un inovācijas aktivitātēm – 100 %, inovācijas aktivitātēm – 70 %.	2014–2020	"Programmas Horizon 2020 un SME instrumenta iespējas" VIAA, J. Balodis 2015.
5.1.	Eiropas Zinātnes padome (ERC)	EK	X		13 095 milj.	70–100 %	Pētnieki, universitātes, institūti (sadarbība ar uzņēmējiem)		5.1. Zinātniskā izcilība (ilgtermiņa atbalsts pētniekiem; pētījumi nākotnes un jaunās tehnoloģijas); ERC – Progresīvā pētniecība.	2014–2020	<a href="http://www.een.lv/Horizonts-2020">http://www.een.lv/Horizonts-2020</a>
	Nākotnes un jaunās tehnoloģijas (NJT)		X		2 696 milj.				Kopīgi pētījumi, lai atklātu jaunas inovāciju jomas.		
	Marijas Skladovskas - Kirī programma (MSCA)		X		6 162 milj.				Mācību un karjeras attīstības iespējas.		
	ES Pētniecības infrastruktūra (ieskaitot e-infrastruktūru)		X		2 488 milj.				Piekļuves nodrošināšana pasaules līmeņa objektiem.		

5.2.	Pamattehnoloģiju un rūpniecisko tehnoloģiju attīstība (LEIT)	EK	X	X	13 557 milj.		70 %	Mazie un vidējie uzņēmumi, jaundibināti uzņēmumi	5.2. Konkurētspējīga rūpniecība (atbalsts pamattehnoloģiju un rūpniecisko tehnoloģiju attīstībai; piekļuve riska finansējumam – privātā sektora finansējuma un riska kapitāla piesaistīšana pētniecībai un inovācijām; atbalsts inovācijām MVU) IKT, nanotehnoloģijas, materiāli, biotehnoloģijas, modernizēta ražošana, kosmosa izpēte.	2014–2020	
	Piekļuve riska kapitāla finansējumam		X	X	2 842 milj.				Privātā finansējuma un riska kapitāla uzlabošana pētniecībai un inovācijām.		
	Inovācijas mazajos un vidējos uzņēmumos		X	X	616 milj.				Dažādu inovāciju formu veicināšana visu veidu mazajos un vidējos uzņēmumos.		
5.2. 1.	SME Instrument (MVU instruments) 1. posms	EK	X			50000	Fiksēta summa, intensitāte 70%	MVU, jaundibināti uzņēmumi	Koncepcijas un iespējamības novērtējums. Projekta pieteikuma iesniegšanas brīdī tehnoloģijas gatavības pakāpei jau ir jābūt TRL 6. stadijā. (izpildes periods 6 mēn.).	2014-2020	EK;LIAA, Horizon 2020: ES Pētniecības un inovāciju pamatprogramma
	2. posms		X	X		0,2–2,5 milj.	Grants 70 % no kopējām projekta izmaksām		Idejas īstenošanai (visām izmaksu pozīcijām, kas saistītas ar tehnoloģijas virzīšanu tirgū – algas, iekārtas, personāla izmaksas u. c.) (12–24 mēn.).		
	3. posms	Privātais /valsts		X					Komerzializācijai (nav publiskā finansējuma).		
5.3.	Veselība, demogrāfijas izmaiņas un labklājība	EK	X		7472 milj.		70–100 %	Pētnieki, universitātes, institūti (sadarbība ar uzņēmumiem)	5.3. Sabiedrības problēmu risināšana (droša, tīra un efektīva enerģija, vieds “zaļš” un nekaitīgs transports, veselība, pārtika, lauksaimniecība un mežsaimniecība,	2014–2020	<a href="http://www.een.lv/Horizonts-2020">http://www.een.lv/Horizonts-2020</a>

Pārtika, ilgtspējīga lauksaimniecība un mežsaimniecība, jūras un iekšējo ūdeņu zinātniskā un tehniskā pētniecība, bioekonomika	X		3 851 milj.		bioekonomika, klimata un vides politika, resursu efektivitāte un izejvielas).
Droša, tīra un efektīva enerģija	X		5931 milj.		
Videi nekaitīgs un integrēts transports	X		6339 milj.		
Klimata politika, resursu efektivitāte un izejvielas	X		3081 milj.		
Droša sabiedrība – Eiropas iedzīvotāju brīvība un drošība	X		1309 milj.		
Zinātne, kas ietver un tiek vērsta uz sabiedrību	X		1695 milj.		
Izcilības veicināšana un līdzdalības paplašināšana	X		462816 milj.		

## Rekomendācijas

- Veikt detalizētus pētījumus par bioeļļas, tekstila no koksnes un vērtīgu ķīmisku savienojumu ražošanas iespējām Latvijā, iekļaujot praktiskos pētījumus (tehnoloģiju un prototipu izstrāde) un biznesa plānu izstrādi konkrētu produktu ražošanai.
- Izvērtēt iespējas Latvijā atjaunot celulozes ražošanu produktu ar augstu pievienoto vērtību izgatavošanai, izmantojot inovatīvas, videi un cilvēka veselībai nekaitīgas tehnoloģijas.
- Nepieciešams veikt pētījumus arī par meža nekoksnes resursu izmantošanu atbilstoši biotehonomikas principiem produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai.
- Izstrādāt uzņēmuma (AS "Latvijas valsts meži") bioekonomikas stratēģiju.
- Veicināt uzņēmēju un mežsaimniecības nozares profesionāļu izpratni un ieinteresētību ilgtspējīgā meža bioresursu izmantošanā.
- Veikt izpēti par lapu koku, atkarībā no koku sugas, izmantošanu produktu ar augstu pievienoto vērtību.
- Veikt pētījumus par konkrētu, līdz šim nepilnīgi izmantotu, meža bioresursu (piemēram, zaleņa, mizas) bezatlikuma izmantošanas iespējām dažādu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai.
- Apzināt inovatīvus produktus no meža biomasas, kas ir agrīnā attīstības stadijā un vēl nav komercializēti, t.i., atrodas laboratorijas apstākļos, un atbalstīt praktiskus pētījumus šo produktu attīstībai.
- Dot iespēju Latvijas zinātnisko institūciju pārstāvjiem piedāvāt un AS "Latvijas valsts meži" atbalstīt vietējo zinātnieku radīto inovāciju attīstību meža biomasas izmantošanai produktu ar augstu pievienoto vērtību radīšanai.
- Izvērtēt iespējas Latvijā izveidot biorafinērijas rūpnīcu, kurā kā galvenais resurss tiktu izmantota meža biomasas.
- Veikt izpēti par bioekonomikas attīstības (palielinātas bioresursu izmantošanas bioproduktu ražošanai) ietekmi uz klimatu, vidi un bioloģisko daudzveidību, kā arī noteikt robežlielumus dažādiem bioresursiem ko ir pieļaujams paņemt no meža, neradot kaitējumu klimatam, videi un bioloģiskajai daudzveidībai.

## Secinājumi

1. Veicot šo priekšizpēti, ir konstatēts, ka bioekonomikas attīstība spēlēs svarīgu lomu mežsaimniecības nozares attīstībā. Latvijā mežu resursi ir lielākais bioresurss, kas, no resursu pieejamības viedokļa, rada labvēlīgus priekšnoteikumus, lai bioekonomikas attīstību Latvijā balstītu tieši uz inovatīvu produktu no meža biomasas attīstību. Līdz ar to pozitīvi tiktu ietekmēta ne tikai valsts bioekonomikas attīstība, bet arī mežsaimniecība. Pastiprināts meža biomasas noiets produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai, veicinātu pieprasījumu pēc tiem un līdz ar to arī cenu kāpumu, pārspējot pat neapstrādātu apaļkoku eksportēšanas cenas.

2. Darba rezultātā identificētas jomas, kurās meža nozares uzņēmumiem ir perspektīvi darboties. Galvenā uzmanība jāpievērš enerģētikas un ķīmijas nozarei. Šajās nozarēs Latvijas zinātniekiem ir ieteicams koncentrēties uz unikālu, efektīvu un videi draudzīgu inovatīvu produktu izstrādes tehnoloģijām. Tādējādi pašas tehnoloģijas var kļūt par produktu, vai arī ar šādu tehnoloģiju palīdzību kļūst reālākas iespējas uzsākt inovatīvu produktu ražošanu Latvijā.

3. Ar šo priekšizpēti ir noskaidrots, ka ir jāturpina detalizēta izpēte par bioproduktiem no meža biomasas tekstilrūpniecībā, ķīmijas un enerģētikas nozarēs, lai attīstītu ideju par šo produktu ražošanu Latvijā. Ir ieteiktas tieši šīs trīs nozares, jo pētījuma laikā noskaidrots, ka šo nozaru produktiem (konkrētāk – tekstils no koksnes (liocels), bioeļļa un biodīzeļdegviela un tādi ķīmiski savienojumi kā ksilāns un suberīns) Latvijā ir vislielākais komercializācijas potenciāls.

4. Latvijas zinātniskās institūcijas ir gatavas veikt pētījumus par inovatīvu produktu no meža biomasas izstrādi, tai skaitā arī izstrādāt jaunas un efektīvas tehnoloģijas pasaulē jau zināmiem bioproduktiem, un to komercializēšanu, bet līdz šim inovāciju attīstībai ir traucējis:

- finansiālo resursu trūkums iesākto pētījumu turpināšanai, lai veiktu rūpnieciskos eksperimentus un novestu labas idejas līdz gatavam produktam, ko piedāvāt investoriem komercializēšanai;
- dažādu zinātnisko institūciju starpdisciplināras sadarbības neesamība. Tā nepieciešama jau agrīnā produkta attīstības stadijā, lai ātrāk un kvalitatīvāk spētu attīstīt jaunu, tirgū konkurētspējīgu un pieprasītu produktu;
- uz rezultātiem orientētu pētījumu trūkums;
- zinātniski pamatoti fakti un pārliecība, ka Latvijā ir atbilstoši un pietiekamā daudzumā pieejami bioresursi, lai no tiem uz vietas ražotu produktus ar augstu pievienoto vērtību, tādējādi nodrošinot pieprasījumu pēc konkrētām preču grupām gan vietējam tirgum, gan eksportam;
- bioekonomikas pamatprincipu neņemšana vērā, izstrādājot inovatīvus produktus un tehnoloģijas.

5. Priekšizpētes veikšanas laikā secināts, ka, izvērtējot inovatīvu produktu un tehnoloģiju komercializēšanas iespējas, jāņem vērā to komercializēšanu ietekmējošo faktoru (piemēram, ekonomiskie, politiskie, resursu, sociālie utt. faktori) dinamiskā daba. Jo

produkti, kas ir inovatīvi šodien, jau rītdien tiek aizstāti ar citām nākamās paaudzes izstrādņēm: tie ātri novecojas, jo par pasaules zinātnieku sasniegumiem katru dienu parādās jauna informācija. Investoriem ir svarīgi saprast, kāda gatavības līmeņa un attīstības pakāpes produktu ražošanā ieguldīt līdzekļus un kad to darīt.

