

**Kaspars Ivanovs**

# ŪDENS BIOLOĢISKO RESURSU PĀRSTRĀDE

Promocijas darba kopsavilkums

# RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultāte  
Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts

**Kaspars Ivanovs**

Studiju programmas “Vides inženierija” doktorants

## ŪDENS BIOLOĢISKO RESURSU PĀRSTRĀDE

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji:  
profesore *Dr. habil. sc. ing.*  
Dagnija Blumberga,

asociētais profesors  
*Ph. D.* Krišs Spalviņš

Ivanovs, K. Ūdens bioloģisko resursu pārstrāde.  
Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU  
Izdevniecība, 2023. 46 lpp.

Iespiests saskaņā ar promocijas padomes “RTU P-  
19” 2023. gada 20. janvāra lēmumu, protokola Nr.  
164

<https://doi.org/10.7250/9789934229503>

ISBN 978-9934-22-950-3 (pdf)

# PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2023. gada 30. augustā plkst. 14 Rīgas Tehniskās universitātes Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātē, Āzenes ielā 12 k-1, 115. auditorijā.

## OFICIĀLIE RECENZENTI

*Ph. D. Timo Laukkanen,*  
Ålto Universitāte, Somija

*Ph. D. Ilze Dzene,*  
Kaseles Universitāte, Vācija

*Ph. D. Ainis Lagzdiņš,*  
Latvijas Biozinātņu un tehnoloģiju universitāte, Latvija

## APLIECINĀJUMS

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

Kaspars Ivanovs ..... (paraksts)

Datums: .....

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā. Tajā ir ievads, četras nodaļas, secinājumi, 20 attēlu, 22 tabulas, kopā 215 lappuses. Literatūras saraksts ietver 340 nosaukumu.

# SATURS

IEVADS .....	5
Aktualitāte .....	5
Darba mērķis un uzdevumi .....	6
Teorētiskā un metodoloģiskā bāze .....	6
Zinātniskā novitāte .....	7
Praktiskā nozīme .....	7
Darba struktūra .....	7
Pētījuma aprobācija .....	8
1. LITERATŪRAS APSKATS .....	10
1.1. Ūdens bioresursi un biomasas pārstrāde .....	10
1.2. Starpprodukti no ūdens biomasas .....	12
1.3. Ilgtspējību veicinoši zilās bioekonomikas koncepti .....	13
2. METODOLOĢIJA .....	15
2.2. Pētījumi un datu analīze .....	15
2.2.1. Lipīdu ekstrakcija no zivju biomasas .....	15
2.2.2. Zivju atlikumu bioķīmiskais metāna potenciāls .....	16
2.2.3. Multikritēriju analīze niedru pielietošanai bioekonomikā .....	17
2.2.4. Psihofilā plūsmas biogāzes reaktora ar saules siltuma atbalstu priekšizpēte .....	18
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA .....	19
3.1. RTU biosistēmu laboratorijā veiktie pētījumi .....	19
3.1.1. Zivju eļļas ekstrakcija no apaļā jūrasgrunduļa .....	19
3.1.2. Apaļo jūrasgrunduļu atlieku biometāna potenciāls .....	20
3.1.3. Parasto niedru novērtējums lietošanai produktu ražošanā .....	21
3.2. Pētīto tehnoloģiju analīze .....	23
3.2.1. Lipīdu izdalīšana no zivīm ar zaļajām ekstrakcijas metodēm .....	23
3.2.2. Makroaļģu vērtīgo savienojumu ekstrakcijas tehnoloģijas .....	25
3.2.3. Pieeja zivju pārstrādes atkritumu anaerobās fermentācijas procesu modelēšanai .....	26
3.2.4. Mazs psihofilais plūsmas reaktors ar saules siltuma atbalstu .....	29
3.3. Ūdens biomasas atlikumu pārvaldība .....	33
SECINĀJUMI .....	38
IZMANTOTĀ LITERATŪRA .....	40