6. Izvērtējot trīs inovatīvu produktu – tekstila no koksnes (liocela), bioeļļas un ksilāna atvasinājumu komercializācijas iespējas, secināts, ka katra šī produkta ražošana atsevišķi, neizmantojot atlikumus citu produktu ar augstu pievienoto vērtību ražošanai, nav ekonomiski izdevīga un atstāj lielāku ietekmi uz klimatu un vidi. Tāpēc ieteicams detalizēti izvērtēt šo produktu ražošanu kompleksā sistēmā ar citiem produktiem.



## Izmantotā literatūra

- [1] Blumberga D., Barisa A., Kubule A., Kļaviņa K., Lauka D., Muižniece I., Blumberga A., Timma L. Biotehonomika. Mācību grāmata. Rīga: RTU Izdevniecība, 2016, 338 lpp.
- [2] Odum H. Environmental accounting: energy and environment decision making. New York: John Wiley and Sons, 1996, 384 p.
- [3] Blumberga D., Veidenbergs I., Romagnoli F., Rochas C., Žandeckis A. Bioenerģijas tehnoloģijas. Monogrāfija. Rīga: RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, 2011, 272 lpp.
- [4] Lancker J. V., Wauters E., Huylenbroeck G. V. Managing innovation in the bioeconomy: An open innovation perspective. Biomass and Bioenergy 2016:90, pp. 60-69.
- [5] McCormick K., Kautto N. The bioeconomy in Europe: an overview. Sustainability 2013:5, pp. 2589-2608.
- [6] Ekonomikas ministrija. Inovācijas. [Tiešsaiste]. [Skatīts 12.10.2016.]. Pieejams: [https://www.em.gov.lv/lv/nozares\\_politika/nacionala\\_industriala\\_politika/inovacija/](https://www.em.gov.lv/lv/nozares_politika/nacionala_industriala_politika/inovacija/).
- [7] 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 2015:29, pp. 308-317.
- [8] European Commission. Innovating for Sustainable Growth: A Bioeconomy for Europe. 2012, 9 p.
- [9] Global Bioeconomy Summit. Communiqué of the Global Bioeconomy Summit 2015 - Making Bioeconomy Work for Sustainable Development. Berlin, 2015, 10 p.
- [10] 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.
- [11] Blumberga D., Muižniece I., Blumberga A., Baranenko D. Biotechnomy framework for bioenergy use. Energy Procedia 2015:95, pp. 76-80.
- [12] Cherubini F. Energy Conversion and Management. Energy Conversion and management 2010:51(7); pp. 1412-1421.
- [13] Aresta M., Dibenetto A., Dumeignil F. Biorefinery: from biomass to chemical and fuels. De Gruyter, 2012.
- [14] International Energy Agency. Task 42 Biorefining. Sustainable and synergetic processing of biomass into marketable food & feed ingredients, products (chemicals, materials) and energy. International Energy Agency, Wageningen, 2014, 66 p.
- [15] Biernat K., Grzelak P.L. Biorefinery Systems as an Element of Sustainable Development. Biofuels - Status and Perspective, InTech, Chapter 20, 2015.
- [16] Aresta M., Dibenedetto A., Dumeignil F. Biorefinery: From Biomass to Chemicals and Fuels. Berlin: De Gruyter, 2012.
- [17] Sirkin T., Houten M., The cascade chain - A theory and tool for achieving resource sustainability with applications for product design. Resources, Conservation and Recycling 1994:10(3); pp. 213-276.
- [18] Vis M., U. Mantau, B. Allen et.al. Study on the optimised cascading use of wood. European Commission, Brussels, 2016, 360 p.
- [19] Circular economy definition. [Tiešsaiste]. [Skatīts 13.10.2016.]. Pieejams: <http://whatis.techtarget.com/definition/circular-economy>.
- [20] European Commission. Closing the loop: The why and who of the Circular Economy. [Tiešsaiste]. [Skatīts 13.10.2016.]. Pieejams: <http://sustainablebrandsbarcelona.com/blog/circular-economy-closing-the-loop/>.
- [21] Eiropas Komisija. Noslēgt aprites loku – ES rīcības plāns pārejai uz aprites ekonomiku. Komisijas ziņojums Eiropas Parlamentam, Eiropas Ekonomikas un sociālo lietu komitejai un reģionu komitejai, Brisele, 2015.
- [22] European Commission. Circular Economy Strategy. [Tiešsaiste]. [Skatīts 13.10.2016.]. Pieejams: [http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm).
- [23] Espinoza O., Laguarda-Mallo M.F. Innovation in the Forest Products Industry, 2016. [Tiešsaiste]. [Skatīts 13.10.2016.]. Pieejams: <http://articles.extension.org:80/pages/68071/innovation-in-the-forest-products-industry>.
- [24] Jay S. Golden, Robert B. Handfield. Opportunities in the Emerging Bioeconomy. U. S. Department of Agriculture, Office of Procurement and Property Management, Washington, 2014.
- [25] Clark D., Aurenhammer P., Bartlomé O., Spear M. Innovative wood-based products. Forest Products Annual Market Review 2012, pp. 141-150.
- [26] Vandamme E.J., Anthonis T., Dobbelaere S., Verstraete W. Industrial Biomass: Source of Chemicals, Materials, and Energy! Implications and limitations of the use of biomass as a source. Belgian Academy of Council of Applied Sciences, Wetteren, 2011, 45 p.
- [27] Lancker J.V., Wauters E., Huylenbroeck G.V. Managing innovation in the bioeconomy: An open innovation perspective. Biomass and Bioenergy 2016:90; pp. 60-69.
- [28] Golembiewski B., Sick N., Bröring S. The emerging research landscape on 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 2015:29, pp. 308-317.

- [29] Cichocka D., Claxton J., Economidis I. European Union research and innovation perspectives on biotechnology. *Journal of Biotechnology* 2011:156, pp. 382-391.
- [30] NEMO - novel high performance enzymes and micro-organisms for conversion of lignocellulosic biomass to bioethanol. [Tiešsaite]. [Skatīts 27.11.2016.]. Pieejams: <http://nemo.vtt.fi/index.htm>.
- [31] Global-Bio-Pact project (Global-Bio-Pact Global Assessment of Biomass and Bioproduct Impacts on Socio-economics and Sustainability. [Tiešsaite]. [Skatīts 27.11.2016.]. Pieejams: <http://www.globalbiopact.eu/>.
- [32] The Biocore project. [Tiešsaite]. [Skatīts 27.11.2016.]. Pieejams: <http://www.biocore-europe.org/index.html>.
- [33] BIO-based products from FORestry via Economically Viable European Routes (BIOFOREVER). [Tiešsaite]. [Skatīts 28.11.2016.]. Pieejams: <https://bioforever.org/biocms/>.
- [34] Valsts pētījumu programmu 2014.–2017. gadam īstenotāji, finanses. Izglītības un zinātnes ministrija [Tiešsaite]. [Skatīts 28.11.2016.]. Pieejams: <http://www.izm.gov.lv/lv/zinatne/valsts-petijumu-programmas/2014-2017/istenotaji-finanses>.
- [35] Andersons B. Zinātniskais pārskats par valsts pētījumu programmas 2. posma izpildi. Rīga, 2016.
- [36] UNECE/FAO. Forest Products Annual Market Review 2015-2016. United Nations, 2016.
- [37] Borregaard [Tiešsaite]. [Skatīts 28.11.2016.]. Pieejams: <http://www.borregaard.com/Sustainability>. [Accessed 28.11.2016].
- [38] Eidsiva. [Tiešsaite]. [Skatīts 28.11.2016.]. Pieejams: <https://www.eidsivaenergi.no/>.
- [39] Norske Skog [Tiešsaite]. [Skatīts 28.11.2016.]. Pieejams: <http://www.norskeskog.com/>.
- [40] Standard Bio [Tiešsaite]. [Skatīts 28.11.2016.]. Pieejams: <http://standard.bio//>.
- [41] Viken Skog [Tiešsaite]. [Skatīts 28.11.2016.]. Pieejams: <http://www.viken.skog.no/>.
- [42] European Biofuels Technology Platform. Biofuel Fact Sheet Borregaard – commercial plant in Sarpsborg, Norway. European Biofuels, 2016.
- [43] Rodzrud G., Lersch M., Sjøde A. History and future of world's most advanced biorefinery. *Biomass and Bioenergy* 2012:46, pp. 46-59.
- [44] Lene L., Bryndis B., Asbjørn B., Hildén H.K., Óli H.G., Birgitte J., Amalie J., Nordberg K.E., Jane L., Miia M., Elsa S.S., Janus V., Alexander W.. Development of the Nordic Bioeconomy NCM reporting: Test centers for green energy solutions – Biorefineries and business needs. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, 2015
- [45] Modahi I.S., Brekke A., Valente C. Environmental assessment of chemical products from a Norwegian biorefinery. *Journal of Cleaner Production* 2015: 94, pp. 247-259.
- [46] UPM Biofuels [Tiešsaite]. [Skatīts 28.11.2016.]. Pieejams: <http://www.upmbiofuels.com/Pages/default.aspx>.
- [47] Metsa Fibre [Tiešsaite]. [Skatīts 28.11.2016.]. <http://www.metsafibre.com/en/Pages/default.aspx>.
- [48] Pitkanen K., Antikainen R., Droste N., Loiseau E., Saikku L., Aissani L. What can be learned from practical cases of green economy? - studies from five European countries. *Journal of Cleaner Production* 2016:139, pp. 666-676.
- [49] Moiseyev A., Solberg B., Maarit A., Kallio I. Wood biomass use for energy in Europe under different assumptions of coal, gas and CO<sub>2</sub> emission prices and market conditions. *Journal of Forest Economics* 2013:19, pp. 432–449.
- [50] Hellsmark H., Mossberg J., Soderholm P., Frishammar J. Innovation system strengths and weaknesses in progressing sustainable technology: the case of Swedish biorefinery development. *Journal of Cleaner Production* 2016:131, pp. 702-715.
- [51] Stephen J., Wood-Bohm S. Biomass Innovation. Alberta Innovates Bio Solutions, 2016.
- [52] FPIInnovations. North America Bio-Materials: Summary. FPIInnovations, 2011.
- [53] Canada's Forest Products Industry. Expect us in the unexpected [Tiešsaite]. [Skatīts 28.11.2016.]. Pieejams: <http://www.fpac.ca/wp-content/uploads/Innovation.pdf>.
- [54] Golden J.S., Handfield R.B. Why Biobased? Opportunities in the Emerging Bioeconomy. U. S. Department of Agriculture, Office of Procurement and Property Management, Washington, 2014, 40 p.
- [55] National Bioeconomy blueprint. Tehe White House, Washington, 2012, 48 p.
- [56] International Energy Agency. Bioenergy Project development & Biomass Supply, 2007, 66p.
- [57] Blumberga D., Veidenbergs I., Romagnoli F., Rochas C., Žandeckis A. Bioenerģijas tehnoloģijas. Monogrāfija. Rīga: RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, 2011, 272 lpp.
- [58] McKendry P. Energy Production from biomass (part 2): conversion technologies. *Bioresource Technology* 2002:83(1), pp.47-54.
- [59] Alonso D.M., Bond J.Q., Dumesic J.A. Catalytic conversion of biomass to biofuels. *Green Chemistry* 2010:12(9), pp. 1493-1513.
- [60] Jahurul M.I., Rasul M.G., Chowdhury A.A., Ashwath N. Biofuels production through biomass pyrolysis - A technological review. *Energies* 2012:5(12), pp. 4952-5001.
- [61] Zhang M., Li W., Zu S., Huo W., Zhu X., Wang Z. Catalytic Hydrogeneration for Bio-Oil Upgrading by a Supported NiMoB Amorphous Alloy. *Chemical Engineering & Technology* 2013:36(12), pp. 2108-2116.
- [62] French R. Partial hydrogenation of biomass pyrolysis oils to liquid fuel intermediates, 2012.
- [63] McDonald A., McIlroy D., Han Y., Kengne B.A. Pyrolysis bio-oil upgrading to renewable final report, 2014, 30 p.

- [64] IRENA, Innovation Outlook Advanced Liquid Biofuels, 2016.
- [65] Gerssen-Gondelach S.J., Saygin D., Wicke B., Patel M.K., Faai A.P.C. Competing uses of biomass: Assessment and comparison of the performance of bio-based heat, power, fuels and materials. Reviewable and Sustainable Energy Reviews 2014:40, pp. 964-998.
- [66] Kapdan I.K., Kargi F. Bio-hydrogen production from waste materials. Enzyme Microbial Technology, 2006:38(5), pp. 569-582.
- [67] Kumar P., Barrett D.M., Delwiche M.J., Stroeve P. Methods for Pretreatment of Lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. Ind.Eng.Chem.Res. 2009:48(8), pp. 3713-3729.
- [68] Christie W. Preparation of Ester Derivatives of fatty Acids for Chromatographic Analysis, 1993.
- [69] Lukovic N.O., Jugovic Z.K., Bezbradica D. Biodiesel fuel production by enzymatic transesterification of oils: recent trends, challenges and future analysis, 2011.
- [70] Berndes G., Asikainen B.A., Cowie A., Dale V., Egnell G., Linder M., Marelli L., Pare D., Pingoud K., Yen S. Forest biomass, carbon Neutrality and climate change mitigation.
- [71] Kumpiņš V., Rijkure I., Peipiņš U., Zicāne D., Turks M. Betulonskābes attīrīšanas paņēmieni. Latvija Patents LV15140A, 22.04.2016.
- [72] Peipiņš U., Freimanis N., Stepanovs D., Mishnev A., Turks M. Betulin 3,28-di-O-tosylate. Acta Crystallographica Section E 2014, pp. 879-880.
- [73] Khlebnicova T.S., Piven Y.A., Baranovsky A.V., Lakhvich F.A., Shishkina S.V., Zicāne D., Tetere Z., Rāviņa I., Kumpiņš V., Rijkure I., Mieriņa I., Peipiņš U., Turks M. Synthesis of novel lupane triterpenoid-indazolone hybrids with oxime ester linkage. Steroids, p. in press, 2016.
- [74] Pāže A. Jauna ekstrakcijas metode ausga betulīna satura ekstraktvielu atgūšanai. Promocijas darbs. Rīgas Tehniskā universitāte, Rīga, 2015.
- [75] Zandersons J., Rižikovs J., Pāže A., Dobeļe G., Tardenaka A., Spince B., Jurkjāne V. Method for the chemical processing of outer birch bark and apparatus for its realisation. Europe Patents EP2842564 (A1), 04.03.2015.
- [76] Ning S.K., Hung M.C., Chang Y.H., Wan H.P., Lee H.T., Shih R.F. Benefit assessment of cost, energy and environment for biomass pyrolysis oil. Journal of Cleaner Production 2013:59(15), pp. 141-149.
- [77] Isahak W.N.R.W., Hisham M.W.M., Yarmo M.A., Hin T.Y. A review on bio-oil production from biomass by using pyrolysis method. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012:16, pp. 5910-5923.
- [78] Akhtar J., Amin N.S. A review on operating parameters for optimum liquid oil yield in biomass pyrolysis 2012:16(7), pp. 5101-5109.
- [79] Meier D., Beld B., Bridgwater A.V., Elliott D.C., Oasmaa A., Preto F. State-of-the-art of fast pyrolysis in IEA bioenergy member countries. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2013:20, pp. 619-641.
- [80] Ministru kabineta rīkojums Nr.270. (2016.09.22). Par tiešā atbalsta apmēra likmēm biodegvielas ražošanai 2010. gadā [Tiešsaite]. [Skatīts 20.10.2016.]. Pieejams: <http://likumi.lv/doc.php?id=210219>.
- [81] Limayem A., Ricke S.C. Lignocellulosic biomass for bioethanol production: Current perspectives, potential issues and future prospects. Progress in Energy and Combustion Science 2012:38(4), pp. 449-467.
- [82] Alvira P., Pejo E.T., Negro M.J. Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: A review. Bioresource Technology 2010:101(13), pp. 4851-4861.
- [83] Gonzales-Garcia S., Moreira M., Feijoo G., Murphu R. Comparative life cycle assessment of ethanol production from fast-growing wood crops (black locust, eucalyptus and poplar). Biomass and Bioenergy 2012:39, pp. 378-388.
- [84] Centrālās statistikas pārvaldes datubāze. Dabas resursu krājumi un ieguves apjomi [Tiešsaite]. [Skatīts 20.10.2016.]. Pieejams: <http://www.csb.gov.lv/dati/statistikas-datubazes-28270.html>.
- [85] Hiromitsu M. Method for producing bio-ethanols. Japan Patents JP2008295394a, 11.12.2008.
- [86] Yu j.y., Jung C.D., Eom I.Y., Lee S.H., Hong K.S., Kim I.C., Jegal J.G., Song B.K. Method for preparing bioethanol from lignocellulosic biomass. Southcorea Patents KR20150006696, 19.01.2015.
- [87] Isop C., Joesph P., Leonetti J.P., Biton J. Lignocellulose se-degradant-restitant microorganism and method for producing same, and method for producing bioethanol using said microorganism. Japan Patents WO2015079868A1, 04.06.2015.
- [88] Green E. M. Fermentative production of butanol-the industrial perspective. Current Opinion in Biotechnology 2011:22(3), pp. 337-343.
- [89] Wy M., Wang M., Liu J., Huo H. Assessment of potential life-cycle energy and greenhouse gas emission effects from using corn-based butanol as a transportation fuel. Biotechnol. Prog. 2008:24(6), pp. 11204-1214
- [90] Nātre A., Kalniņš A. Biobutanols - kā viens no nākotnes alternatīvo degvielu veidiem. Pētījums par efektivitāti un ieviešanas iespējām Latvijā, saskaņā ar ES direktīvas - 2009/28/EK IEVIRZI. Atjaunojamās enerģijas konfederācija, Rīga, 2009, 26 lpp.
- [91] Mezule L., Dalecka B., Rubulis J., Juhna T. A fluorescent in situ hybridization method for identification of a microorganism. Europe Patents EP2886660(A1), 24.06.2015.
- [92] Mežule L. Komercializācijas pieteikums: Biodegvielas ražošanas tehnoloģija no biomasas. Rīgas Tehniskā universitāte, 2015.
- [93] Wolf L., 1-Butanol as a Gasoline Blending Biocomponent. Mobile Sources Technical Review Subcommittee, 2007.