## IEVADS

Klimata apstākļi liek mums pārskatīt ražošanas un patēriņa praksi, lai mazinātu globālo kaitējumu videi – globālās temperatūras paaugstināšanos, bioloģiskās daudzveidības samazināšanos, resursu nepietiekamību. Pieaugot patēriņa apjomam un cilvēku vajadzībām, ir jāpalielina resursu daudzveidība, jāuzlabo un jāmaina resursu apstrādes metodes un jānodrošina produktu pieejamība. Bioekonomika ir svarīga Eiropai, tās vērtība ir aptuveni 2,3 triljoni eiro gadā, tajā nodarbināti vairāk nekā 18 miljoni cilvēku, tā ir ļoti svarīga videi, pārtikas ražošanai un lauku apvidu attīstībai. Kad bioekonomikas nozare un dati būs pietiekami integrēti, tas būtiski ietekmēs bioproduktu nozares ilgtspējas rādītājus un konkurētspēju, jo, apstrādājot un analizējot ražošanas un citus datus, būs iespējams veikt precīzu un specializētu ražošanu [1]. Ūdens veido lielāko daļu Zemes virsmas, tāpēc ūdens resursu attīstīšanai un ieguvei ir milzīgs potenciāls. Saskaņā ar Ekonomiskās sadarbības un attīstības organizācijas datiem okeānu radītā pievienotā vērtība pasaules ekonomikā katru gadu sasniedz 1,5 triljonus ASV dolāru, un līdz 2030. gadam šis skaitlis varētu sasniegt 3 triljonus ASV dolāru [2]. Sabiedrības attīstības nosaka nepieciešamība risināt problēmas, kas saistītas ar zvejas un akvakultūras resursu efektīvāku izmantošanu.

Tradicionāli nozveju un akvakultūru izmanto pārtikai, atliekas – augsnes uzlabošanai un dzīvnieku barībai. Jau kādu laiku liela nozīme ir bioekonomikas jēdzienam (zilajai bioekonomikai ūdens resursu kontekstā). Šis jēdziens tiek plaši izmantots zinātniskajos pētījumos un ir politikas pamats, lai iekļautu bioresursus aprites ekonomikas daļā. Ūdens resursu bioekonomika ir ūdens bioresursu izmantošana bioproduktu ar augstāku pievienoto vērtību ražošanai. Materiālu apstrādes un produktu ieguves procesi ir ekonomiski efektīvi, un tiek nodrošināta ilgtspējīga ražošana. Atlikumu ilgtspējīgai izmantošanai ir svarīga nozīme, un tie varētu būt arī izejviela atjaunojamās enerģijas ražošanai. Pētījuma tēma nepārprotami ir saistīta ar plašāku atjaunojamās enerģijas un ilgtspējīgas attīstības jomu, jo ūdens biomasas pārstrāde ir potenciāls ilgtspējīgas enerģijas un materiālu avots, kas varētu samazināt atkarību no ierobežotajiem fosilā kurināmā resursiem.

## Aktualitāte

Ūdens biomasas pārstrādes pētījumi veicina efektīvu ieguves metožu izstrādi un organisko materiālu pārstrādi. Turklāt pētījumi šajā jomā uzlabo mūsu izpratni par ūdens biomasas ekoloģiju un resursu ilgtspējīgas attīstības potenciālu. Jūras vides pārvaldība, tehnoloģiju un produktu izstrāde ir svarīga Baltijas jūras reģionā zilajai bioekonomikai un efektīvai emisiju samazināšanai saistībā ar Eiropas zaļo politiku. Daudznozaru pieeja un starpdisciplināra pētniecība visos līmeņos veicinās progresu pareizajā virzienā un nodrošinās zinātniski pamatotu lēmumu pieņemšanu pētniecībā un politikā, emisiju mērķu sasniegšanu un sociālekonomisko labklājību. Latvijas Republikas kontekstā bioekonomikas attīstībai svarīga ir bioekonomikas stratēģija, ietvardokumenti un aktivitāšu monitorings, bioekonomikas nozares monitoringu veic viedās specializācijas stratēģija “Zināšanu ietilpīga bioekonomika”.

Pēdējās divās desmitgadēs arvien vairāk tiek atzīts, ka zivsaimniecības un akvakultūras nozares sniedz nozīmīgu ieguldījumu pasaules pārtikas nodrošinājumā un uzturā. Lai paplašinātu šo nozīmi, ir jāveicina pārmaiņas politikā, pārvaldībā, inovācijā un investīcijās, lai

panāktu ilgtspējīgu, iekļaujošu un taisnīgu globālo zivsaimniecību un akvakultūru. Ir jāstimulē biorafinēšanas principu piemērošana pārstrādes rūpniecībā. Viedās specializācijas uzraudzības rezultāti liecina, ka ir nepieciešams attīstīt inovatīvas pārstrādes tehnoloģijas un radīt produktus, jo inovatīvu risinājumu piemērošanai pārstrādes rūpniecībā ir zema pievienotā vērtība.