- [94] Butamax, Butamax history, 2016. [Tiešsaite]. [Skatīts 25.10.2016.]. Pieejams: <http://www.butamax.com/history.aspx>.
- [95] Luque R., Lin C.S.K., Wilson K., Clark J. Handbook of Biofuels Production. Process and Technologies. Elsevier, 2016, 688 p.
- [96] Jahurul M.I., Rasul M.G., Chowdhury A.A., Ashwath N. Biofuels Production through Biomass Pyrolysis—A Technological Review. *Energies* 2012:5(12), pp. 4952-5001.
- [97] Steele P., Puettmann M.E., Penmetsa V.K., Cooper J.E. Life-cycle assessment of pyrolysis bio-oil production. *Forest Products Journal* 2012:62(4), pp. 326-334.
- [98] Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūta sniegtā informācija, 2016.
- [99] Korkina L. Phenylpropanoids as naturally occurring antioxidants: from plant defense to human health. *Cellular and Molecular Biology* 2007:53(1), pp. 15-25.
- [100] Adlercreutz H. Lignans and Human Health. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences* 2007:44(5-9), pp. 483-525.
- [101] Al-Jumailya E.F., Al-Shimarya A.O. A., Shubbr E.K. Extraction and Purification of lignan compound from flax seed. *Asian Journal of Plant Science and Research* 2012:2(3), pp. 306-312.
- [102] Daugavietis M., Spalviņš K., Polis O., Korica A., Vītiņa Ī.I., Krastiņa V., Jemeljanovs A., Ceriņa S.. Premiksa sastāvs lauksaimniecības dzīvnieku un putnu barības sagatavošanai. *Latvija Patents LV14568B*, 20.12.2012.
- [103] Vītiņa Ī.I., Ceriņa S., Krastiņa V., Jansons I., Proškina L., Jemeljanovs A., Lujāne B., Aņenkova R., Daugavietis M. Eglu skuju ekstraktvielu piedeva staltbrīžu barības devās ziemas periodā. Vietējo resursu (zemes dzīļu, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana - jauni produkti un tehnoloģijas (*NatRes*), 2013, 236-239. lpp.
- [104] Dignum M.J.W., Kerlera J., Verpoorte R.. Vanilla Production: Technological, Chemical, and Biosynthetic Aspects. *Food Reviews International* 2001:17(2), pp. 119-120.
- [105] Hocking M.B. Vanillin: Synthetic Flavoring from Spent Sulfite Liquor. *Journal of Chemical Education* 1997:74(9), pp. 1055-1059.
- [106] Alexander F., Robert S. An Improved Procedure for Synthesis of DL-4-Hydroxy-3-methoxymandelic Acid (DL-"Vanillyl"-mandelic Acid, VMA). *Journal of Research of the National Bureau of Standards - a. Physics and Chemistry* 1974:78A(3), pp. 411-412.
- [107] Lawrence E.J., Formanek K., Kientz G., Mauger F., Maureaux V., Robert G., Truchet F., Vanillin. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, New York, John Wiley & Sons, 1997, p. 812-825.
- [108] Sjöde A., Frölander A., Lersch M., Rodsrud G.. Lignocellulosic Biomass Conversion by Sulfite Pretreatment. *Europe Patents WO 2010078930 A3*, 17.04.2009.
- [109] Borregaard. Creating value from wood - The Borregaard biorefinery [Tiešsaite]. [Skatīts 15.10.2016.]. Pieejams: [http://www.bioref-integ.eu/fileadmin/bioref-integ/user/documents/Martin\\_Lersch\\_\\_Borregaard\\_-\\_Creating\\_value\\_from\\_wood\\_-\\_The\\_Borregaard\\_biorefinery.pdf](http://www.bioref-integ.eu/fileadmin/bioref-integ/user/documents/Martin_Lersch__Borregaard_-_Creating_value_from_wood_-_The_Borregaard_biorefinery.pdf).
- [110] Alriksson B., Hörnberg A., Gudnason A.E., Knobloch S., Arnason J., Johannsson R. Fish feed from wood. *Cellulose Chem. Technol.* 2014:48(99-10), pp. 843-848.
- [111] Fishmeal Monthly Price [Tiešsaite]. [Skatīts 12.10.2016.]. Pieejams: <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=fish-meal>.
- [112] Borbély É. Lyocell, the new generation of regenerated cellulose. *Acta Polytech. Hungarica* 2008:5(3), pp. 11-18.
- [113] Lenzing. Group. Leading Fiber Innovation. Lenzing Invest. Present. Full year results 2015, 2016.
- [114] Hummel M., Michud A., Asaadi S., Tanttu M., Sixta H. High tenacity cellulosic fibres via ionic liquid processing, 2013.
- [115] Salmela J., Kiiskinen H., Oksanen A. Method for the manufacture of fibrous yarn. *Finland Patents US2016/0160399A1*, 9.6.2016.
- [116] EPC Group. Lyocell Technology, 2008.
- [117] SpecialChem. Spinnova Develops Fiber to Yarn Technology Based on Spruce and Pine Fibers, 2015.
- [118] Zikeli S., Longin M. Lyocell method comprising an adjustment of the processing duration based on the degree of polymerization. *Austria Patents US 20100219547 A1*, 02.09.2010.
- [119] Sixta H., Michud A., Hauru L., Asaadi S., Ma Y., King A.W.T., Kilpeläinen I., Hummel M. Ioncell-F: A High-strength regenerated cellulose fibre. *Nord. Pulp Pap. Res. J.* 2015:30(1), pp. 43-57.
- [120] Lenzing Group. Focus on value. Annual report 2014, 2014.
- [121] Anne M., Marja R. From cellulose to textile fiber and a ready products. *FIBIC Finnish Bioeconomy Clust.*, 2014.
- [122] Herbert S. Ioncell-F, a novel Man-made Cellulosic Fiber. *Dep. For. Prod. Technol. Sch. Chem. Technol.*, 2014.
- [123] Sixta H., Michud A., Hauru L., Asaadi S., Ma Y., King A.W.T., Kilpeläinen I., Hummel M., Ioncell-F: A High-strength regenerated cellulose fibre. *Nordic Pulp & Paper Research Journal* 2015:30(1), pp. 43-57.
- [124] Michud A. Development of a novel process for the production of man-made cellulosic fibers from ionic liquid solution. *Aalto University, Aalto*, 2016.
- [125] Aalto University. Ioncell-F [Tiešsaite]. [Skatīts 15.10.2016.]. Pieejams: [http://puu.aalto.fi/en/research/research\\_groups/biorefineries/ioncell\\_f/](http://puu.aalto.fi/en/research/research_groups/biorefineries/ioncell_f/).
- [126] Viscose [Tiešsaite]. [Skatīts 12.10.2016.]. Pieejams: <http://www.afma.org/f-tutor/rayon.htm#top>.
- [127] Owen G. Innovation in the man-made fibres industry : corporate strategy and national institutions, 2012.

- [128] Hassi H. Future outlook of man made cellulosic fibres. SciTech Serv. Oy., 2015.
- [129] Stora S.V. «issolving pulp and viscose staple fiber manufacturing. SE Biomater, 2015.
- [130] Li Y., Fu Q., Y. S., Yan M., Berglund, L. Performance, Optically Transparent Wood from a Nanoporous Cellulosic Template: Combining Functional and Structural. Biomacromolecules 2016:17(4), pp. 1358-1364.
- [131] Zhu M., Li T., Davis C., Yao Y., Dai J., Wang Y. Transparent and haze wood composites for highly efficient broadband light management in solar cells. Nano Energy 2016:26, pp. 332-339.
- [132] Zhu M., Song J., Li T., Gong A., Wang Y., Dai J., Hu L. Highly Anisotropic, Highly Transparent Wood Composites. Advanced Materials 2016:28(38), pp. 5181-5187.
- [133] Novaes E., Kirst M., Chiang V., Winter-Sederoff H., Sederoff R. Lignin and Biomass: A Negative Correlation for Wood Formation and Lignin Content in Trees. Plant Physiology 2010:154(2), pp. 555-561.
- [134] Hurtado P., Rouilly A., Raynaud C., Vandenbossche V. The properties of cellulose insulation applied via the wet spray process. Building and Environment 2016:107, pp. 43-51.
- [135] Hurtado P., Rouilly A., Vandenbossche V., Raynaud C. A review on the properties of cellulose fibre insulation. Building and Environment 2016:96, pp. 170-177.
- [136] DendroLight šūnmateriāls [Tiešsaite]. [Skatīts 10.11.2016.]. Pieejams: <http://dendrolight.lv/lv/produkti/sunmaterials/>.
- [137] DendroLight Latvija. Produkti [Tiešsaite]. [Skatīts 10.11.2016.]. Pieejams: <http://dendrolight.lv/lv/atteli/#>.
- [138] Teuber L., Osburg V.S., Toporowskib W., Militza H., Krausec A. Wood polymer composites and their contribution to cascading utilisation. Journal of Cleaner Production 2016:110, pp. 9–15.
- [139] Wei L., Starkb N.M., McDonald A.G. Interfacial improvements in biocomposites based on poly(3-hydroxybutyrate) and poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) bioplastics reinforced and grafted with  $\alpha$ -cellulose fibers. Green Chemistry 2015:17, pp. 4800-4814.
- [140] Suwannakasa P., Petrchwattanab N., Covavisarucha S. Bioplastic composite foam prepared from poly(lactic acid) and natural wood flour. AIP Conference Proceedings, 2016.
- [141] Nam K.G., Son J.I. Wood plastic composite. Patent WO2013151287A1, 10.10.2013.
- [142] Fraunhofer. Effective thermal insulation with wood foam 2014 [Tiešsaite]. [Skatīts 16.10.2016.]. Pieejams: [https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/en/press-media/2014/march/research\\_news/rn03\\_2014\\_M%C3%84RZ.pdf](https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/en/press-media/2014/march/research_news/rn03_2014_M%C3%84RZ.pdf).
- [143] Kim K. J., Pal K. Recent Advances in the Processing of Wood-Plastic Composites, Springer, 2011, 174 p.
- [144] Eiropas parlamenta direktīva 2000/53/EC, 2000.
- [145] LumaCimp Thermowood composite [Tiešsaite]. [Skatīts 15.10.2016.]. Pieejams: <http://lunacomp.fi/eng>.
- [146] He H., Nie J., Wang J. Impacts of Limestone Particle Size on the Performance of Flexible Wood Fiber Composite Floor. Advances in Materials Science and Engineering, 2015.
- [147] Peters S.J., Rushing T.S., Landis E.N., Toney K. Cummins. Nanocellulose and Microcellulose Fibers for Concrete. Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board 2010, pp. 25-28.
- [148] Salas C., Nypelö T., Rodriguez-Abreu C., Carrillo C., Rojas O.J. Nanocellulose properties and applications in colloids and interfaces. Current Opinion in Colloid & Interface Science 2014:19, pp. 383-396.
- [149] Bhalerao N., Wayal A.S., Patil P.G., Bharimalla A.K. A Review on effect of nanocellulose on concrete. International Journal of Civil and Structural Engineering Research 2015:3(1), pp. 251-254.
- [150] Smith R.E. Interlocking Cross-laminated Timber: alternative use of waste wood in design and construction. University of Utah, Integrated Technology in Architecture Center, 2011.
- [151] Michel-Arnaud A.A., Kevin B., Pierre S. Cross-laminated timber panel. Canada Patents CA2872041A1, 08.11.2012.
- [152] Yannian Z., Li S., Xi L., Qingjie W. CLT (Cross Laminated Timber) wall-board connecting structure and connecting method thereof. China Patents CN105672496A, 15.06.2016.
- [153] Bentley C.J. Cross laminated timber construction. New Zealand Patents WO2015152735A1, 08.10.2015.
- [154] Muizniece I., Lauka D., Blumberga D. Thermal Conductivity of Freely Patterned Pine and Spruce Needles. Energy Procedia 2015:72, pp. 256-262.
- [155] Muizniece I., Blumberga D., Ansona A. The Use of Coniferous Greenery for Heat Insulation Material Production. Energy Procedia 2015:72, pp. 209-215.
- [156] Muizniece I., Vilcane L., Blumberga D. Laboratory research of granulated heat insulation material from coniferous forestry residue. Agronomy Research 2015:13(3), pp. 690-699.
- [157] Muizniece I., Blumberga D. Thermal conductivity of heat insulation material made from coniferous needles with potato starch binder. Energy procedia 2016:95, pp. 324-329.
- [158] Muizniece I., Blumberga D. Kokskaidu siltumizolācijas materiāls. Latvijas Patents LV14792, 20.03.2014.
- [159] Muizniece I., Blumberga D., Lauka D., Blumberga A. Granulēts kokskaidu siltumizolācijas materiāls». Latvia Patents LV15124A, 20.05.2016.
- [160] Valente M., Sarasini F., Marra F., Tirillò J., Pulci G. Hybrid recycled glass fiber/wood flour thermoplastic composites: Manufacturing and mechanical characterization. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing 2011:42(6), pp. 649-657.
- [161] Rodriguez-Reinoso F. Activated Carbon: Structure, characterization, preparation and applications. Introduction to Carbon Technologie, University of Alicante: Secretariado de Publicacione, 1997.