Inovatīvas un pārdomātas pārstrādes tehnoloģijas ar piemērotām izejvielām rada pievienoto vērtību un dažādo vietējo ekonomiku, kā arī veicina klimatneitrālu tehnoloģiju, nodarbinātības, izglītības un sociālās labklājības attīstību. Tāpēc ļoti svarīgs pētnieku uzdevums ir radīt labus priekšnosacījumus, analizējot svarīgākās sastāvdaļas un modelējot pārstrādes sistēmas, attīstot pārstrādes rūpniecību kopumā un uzlabojot to efektivitāti un potenciālo pievienoto vērtību.

## **Darba mērķis un uzdevumi**

Darba mērķis bija pētīt ūdens bioresursus, biomasas resursu zaļo pārstrādi produktos ar pievienoto vērtību, lai atrastu labāko ūdens izcelsmes izejvielu izmantošanu un atbilstīgu pāreju uz ilgtspējīgāku aprites ekonomiku, izmantojot atjaunojamus ūdens resursus. Balstoties zinātniskās literatūras izpētē un eksperimentos, promocijas darbā aprakstīti ūdens bioresursi un plaši lietotās pārstrādes metodes, kā arī produktu iegūšanas tehnika, lai uzlabotu Latvijas ūdens bioresursu izmantošanu ilgtermiņā gan tehnoloģiskā ziņā, gan lēmumu pieņemšanas kontekstā.

Mērķa sasniegšanai noteikti vairāki uzdevumi.

1. Izvērtēt vietējos ūdens bioresursus kā izejvielu bioproduktiem ar pievienoto vērtību – ekonomiski mazvērtīgus zivsaimniecības blakusproduktus un citu biomasu, piemēram, makroaļģes, niedres, raksturot galvenos bioproduktus no ūdens atliekām.
2. Izpētīt literatūru par ilgtspējīgām ūdens biomasas pārstrādes tehnoloģijām, pirmapstrādi, zaļās ekstrakcijas metodēm un atlikušo atkritumu apstrādes metodēm.
3. Aprakstīt biorafinēšanas posmus un būtiskākos komponentus ūdens biomasas atlikumu apsaimniekošanai, izmantojot tos kā izejvielu. Ieteikt trīs zilo izejvielu – zivju atlikumu, makroaļģu un parasto niedru – pārstrādes ceļus.
4. Pamatojoties uz veikto pētījumu un literatūras analīzi, ieteikt turpmākos pētniecības virzienus ūdens bioresursu apguvē Latvijā.

## **Teorētiskā un metodoloģiskā bāze**

Darba izstrādē tika izmantota literatūras analīze, eksperimenti laboratorijā, datu analīze un tehnoloģiju aprakstu analīze. Tika veikta plaša zinātniskās literatūras analīze, kas bija galvenais informācijas avots. Tika veikta padziļināta literatūras analīze, lai novērtētu zilās biomasas transformācijas ceļu metodoloģijas. RTU Biosistēmu laboratorijā tika veikti pētījumi, kuros tika pētīti izvēlētie resursi – apaļais jūras gobijs, makroaļģes, niedres, lai tos pārstrādātu bioproduktos. Apaļais gobijs – eļļa, proteīns, biogāze; niedres – zaļie ekstrakti un celtniecības materiāli; makroaļģes – bioaktīvie ekstrakti, izmantojot dažādas tehnoloģijas – ķīmisko un zaļo, ekstrakciju, anaerobo pārstrādi, saules enerģiju. Pētniecības eksperimenti un tehnoloģiju analīze ir divas galvenās promocijas darba daļas, tajās risināts jautājums par ūdens biomasas atlikumu apsaimniekošanu.

## **Zinātniskā novitāte**

Promocijas darbā ir trīs galvenie jauninājumi, kas galvenokārt saistīti ar vietējās ūdens biomasas izmantošanu. Tika pētīta invazīvo zivju sugu izmantošana pievienotās vērtības produktu ieguvē. Tika pētīta un analizēta vairāku ūdens bioresursu pārstrāde vienā funkcionālā vienībā, sākot no materiāla pirmapstrādes līdz atlieku iznīcināšanai videi draudzīgā veidā. Tika veikts zemas temperatūras biogāzes un saules enerģijas hibrīdsistēmas tehniski ekonomiskais pamatojums un priekšizpēte nelielā mērogā, izpētīta sistēmas nepieciešamība, sociāli integrējošie aspekti, mērogs, tehnoloģiju izplatības un integrācijas iespējas kopējā atjaunojamo energoresursu sistēmā.

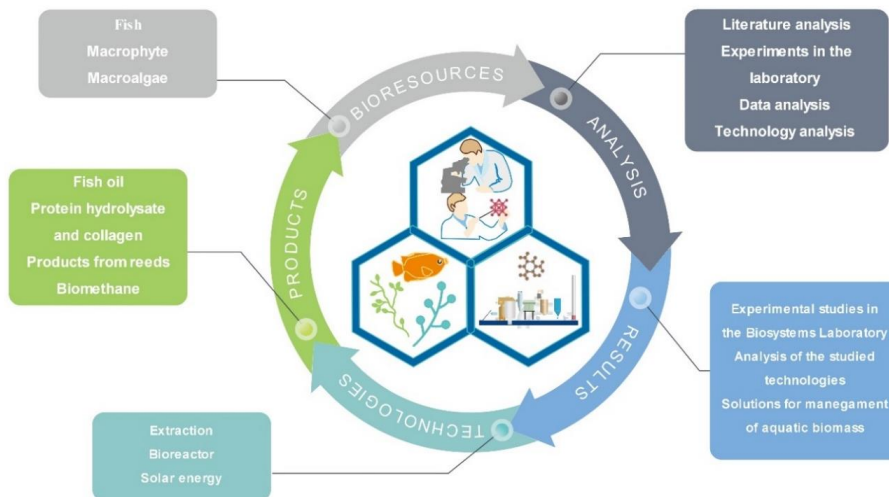
## **Praktiskā nozīme**

Pētījumos par zivju atkritumiem ir novērtēts apaļā jūrasgrunduļa biometāna potenciāls izmantošanai par izejvielu biometāna ražošanā, kā arī ierosināts izmantot proteīna atkritumus. Promocijas darbā iekļautie pētījumi ir ieguldījums ES Zilās izaugsmes stratēģijas koncepcijā un bioekonomikas viedās specializācijas jomā. Promocijas darbā piedāvātie risinājumi var tikt izmantoti politikas un stratēģiju izstrādē, kā arī ūdens eksperimentālās biorafinēšanas rūpnīcas projektēšanā. Apskatīta arī atlikušo sekundāro bioatkritumu apstrādes pieeja, izmantojot maza mēroga zemas temperatūras anaerobo reaktoru.

## **Darba struktūra**

Darba pamatā ir septiņu publikāciju kopa, un tajā galvenā uzmanība pievērsta pilnīgākai ūdens bioresursu izmantošanai, atrodot lietojumu dažādām izejvielām, pamatojoties atsevišķu bioresursu analīzē. Darba pamatā ir starptautiskās un vietējās zinātniskās literatūras analīze par ūdens bioresursiem, inovatīvām pārstrādes metodēm, iegūstamajiem produktiem, kā arī saistītiem zināšanu ietilpīgas bioekonomikas konceptiem zilās bioekonomikas kontekstā. Praktiskajā daļā tika veikta biomasas sastāva analīze un biometāna potenciāla testi, veikts neliela mēroga pārstrādes pamatojums plūsmas fermentācijas iekārtai ar saules enerģijas apsildi. Darba noslēgumā aplūkota biorafinēšanas koncepcijas piemērotība zilajām izejvielām un sniegti ieteikumi pētniecības virzieniem, ko varētu attīstīt. Ūdens bioekonomikas pētījumi tika iedalīti vairākos posmos. Kopumā pētījumā tika izmantota klasiskā bioekonomikas pieeja resursu – tehnoloģiju – produktu analīze, lai sniegtu rezultātus un racionalizētu diskursu. Darba struktūrā ietverti analītiskie, metodoloģiskie un filozofiskie aspekti (1. att.).





1. att. Promocijas darba struktūra.

## Pētījuma aprobācija

Promocijas darbs izstrādāts kā tematiski vienota publikāciju kopa.