- [162] RnR Market Research. World Activated Carbon Market [Tiešsaite]. [Skatīts 17.10.2016.]. Pieejams: <http://www.prnewswire.com/news-releases/world-activated-carbon-market-to-reach-1733-million-tons-by-2017-says-a-new-research-report-at-rnrmarketresearchcom-499576251.html>.
- [163] Gruell D., Jetzinger F., Kozich M., Wastyn M.M., Wittenberger R. Industrial Starch Platform – Status quo of Production, Modification and Application. Biorefineries-Industrial Processes and Products: Status Quo and Future Directions, Weinheim, Germany, Wiley-VCH, 2006, pp. 61-95.
- [164] Shen L., Haufe, J., Patel M. Product overview and market projection of emerging bio-based plastics, PRO-BIP 2009. Universiteit Utrecht, Netherlands, 2009.
- [165] You C., Chena H., Myung S., Sathitsuksanoh N., Mad H., Zhang X.Z., Li J., Zhang P. Enzymatic transformation of nonfood biomass to starch. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2013;110(18), pp. 7182-7187.
- [166] Zhang Y.H. Next-generation biorefineries will solve the food, biofuels and environmental trilemma in the energy-food-water nexus. *Energy Science & Engineering* 2013;1(1), pp. 27-41.
- [167] Kolawole O.P. Cassava Processing and the Environmental Effect. World Sustainability Forum, Basel, 2014.
- [168] Kuuti L. Cellulose, starch and their derivatives for industrial applications. VTT Technical Research Centre of Finland, 2013.
- [169] SIA "Aloja Starkelsen" [Tiešsaite]. [Skatīts 09.10.2016.]. Pieejams: <http://www.aloja-starkelsen.lv/>.
- [170] Zeitsch K. The chemistry and technology of furfural and its many by-products, 1st ed., Amsterdam: Elsevier Science, 2000, 376 p.
- [171] LLC, BCC Research. Global furfural market on the move with double digit growth, 2016 [Tiešsaite]. [Skatīts 11.10.2016.]. Pieejams: <http://www.bccresearch.com/pressroom/avm/global-furfural-market-on-the-move-with-double-digit-growth>.
- [172] Patents. Nanocrystalline cellulose [Tiešsaite]. [Skatīts 11.10.2016.]. Pieejams: [https://www.google.lv/search?tbm=pts&hl=en&q=wood+plastic+composite&gws\\_rd=cr&ei=prbrV8vSJspsgHLipCgCQ#hl=en&tbm=pts&q=nanocrystalline+cellulose](https://www.google.lv/search?tbm=pts&hl=en&q=wood+plastic+composite&gws_rd=cr&ei=prbrV8vSJspsgHLipCgCQ#hl=en&tbm=pts&q=nanocrystalline+cellulose).
- [173] Kaboorani A., Riedl B., Blanchet P., Fellin M., Hosseinae O., Wang S. Nanocrystalline cellulose (NCC): A renewable nano-material for polyvinyl acetate (PVA) adhesive. *European Polymer Journal* 2012;48(11), pp. 1829-1837.
- [174] Brinchi L., Cotana F., Fortunati E., Kenny J.M. Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and applications. *Carbohydrate Polymers* 2013;94(1), pp. 154-169.
- [175] Ebringerova A., Heinze T. Xylan and xylan derivatives – biopolymers with valuable properties, 1 Naturally occurring xylans structures, isolation procedures and properties. *Macromol.Rapid Commun.* 2000;21, pp. 542-556.
- [176] Ebringerova A., Hromadkova Z., Heinze T. Hemicellulose. *Advances in Polymer Science*, Berlin, Heidelberg: Springer, 2005.
- [177] Fišerova M., Opalena E. Hemicelluloses extraction from beech wood with water and alkaline solutions. *Wood Research* 2012;57(4), pp. 505-514.
- [178] Global market insights Inc. Xylan market – Global Industry Analysis Report, Share, Size, Growth, Price trends and Forecast, 2016-2024.
- [179] Vederņikovs N., Krūma I., Brazdauskas P. Ksilozes iegūšana kompleksi pārstrādājot bērza koksni. Vietējo resursu ilgtspējīga izmantošana - jauni produkti un tehnoloģijas. Valsts pētījumu programma, 2010-2013, Rakstu krājums 2013., pp. 122-125.
- [180] Panthapulakkal S., Pakharensko V., Sain M. Microwave Assisted Short-Time Alkaline Extraction of Birch Xylan. *Journal of Polymers and the Environment* 2013;21(4), pp. 917-929.
- [181] Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts. Ksilozes iegūšanas paņēmieni. Latvijas Patents P-13-178, 20.01.2016.
- [182] Witczak Z.J. Levoglucosenone and Levoglucosans: Chemistry and Applications, Illinois: ATLPRESS, Inc. Science Publishers, Mount Prospect, 1994.
- [183] Zbigniew J. Witczak. Levoglucosenone: a chiral building block with a new perspective. *Chemicals and Materials from Renewable Resource* 2001;784, pp. 81-97.
- [184] Ross C.G., Howard L.C., Douglas L.W., James D.A. Method for converting lignocellulosic materials into useful chemicals. *Singapūra Patents SG10201403520S(A)*, 30.10.2014.
- [185] Court G.R., Lawrence C.H., Ravertry W.D., Duncan A.J. Method for converting lignocellulosic materials into useful chemicals. *Amerikas Savienoto Valstu Patents US2012/0111714*, 10.05.2014.
- [186] Sherwood J., Bruyn M.D., Constantinou A., Moity L., McElroy C.R., Farmer T.J., Duncan T., Ravertry W., Hunt A.J., Clark J.H. Dihydrolevoglucosenone (Cyrene) as a bio-based alternative for dipolar aprotic solvents. *Chemical Communications* 2014;50, pp. 9650-9652.
- [187] Wei X., Wang Z., Wu Y., Yu Z., Jin J., Wu K. Fast pyrolysis of cellulose with solid acid catalysts for levoglucosenone. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2014;107, pp. 15-154.
- [188] Kudo S., Zhou Z., Yamasaki K., Norinaga K., Hayashi J.U. Sulfonate ionic liquid as a stable and active catalyst for levoglucosenone production from saccharides via catalytic pyrolysis, *Catalysts* 2013;3(4), pp. 757-773.
- [189] Statistics market research consulting. Bioplastics & Biopolymers - Global Market Outlook (2016-2022), 2016.

- [190] Duval A., Lawoko M. A review on lignin-based polymeric, micro - and nano-structured materiāls. *Reactive and Functional Polymers* 2014:85, pp. 78–96.
- [191] Mahmood N., Yuan Z., Schmidt J., Xu C.C. Depolymerization of lignins and their applications for the preparation of polyols and rigid polyurethane foams: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2016:60, p. 317–329.
- [192] Kadla J.F., Kubo S. Lignin-based polymer blends: analysis of intermolecular interactions in lignin–synthetic polymer blends. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2004:35(3), pp. 395–400.
- [193] Transparency Market Research. Microcrystalline Cellulose (MCC) Market for Food and Beverage, Pharmaceutical, Personal Care and Other End-users - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends and Forecast 2014 – 2020, 2015.
- [194] Krawczyk G., Venables A., Tuason D. Microcrystalline cellulose, *Handbook of Hydrocolloids* (Second edition). Woodhead Publishing Limited, 2009, pp. 740–759.
- [195] Šantl M., Ilić I., Vrečer F., Baumgartner S. A compressibility and compactibility study of real tableting mixtures: The impact of wet and dry granulation versus a direct tableting mixture. *International Journal of Pharmaceutics* 2011:414(1-2), pp. 131–139.
- [196] Trache D., Hussin H.M., Chuin C.T.H., Sabar S., Fazita M.R.N, Taiwo O.F.A., Hassan T.M., Haafiz M.K.M. Microcrystalline cellulose: isolation, characterization and bio-composites application – A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, In press, 2016.
- [197] Research ad market. Nanocellulose, 2016 [Tiešsaite]. [Skatīts 20.10.2016.]. Pieejams: <http://www.researchandmarkets.com/search.asp?q=nanocellulose>.
- [198] Rozenberga L., Vikele L., Vecbiskena L., Šāble I., Laka M., Grīnfelds U. Preparation of nanocellulose using ammonium persulfate and method's comparison with other techniques. *Key Engineering Materials* 2016:674, pp. 21–25.
- [199] Dufresne A. Nanocellulose, De Gruyter, 2012, 460 p.
- [200] Rambabu N., Panthapulakkal S., Sainb M., Dalai A.K. Production of nanocellulose fibers from pinecone biomass: Evaluation and optimization of chemical and mechanical treatment conditions on mechanical properties of nanocellulose films. *Industrial Crops and Products* 2016:83, pp. 746–754.
- [201] Börjesson M., Westman G. Crystalline Nanocellulose — Preparation, Modification, and Properties. *Cellulose - Fundamental Aspects and Current Trends*, InTechOpen, 2015, pp. 159–191.
- [202] Rautiainen M., Havimo M., Gruduls K. Biocoal production, properties and uses, 2012.
- [203] Dobeļe G., Teleševa G., Dižbite T., Volperts A., Vervikiško D., Školņikovs J. Method for obtaining carbon-based sorbent. *Latvijas Patents* LV14683B, 20.10.2013.
- [204] Ferreira R., Garcia H., Sousa A.F., Guerreiro M., Duarte F., Freire C., Calhorda M, Silvestre A. Unveiling the dual role of the cholinium hexanoate ionic liquid as solvent and catalyst in suberin depolymerisation. *The Royal Society of Chemistry* 2014:4, pp. 2993–3002.
- [205] Petkovic M., Ferguson J.L, Gunaratne H.Q.N., Ferreira R., Leitão M.C., Seddon K.R., Rebelo L.P.N. Novel biocompatible cholinium-based ionic liquids - Toxicity and biodegradability. *Green Chemistry* 2010:12(4), pp. 643–649.
- [206] Ferreira R., Garcia H., Sousa A.F., Freire C., Silvestre A., Rebelo L.P.N., Pereira C.S. Isolation of suberin from birch outer bark and cork using ionic liquids: a new source of macromonomers. *Industrial crops and Products* 2013:44, pp. 320–327.
- [207] Gandini A., Pascoal C., Silvestre A.J.D. Suberin: a promising renewable resource for novel macromolecular materiāls. *Progress in Polymer Science* 2006:31(10), pp. 878–892.
- [208] Ampulski R.S., Turner J.T., Simmons W.W. Pretreatment of biomass using steam explosion methods. *Unated States of America Patents* US8961628 B2, 26.12.2013.
- [209] Polyurethane Markets in China. Market Research Report, 2016.
- [210] Healthy Building Network. Fact Sheet: Alternative resin binders for particleboard, MDF and Wheatboard, 2008 [Tiešsaite]. [Skatīts 28.10.2016.]. Pieejams: <http://healthybuilding.net/uploads/files/alternative-resin-binders-for-particleboard-medium-density-fiberboard-mdf-and-wheatboard.pdf>.
- [211] Rowell RM. Composite materials from forest biomass: A review of current practices, science, and technology. Argyropoulos DS (Eds.), *Materials, chemicals, and energy from forest biomass*, Washington DC, ACS, 2007, pp. 76–92.
- [212] The toxicology of formaldehyde [Tiešsaite]. [Skatīts 29.10.2016.]. Pieejams: [http://www.michigan.gov/documents/cis\\_wsh\\_cet5028\\_90140\\_7.doc](http://www.michigan.gov/documents/cis_wsh_cet5028_90140_7.doc).
- [213] Chanda M., Roy S.K. *Plastics engineering series: Plastics technology handbook*, 4th ed., Boca Raton: CRC Press, 2007.
- [214] Beele P. et.al. Demonstration of end uses for recovered MDF fibre. *Material change for a better environment*, 2009.
- [215] Rižikovs J., Zandresons J., Pāže A., Tardenaka A., Spince B. Isolation of suberinic acids from extracted outer birch bark depending on the application purposes. *Baltic Forestry* 2014:20(1), pp. 98–105.
- [216] Khosravi S., Khartbaz F., Nordquist P., Johansson M. Protein-based adhesives for particleboards. *Industrial Crops and Products* 2010:32(3), pp. 275–283.

- [217] Sulaiman et.al. Evaluation of the Properties of Particleboard Made Using Oil Palm Starch Modified with Epichlorohydrin. *BioResources* 2013:8(1), pp. 283-301.
- [218] Cargill. Prtolia soy flour [Tiešsaite]. [Skatīts 29.10.2016.]. Pieejams: <http://www.cargillfoods.com/emea/en/products/proteins/soy-proteins/prolia-soy-flour/>.
- [219] Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts. Bioloģiski aktīvu vielu un polimērmateriālu izejvielu iegūšana no bērza mizu pārpalikumiem. 2013 [Tiešsaite]. [Skatīts 29.10.2016.]. Pieejams: <http://www.kki.lv/dokumenti/ERAF21110-058-Kopsavilkums-30122013.pdf>.
- [220] Zandersons J., Rižikovs J., Pāže A., Tardenaka A., Spince B. Method for making formandehyde-free particle boards. *Latvia Patents* LV15031B, 20.03.2016.
- [221] Community Research and Development Information Service. Final Report Summary - FORESTSPECS (Wood Bark and Peat Based Bioactive Compounds, Speciality Chemicals, and Remediation Materials: from Innovations to Applications, 2014.
- [222] World Commision on Environment and Development: Our Common Future., Oxford: Oxford University Press, 1987, 300 p.
- [223] Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis.*, New York: Cambridge University Press, 2013.
- [224] Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary of Policymakers. In: *Climate Change 2013.* New York: Cambridge University Press, 2013.
- [225] Eiropas Komisija. Ieskats ES politikā. Brisele, 2014.
- [226] Cilinskis E. Biotehonomika.Prezentācija seminārā "Biotehonomika", Rīga, 2016.
- [227] LVMI "Silava". Mežsaimniecisko darbību ietekme uz siltumnīcefakta gāzu emisijām un CO<sub>2</sub> piesaisti, 2015., 144 lpp.
- [228] Intergovernmental Panel on Climate Change. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands. 2013, 354 lpp.
- [229] Ruter S. Projections of Net-Emissions from Harvested Wood products in European countries, Hamburg, 2011.
- [230] 4. pielikums Ministru Kabineta 2006. gada 6. novembra noteikumiem Nr.922, Veidlapas Nr.2-EK, 2006.
- [231] Intergovernmental Panel on Climate Change. Forestry. In *Climate Change*, New York: Cambridge University Press, 2007.
- [232] Latvijas Republikas likums. Meža likums. 17.03.2000 [Tiešsaite]. [Skatīts 12.12.2016.]. Pieejams: <http://likumi.lv/doc.php?id=2825>.
- [233] LVMI "Silava" [Tiešsaite]. [Skatīts 14.11.2016.]. Pieejams: <http://silava.lv/petijumi/nacionlais-me-monitorings.aspx>.
- [234] Latvijas Valsts standarts. LVS EN ISO 17225-1. Cietais biokurināmais. Kurināmā specifikācijas un klases 1. daļa: Vispārīgās prasības. Latvijas Navionālā standartizācijas institūcija "Latvijas standarts", Rīga, 2014.
- [235] ECN Phyllis classification [Tiešsaite]. [Skatīts 12.12.2016.]. Pieejams: [https://www.ecn.nl/phyllis2/Browse/Standard/ECN-Phyllis#chemicals in wood](https://www.ecn.nl/phyllis2/Browse/Standard/ECN-Phyllis#chemicals%20in%20wood).
- [236] Zemkopības ministrija. Informatīvais ziņojums „Par meža nozares (mežsaimniecības un kokrūpniecības) attīstības izvērtējumu”, 2010, 64 lpp.
- [237] Zemkopības ministrija. Meža un saistīto nozaru attīstības pamatnostādnes 2015.-2020. gadam. 09.02.2015., 69 lpp.
- [238] «Nekrīze». Inovācijas ļauj dzīvot ilgāk [Tiešsaite]. [Skatīts 15.11.2016.]. Pieejams: <http://nekrize.lv/inovacijas-lauj-dzivot-ilgak/>.
- [239] Latvijas valsts meži. Ātraudzīgā apse - mežs gatavs ciršanai 20 gados. Kalsnava, 2012.
- [240] Valsts meža dienests. Meža statistikas CD 2015 [Tiešsaite]. [Skatīts 14.11.2016.]. Pieejams: <http://www.vmd.gov.lv/valsts-meza-dienests/statiskas-lapas/publikacijas-un-statistika/meza-statistikas-cd?nid=1809#jump>.
- [241] Latvijas Valsts meži - Koksnes apjomi Latvijā pa resursu grupām. LVM, Rīga, 2016.
- [242] Zemkopības ministrija. Valsts meža dienests. Publiskais pārskats 2015. Rīga, 2016.
- [243] Centrālā statistikas pārvalde: Mežsaimniecība - galvenie rādītāji - Izcirstās platības un krājas, 09.06.2016. [Tiešsaite]. [Skatīts 14.11.2016.]. Pieejams: <http://www.csb.gov.lv/statistikas-temas/mezsaimnieciba-galvenie-raditaji-30111.html>.
- [244] Valsts meža dienests. Meža apsaimniekošana [Tiešsaite]. [Skatīts 14.11.2016.]. Pieejams: <http://www.vmd.gov.lv/valsts-meza-dienests/statiskas-lapas/-meza-apsaimniekosana/-koksnes-resursu-ieguve?nid=1682#jump>.
- [245] Ministru kabineta noteikumi. Par koku ciršanas maksimāli pieļaujamo apjomu 2016.-2020. gadam. 16.11.2015. [Tiešsaite]. [Skatīts 07.12.2016.]. Pieejams: <http://likumi.lv/ta/id/277848-par-koku-cirsanas-maksimali-pielaujamo-apjomu-2016-2020-gadam>.
- [246] Daugavietis M. Aktuālie pētījumi meža nekoksnes izejvielu pārstrādē un jaunu produktu izveidē. LVMI "Silava", 2012, 7 lpp.
- [247] Borass L., Kleinschmit D., Winkel G. The "German model" of integrative multifunctional forest management - Analysing the emergence and political evolution of a forest management concept. *Forest Policy and Economics*, 2016.



- [248] Dragoi M. Joining or not joining non-industrial private forests into a single management unit: A case-study shaped as an Analytic Network Process. *Forest Policy and Economics*, 2016.
- [249] European Commission. EC Europe Forest strategy. 20.09.2013. [Tiešsaite]. [Skatīts 17.11.2016.]. Pieejams: [http://ec.europa.eu/agriculture/forest/strategy/communication\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/agriculture/forest/strategy/communication_en.pdf).
- [250] Leban V., Pezdevšek Malovrh Š., Zadnik Stirn L., Krč J. Forest biomass for energy in multi-functional forest management: Insight into the perceptions of forest-related professionals. *Forest Policy and Economics* 2016:71, pp. 87-93.
- [251] Husgafvel R., Watkins G., Linkosalmi L., Dahl, O. Review of sustainability management initiatives within Finnish forest products industry companies—Translating Eu level steering into proactive initiatives. *Resources, Conservation and Recycling* 2013:76, pp. 1-11.
- [252] Statskog Forests: Long-term strategy for sustainable management and renewal of forest resources. Statskog, Namsos, 2015, 12 p.
- [253] Shin L., Patel M.K. Life cycle assessment of man-made cellulose fibres. *Lenzinger Berichte* 2010:88, pp. 1-59.
- [254] Textile Exchange. Material snapshot – Tencel, 2016.
- [255] Textile Exchange. Material snapshot – Tencel. Tencel Exchange, 2016.
- [256] 75 years of Leinzig [Tiešsaite]. [Skatīts 24.11.2016.]. Pieejams: <http://75years.lenzing.com/en/75-years-of-innovation/lenzing-lyocell-story.html>.
- [257] Bischofberger J., Ag R. Processing of lyocell from fibre to end use. *Lenzinger Berichte* 1997:77.
- [258] LA Times. 24.03.1997. [Tiešsaite]. [Skatīts 24.11.2016.]. Pieejams: [http://articles.latimes.com/1997-03-24/business/fi-41652\\_1\\_rayon-fiber](http://articles.latimes.com/1997-03-24/business/fi-41652_1_rayon-fiber).
- [259] Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūts. Ksilozes iegūšanas paņēmieni. Latvijas Patents P-13-178, 20.01.2016.
- [260] Laine C., Kempainen K., Kuutti L., et.al. Extraction of xylan from wood pulp and brewer's spent grain. *Industrial Crops & Products* 2015:70, pp. 231-237.
- [261] The RIC Good Wood Guide. Wood-free paper [Tiešsaite]. [Skatīts 25.11.2016.]. Pieejams: [http://www.rainforestinfo.org.au/good\\_wood/wfr\\_papr.htm](http://www.rainforestinfo.org.au/good_wood/wfr_papr.htm).
- [262] Henegouwen P., Breure B., et.al. Cellulose production plant from wood chips. 2002, 114 p.
- [263] Novaes E., Kirst M., Chiang V., et.al. Lignin and Biomass: A negative correlation of wood formation and lignin content in tress. *Plant Physiology* 2010:154(2), pp. 555-561.
- [264] Blumberga A., Blumberga D., Kļaviņš M., Rošā M., Valtere S. *Vides Tehnoloģijas*, Rīga, 2010, 212 lpp.
- [265] Belmane I., Moora H., Viss V., Varžinskā V., Uselyte R., Koubska K., u.c. *Ekodizaina rokasgrāmata*. SIA Vides vadības tehnoloģijas, Rīga, 2006, 133 lpp.
- [266] European Environment Agency. Life Cycle Assessment: A guide to approaches, experiences and information sources, 1997, 116 p.
- [267] Erin F. Seven cognitive concepts for successful eco-design. *Journal of Cleaner Production* 2015:92(1), pp. 23-36.
- [268] Deutz P., McGuire M., Neighbour G. Eco-design practice in the context of a structured design process: an interdisciplinary empirical study of UK manufacturers. *Journal of Cleaner Production* 2013:39, pp. 117-128.
- [269] Pastor M.C., Mathieux F., Brissaud D. Influence of environmental European product policies on product design-current status and future developments. *Procedia CIRP* 2014:21, pp. 415-420.
- [270] Inhabitat, IKEA, 09.08.2011. [Tiešsaite]. [Skatīts 20.11.2016.]. Pieejams: <http://inhabitat.com/photos-ikea-unveils-10-eco-design-commandments-at-copenhagen-design-week/>.
- [271] ReCiPe. A life cycle impact assessment method which compromises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level, 2013.
- [272] Rigas Balss, TVNET. 09.02.2006. [Tiešsaite]. [Skatīts 22.11.2016.]. Pieejams: [http://www.tvnet.lv/auto/notikumi/88482-balku\\_vedeji\\_uzsplatuj\\_noteikumiem](http://www.tvnet.lv/auto/notikumi/88482-balku_vedeji_uzsplatuj_noteikumiem).
- [273] Pathapulakkal F. Microwave assisted extraction of xylan, University of Toronto, 2014, 188 p.
- [274] Direct Industry, 2016. [Tiešsaite]. [Skatīts 22.11.2016.]. Pieejams: <http://www.directindustry.com/prod/pallmann-maschinenfabrik/product-63389-1790551.html>.
- [275] Kiln-direct, 2016 [Tiešsaite]. [Skatīts 20.11.2016.]. Pieejams: [https://www.kiln-direct.com/content/firewood\\_drying\\_energy/index.html](https://www.kiln-direct.com/content/firewood_drying_energy/index.html).
- [276] Torri I.D.V., Paasikallio V., Faccini C.S. Bio-oil production of softwood and hardwood forest industry residues through fast and intermediate pyrolysis. *Bioresource Technology* 2016:200, pp. 680-690.
- [277] Salman C. Techno economic analysis of wood pyrolysis in Sweden, Stockholm, 2014, 85 p.
- [278] CIRFS, 2016 [Tiešsaite]. [Skatīts 18.11.2016.]. Pieejams: <http://www.cirfs.org/manmade/fibres/Fibrerange/Lyocell.aspx>.
- [279] Madehow, 2016 [Tiešsaite]. [Skatīts 18.11.2016.]. Pieejams: <http://www.madehow.com/Volume-5/Lyocell.html>.
- [280] LIAA, Inovatīvās darbības pamatelementi, Rokasgrāmata maziem un vidējiem uzņēmumiem. Rīga, Latvijas Tehnoloģiskais centrs, 2007, 276 lpp.
- [281] Caurkubule Ž., Višņevska A. *Mārketinga pamati*. Rīga, Merkūrijs Lat, 1993.
- [282] Praude V. *Mārketinga. 1. grāmata*. SIA "Burtene", 2011.
- [283] Alsiņa R. *Mācīes plānot*. Biznesa plāna pamati. Rīga, Kamene, 2005.

- [284] Muška A. Uzņēmējdarbības plānošana. Rīga, KIF "Biznesa Komplekss, 2005.
- [285] Decision D. Global Lyocell Fiber market research report - Industry analyses, size, share, growth, trend and Forecast 2014-2021. Decision Databases, 2016.
- [286] Melrose J., Perroy R., Careas S. World population prospects. The 2015 Revision. United Nations 2015:1(6042), pp. 587 – 592.
- [287] Lenzing. Leading Fiber Innovation. Austria, 2016.
- [288] Textile Exchange. Preferred fiber marked report. Textile exchange, 2016.
- [289] VIAA. Tekstilizstrādājumu, apģērbu, ādas un ādas izstrādājumu ražošanas nozares apraksts, 2012, 80 lpp.
- [290] ICIS. Lenzing's Tencel takeover to proceed. ICIS Chemical business, 2005 [Tiešsaite]. [Skatīts 17.12.2016.]. Pieejams: <http://www.icis.com/resources/news/2005/02/25/654960/lenzing-s-tencel-takeover-to-proceed/>.
- [291] Lenzing. Leading fiber Innovation - full year results. Austria, 2013.
- [292] Angel B. Product developments in manmade fibres: is cotton able to compete. PCI Fibres, a Wood Mackenzie business, Bremen, 2016.
- [293] VRU. Viegļās rūpniecības uzņēmumu asociācija. 06.01.2016. [Tiešsaite]. [Skatīts 25.11.2016.]. Pieejams: <http://www.atci.lv/>.
- [294] Pelēce D. Latvijas preču eksports šķērsgriezumā, 07.05.2014. [Tiešsaite]. [Skatīts 25.11.2016.]. Pieejams: <https://www.makroekonomika.lv/latvijas-precu-eksports-skersgriezuma>.
- [295] Textile world. Man made fibers continue to grow. [Tiešsaite]. [Skatīts 28.11.2016.]. Pieejams: <http://www.textileworld.com/textile-world/fiber-world/2015/02/man-made-fibers-continue-to-grow/>.
- [296] Angel B. Manmade fibres – current situation and developments aimed at sustainability. PCI Fibres, Switzerland, 2012.
- [297] Research and markets. Global lyocell fiber market 2016 – 2020. [Tiešsaite]. [Skatīts 14.12.2016.]. Pieejams: [http://www.researchandmarkets.com/research/kdgrjr/global\\_lyocell](http://www.researchandmarkets.com/research/kdgrjr/global_lyocell).
- [298] Shen L., Patel M. Life cycle assesment of man-made cellulose fibres. Lenzinger Berichte 88, Netherland, 2010.
- [299] European Commission. Biofuels. Bioenergy value chains 4: pyrolysis and torrefaction. European Biofuels technology platform, 2016.
- [300] Kowalewski D. Emissions and properties of Bio-oil and Natural Gas Co-combustion in a Pilot Stabilised Swirl Burner. Mechanical and Industrial Engineering University, Toronto, 2015.
- [301] Lehto J., Oasmaa A., Solantausta Y., Kyto M., Chiaramonti D. Fuel oil quality and combustion of fast pyrolysis bio-oils. VTT Technology 87, Somija, 2013, 84 p.
- [302] Easterly J. Assesment of Bio-oil as a replacement for heating oil. Coneg Policy Research Center, Inc., Virginia, 2002.
- [303] Bradley D. "Markets of Pyrolysis oil" The economics of climate change mitigation options in the forest sector. FAO, Climate change solutions, United Nations, 2015.
- [304] Hou S.S., Huang W.C., Rizal F.M., Lin T.H. Co-Firing of Fast Pyrolysis Bio-Oil and Heavy Fuel Oil in a 300-kWth Furnace. Applied sciences 2016:326(6), pp. 1-11.
- [305] Gansekoele E. Pyrolysis oil properties. Biomass-to-liquid, 2016 [Tiešsaite]. [Skatīts 05.12.2016.]. Pieejams: <https://www.btg-btl.com/en/applications/oilproperties>.
- [306] Suttibak S., Sriprateep K., Pattiya A. Production of Bio-oil via Fast Pyrolysis of Cassava Rhizome in a Fluidised-Bed Reactor. Energy procedia 2011:2012(12), pp. 668-673.
- [307] U.S. Department of Energy. Lower and Higher Heating Values of Fuels, 2016 [Tiešsaite]. [Skatīts 04.12.2016.]. Pieejams: <http://hydrogen.pnl.gov/tools/lower-and-higher-heating-values-fuels>.
- [308] EPA. Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories. US Environmental Protection Agency, US, 2014.
- [309] Uzun B.B. Pyrolysis: A sustainable way from Waste to Energy. Forebiom, Turkey, 2011.
- [310] Global Market Insights. Xylan market size, Industry analysis report, regional outlook, application development potential, price trends, competitive market share & forecast, 2016-2024. Global Market Insights, US, 2016.
- [311] Global Market Insights. Xylitol maket size by application, downstream application potential, Industry analysis, Regional outlook, production technology, Price trend, competitive market share & forecast 2016-2023. Global market insights, US, 2016.
- [312] PRN. Xylitol - A Global Market Overview,» PR Newswire, 2016 [Tiešsaite]. [Skatīts 08.12.2016.]. Pieejams: <http://www.prnewswire.com/news-releases/xylitol---a-global-market-overview-272903331.html>.
- [313] Rafiquel I.S.M., Sakinah A.M.M. Processes for the production of xylitol-a review. Food Reviews International 2013:29(2), pp. 127-156.
- [314] eBioChem. Maltitol, Sorbitol, Xylitol [Tiešsaite]. [Skatīts 07.12.2016.]. Pieejams: <http://www.ebiochem.com/product/>.
- [315] Sanders T. Low calorie sweeteners - what they are, what they do and how they work. Nutritional Sciences division King's college London, London, 2011.
- [316] Food Insight. Sugar alcohols fact sheet [Tiešsaite]. [Skatīts 08.12.2016.]. Pieejams: <http://www.foodinsight.org/articles/sugar-alcohols-fact-sheet>.
- [317] Ibrahim O.O. Sugar Alcohols: Chemical Structures, Manufacturing, Properties and Applications. Consultant Biotechnology, Bio Innovation, USA, 2016.

- [318] IHS. Sorbitol. IHS Market [Tiešsaite]. [Skatīts 08.12.2016.]. Pieejams: <https://www.ihs.com/products/sorbitol-chemical-economics-handbook.html>.
- [319] Forrester J.W. Industrial dynamics: A major breakthrough for decision makers. *Harward Business Review* 1958:36, pp. 37-66.
- [320] Blumberga A., Blumberga D., Bažbauers G., Davidsen P. Moxnes E, Dzene I., Barisa A., Žogla G., Dāce E., Bērziņa A. Sistēmiskas domāšanas integrēšana vides politikā. Rīga, RTU, 2010, 225 lpp.
- [321] Blumberga A., Blumberga D., Bažbauers G., Davidsen P., Moxnes E., Dzene I., Barisa A., Žogla G., Dāce E., Bērziņa A. Sistēmdinamika vides inženierzinātņu studentiem. Rīga, RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, 2010, 318 lpp.
- [322] Blumberga A., Bažbauers G., Davidsens P., Blumberga D., Grāvelsiņš A., Prodanuks T. Sistēmdinamika biotehonomikas modelēšanai. Rīga, RTU Izdevniecība, 2016, 332 lpp.
- [323] Ford A. *Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems*, Island Press, 1999, 401 p.
- [324] Coyle R.G. *System dynamics modelling: A practical approach*. Chapman&Hall/CRC Press, 1996, 342 p.
- [325] Nabavi E., Daniell K.A., Najafi H. Boundary matters: the potential of system dynamics to support sustainability? *Journal of Cleaner Production* 2017:140(1), pp. 312-323.
- [326] Mudgal S., Tan A., Cohen F., Grémont M. Indicators on linking resource use to the economy. *BIO Intelligence Service*, 2012.
- [327] Pasaules Biznesa padome ilgtspējīgai attīstībai [Tiešsaite]. [Skatīts 20.11.2016.]. Pieejams: <http://www.wbcsd.org/Overview/About-us/Vision2050>.
- [328] Fortum. Fortum invests 20 million euro to build the worlds first industrial scale integrated bio-oil plant [Tiešsaite]. [Skatīts 23.11.2016.]. Pieejams: <http://www.fortum.com/en/mediaroom/pages/fortum-invests-eur-20-million-to-build-the-worlds-first-industrial-scale-integrated-bio-oil-plant.aspx>.
- [329] Lenzing. Successful Start-up of World's Largest TENCEL®<sup>1</sup> Production Plant in Lenzing. [Tiešsaite]. [Skatīts 05.12.2016.]. Pieejams: <http://www.lenzing.com/en/press/press-releases/2014/detail/article/2014/6/29/weltgroesste-tencelR1-anlage-in-lenzing-erfolgreich-angefahren.html>.
- [330] Industrial Pulp LLC to build a mill for production of dissolving pulp in Perm Krai [Tiešsaite]. [Skatīts 10.12.2016.]. Pieejams: <http://www.russianforestryreview.com/news/release1156.html>.
- [331] Sabyr A., Huang Y., Lew L.Z.L., Chan S.Y. Further development of kraft-based dissolving pulp production, 2014.
- [332] World Bioenergy Association. WBA Global Bioenergy statistics 2016, 2016.
- [333] Meier D., Beld B., Bridgewater A.V., Elliot D.C., Oasmaa A., Preto F. State-of-the-art of fast pyrolysis in IEA bioenergy member countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2013:20, pp. 619-641.
- [334] Mäenpää K. Bio-oil production plant to Fortum power plant in Joensuu, Finland, 2012.
- [335] Butler E., Devlin G., Meier D., McDonnell K. A review of recent laboratory research and commercial developments in fast pyrolysis and upgrading. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2011:15, pp. 4171-4186.
- [336] Chum H.L. Integrated Systems for the Bioeconomy. DOE Bioenergy Technologies Office [Tiešsaite]. [Skatīts 27.11.2016.]. Pieejams: <http://web.ornl.gov/sci/ees/cbes/studytour2016/pdfPresentations/PetrobrasNRELCRADAAikenSC.pdf>.
- [337] Bradley D. Markets for Pyrolysis Oil 2015 [Tiešsaite]. [Skatīts 27.11.2016.]. Pieejams: <http://www.fao.org/forestry/42950-0d0779de75455d83f55975a36a9d6fef2.pdf>.
- [338] Farag I.H., LaClair C.E., Barrett C.J. Technical, Environmental and Economic Feasibility of Bio-Oil in New Hampshire's North Country. University of New Hampshire, Durham, 2002.
- [339] Centrālās statistikas pārvaldes datubāze. DS04. Strādājošo mēneša vidējā darba samaksa pa darbības veidiem pa mēnešiem (euro) [Tiešsaite]. [Skatīts 29.11.2016.]. Pieejams: <http://data.csb.gov.lv/>.
- [340] Steele P., Puettmann M.E., Penmetsa V.K., Cooper J.E. Life-Cycle Assessment of Pyrolysis Bio-Oil Production. *Forest Products Journal* 2012:62(4), pp. 326-334.
- [341] Kohl T., Laukkanen T.P., Jarvinen M.P. Integration of biomass fast pyrolysis and precedent feedstock steam drying with a municipal combined heat and power plant. *Biomass and Bioenergy* 2014:71, pp. 413-430.
- [342] Salman C.A. Techno economic analysis of wood pyrolysis in sweden - Master of Science Thesis. Stockholm, KTH Royal Institute of Technology, 2014, 85 p.
- [343] Lenzing Group. Annual Report 2014. 2015.
- [344] Vehmaa J. Manufacturing of dissolving hardwood and softwood pulp with continuous cooking and novel fiberline technology. *Andritz Pulp & Paper*, 2013.
- [345] Lyocell [Tiešsaite]. [Skatīts 12.12.2016.]. Pieejams: [https://www.alibaba.com/product-detail/lyocell-fiber-with-good-hydrophily-for\\_60564649084.html](https://www.alibaba.com/product-detail/lyocell-fiber-with-good-hydrophily-for_60564649084.html).
- [346] Lenzing. Leading Fiber Innovation - Lenzing investor presentation – full year results, 2013.
- [347] Suhr M., Klein G., Kourti I., Gonzalo M.R. et. al. Best Available Techniques (BAT): Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board, European Commision, 2015, 906 p.
- [348] Lenzing. Focus on value - Annual Report 2014, 2015.
- [349] Teghammar A., Forgacs G., Horvath I.S., Taherzadeh M.J. Techno-economic study of NMMO pretreatment and biogas production from forest residues. *Applied Energy* 2014:116, pp. 125-133.

- [350] Shafiei M., Karimi K., Taherzadeh M.J. Techno-economical study of ethanol and biogas from spruce wood by NMMO-pretreatment and rapid fermentation and digestion. *Bioresource Technology* 2011:102, pp. 7879-7886.
- [351] Rosenau T., Potthast A., Sixta H., Kosma P. The chemistry of side reactions and byproduct formation in the system NMMO/cellulose (Lyocell process). *Progress in Polymer Science* 2001:26, pp. 1763-1837.
- [352] Indian port prices. Zaubat [Tiešsaite]. [Skatīts 11.12.2016.]. Pieejams: <https://www.zaubat.com/export-magnesium+oxide/fp-netherlands/unit-KGS-hs-code.html>.
- [353] Chemical suppliers [Tiešsaite]. [Skatīts 11.12.2016.]. Pieejams: <http://chemicalsuppliers.net/e/action/ShowInfo.php?classid=1&id=2376>.
- [354] Schuster C.K., Rohrer C., Eichinger D., Schmidtbauer J., Aldred P., Firgo H. Environmentally friendly lyocell fibers. *Natural Fibers, Plastics and Composites*, Springer US, 2004, pp. 123-146.
- [355] Xylitol market [Tiešsaite]. [Skatīts 10.12.2016.]. Pieejams: [http://www.cnchemicals.com/Press/82571-Chinas%20xylitol:%2017%20percent%20%20rise%20YoY%20in%20exports%20in%20January\\_October%202015.html](http://www.cnchemicals.com/Press/82571-Chinas%20xylitol:%2017%20percent%20%20rise%20YoY%20in%20exports%20in%20January_October%202015.html).
- [356] Panthapulakkal F.S. Microwave Assisted Extraction of Xylan - Doctoral thesis, Toronto: Graduate Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, 2014, 188 p.
- [357] Balan V. Current Challenges in Commercially Producing Biofuels from Lignocellulosic Biomass. *ISRN Biotechnology* 2014:2014, 31 p.
- [358] Ammonium hydroxide [Tiešsaite]. [Skatīts 10.12.2016.]. Pieejams: [https://www.alibaba.com/product-detail/Industrial-Chemical-Ammonium-Hydroxide\\_60392529203.html?s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Industrial-Chemical-Ammonium-Hydroxide_60392529203.html?s=p).
- [359] Hydrochloric acid [Tiešsaite]. [Skatīts 10.12.2016.]. Pieejams: <http://www.icis.com/resources/news/2015/10/29/9938345/price-hikes-offered-in-a-soft-hcl-market/>.
- [360] Sheng J.J. Chapter 6. Alkaline Flooding. *Enhanced Oil Recovery Field Case Studies*. Elsevier Inc., 2013, 712 p.
- [361] Xu J., Lu S., Fu D. Recovery of hydrochloric acid from the waste acid solution by diffusion dialysis. *Journal of Hazardous Materials* 2009:165, pp. 832-837.
- [362] Minister's Cabinet rule No.406. About Business Competitiveness and Innovation Promotion Programme 2007.-2013., 28.06.2007.
- [363] Blumberga D., Muizniece I., Blumberga A., Baranenko D. Biotechnomy framework for bioenergy use. *Energy Procedia* 2016:95, pp. 76-80.
- [364] Jahan A., Edwards K., Bahraminasab M. Multi-criteria Decision Analysis for Supporting the Selection of Engineering Materials in Product Design. *Butterworth-Heinemann, Elsevier*, 2016, 252 p.
- [365] Lu J., Zhang G., Ruan D., Multi-Objective Group Decision Making: Methods Software and Applications With Fuzzy Set Techniques. *SGP, Imperial College Press*, 2007, 408 p.
- [366] Doumpos M., Grigoroudis E. *Multicriteria Decision Aid and Artificial Intelligence: Links, Theory and Applications*. USA, Wiley-Blackwell, 2013, 368 p.
- [367] Ishizaka A., Nemery P. *Multi-criteria Decision Analysis: Methods and Software*. USA, Wiley, 2013. 310 p.
- [368] Group T.F. *World Activated Carbon. Industry Study with Forecasts for 2012 & 2017*, Study No 2363. Cleveland, Ohio: Freedonia group inc., 2008.
- [369] Dobelev G., Rossinskaja G., Telysheva G., Meier D., Faix O. Cellulose dehydration and depolymerization reactions during pyrolysis in the presence of phosphoric acid. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 1999:49(1-2), pp. 307-317.
- [370] Dobelev G., Meier D., Faix O., Radtke S., Rossinskaja G., Telysheva G. Volatile products of catalytic flash pyrolysis of celluloses. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2001:58-59, pp. 453-463.
- [371] Dobelev G., Dizhbite T., Rossinskaja G., Telysheva G., Meier D., Radtke S., Faix O. Pre-treatment of biomass with phosphoric acid prior to fast pyrolysis: A promising method for obtaining 1,6-anhydrosaccharides in high yields. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2003:68-69, pp. 197-211.
- [372] Dobelev G., Rossinskaja G., Dizhbite T., Telysheva G., Meier D., Faix O. Application of catalysts for obtaining 1,6-anhydrosaccharides from cellulose and wood by fast pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2005:74(1-2), pp. 401-405.
- [373] Zandersons J., Zhurinsk A., Dobelev G., Jurkane V., Rizhikovs J., Spince B., Pazhe A. Feasibility of broadening the feedstock choice for levoglucosenone production by acid pre-treatment of wood and catalytic pyrolysis of the obtained lignocellulose. *Journal of the Analytical and Applied Pyrolysis* 2013:103, pp. 222-226.
- [374] Dobelev G., Volperts A., Jašina L. Nanoporainie oglekļa materiāli uz koksnes un lignoceluložu bāzes. Vietējo resursu (zemes dziļu, meža, pārtikas un transporta) ilgtspējīga izmantošana - jauni produkti un tehnoloģijas (*NatRes*), 2013, pp. 131-134.
- [375] Bajpai P. *Biorefinery in the Pulp and Paper Industry*. Amsterdam, Elsevier, 2013, 103 p.
- [376] Cesare A., Caputo T., Guido G. Strategic Analysis through the General Electric / McKinsey Matrix: An Application to the Italian Fashion Industry. *International Journal of Business and Management* 2011:6(5), pp. 61-75.
- [377] Decuseara N.R.. Using The General Electric / McKinsey Matrix In The Process Of Selecting The Central And East European Markets. *Management Strategies Journal* 2013:19(1), pp. 59-66.
- [378] Shen L. et. al. Application of a Hybrid Entropy-McKinsey Matrix Method in Evaluating Sustainable Urbanization: A China Case Study. *Cities*. 2015:42(B), pp. 186-194.