### Promocijas darbā iekļautās publikācijas

1. **Ivanovs, K.**, Spalviņš, K., Blumberga, D. Approach for Modelling Anaerobic Digestion Processes of Fish Waste. *Energy Procedia*, 2018, Vol.147, 390.–396. lpp. ISSN 1876-6102.
2. Gruduls, A., Bāliņa, K., **Ivanovs, K.**, Romagnoli, F. Low Temperature BMP Tests Using Fish Waste from Invasive Round Goby of the Baltic Sea. *Agronomy Research*, 2018, 16 (2), 398.–409. lpp.
3. **Ivanovs, K.**, Blumberga, D. Extraction of Fish Oil Using Green Extraction Methods: a Short Review. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 128, 477.–483. lpp.
4. Melvere, M., **Ivanovs, K.**, Pubule, J., Blumberga, D. Use of Round Goby (*Neogobius Melanostomus*) Processing Waste in Bioeconomy. *Energy Procedia*, 2017, Vol. 128, 484.–490. lpp. ISSN 1876-6102.
5. Bāliņa, K., **Ivanovs, K.**, Romagnoli, F., Blumberga, D. Comprehensive Literature Review on Valuable Compounds and Extraction Technologies: The Eastern Baltic Sea Seaweeds. *Environmental and Climate Technologies*, 2020, Vol. 24, No. 2, 178.–195. lpp. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837.
6. Muižniece, I., Kazulis, V., Žihare, L., Lupkina, L., **Ivanovs, K.**, Blumberga, D. Evaluation of Reed Biomass Use for Manufacturing Products, Taking into Account Environmental Protection Requirements. *Agronomy Research*, 2018, Vol. 6, Special Iss.1, 1124.–1132. lpp. ISSN 1406-894X.
7. **Ivanovs, K.**, Blumberga, D. 2023. Plug flow digester with assisted solar heat: feasibility of small-scale system. *Agronomy research*, 21(X), xxx–ccc, 2023.

### **Citas autora publikācijas**

8. **Ivanovs, K.** Pike Esox Lucius Distribution and Feeding Comparisons in Natural and Historically Channelized River Sections. *Environmental and Climate Technologies*, 2016, 18, 33.–41. lpp. ISSN 1691-5208. e-ISSN 2255-8837.
9. Priedniece, V., Spalviņš, K., **Ivanovs, K.**, Pubule, J., Blumberga, D. Bioproducts from Potatoes. A Review. *Environmental and Climate Technologies*, 2017, 21, 18.–27. lpp. e-ISSN 2255-8837.
10. Spalviņš, K., **Ivanovs, K.**, Blumberga, D. Single Cell Protein Production from Waste Biomass: Review of Various Agricultural By-products. *Agronomy Research*, 2018, Vol. 16, Special Iss. 2, 1493.–1508. lpp. ISSN 1406-894X.

### **Dalība zinātniskajās konferencēs**

1. **Ivanovs, K.**, Blumberga, D. Extraction of Fish Oil Using Green Extraction Methods: a Short Review. The Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT, 2017, October 12–14, 2017, Riga, Latvia.
2. **Ivanovs, K.**, Spalviņš, K., Blumberga, D. Approach for Modelling Anaerobic Digestion Processes of Fish Waste. The Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2018, Vol. 147, 390.–396. lpp. ISSN 1876-6102.
3. Bāliņa, K., **Ivanovs, K.**, Romagnoli, F., Blumberga, D. Comprehensive Literature Review on Valuable Compounds and Extraction Technologies: The Eastern Baltic Sea Seaweeds. The Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2020, May 13–15, 2020, online.
4. **Ivanovs, K.**, Blumberga, D. 2022. Plug flow digester with assisted solar heat: feasibility of small-scale system. 13th International Conference “Biosystems Engineering 2023”, May 10–12, 2023, Tartu, Estonia.

### **Vadītie bakalaura un maģistra darbi**

1. Maira Melvere. Apaļo jūras grunđuļu pārstrādes atlikumu izmantošana bipoekonomikā. Maģistra darbs. RTU, 2017.
2. Erika Petrauskaite. Analysis and assessment of droplet biofilter packed with sphagnum load. Maģistra darbs. RTU, 2017 (angļu val.).
3. Laura Graudumniece. Saistaudu olbaltumvielu saturošu zivju pārstrādes atlikumu izmantošana kolagēna ekstrakcijai. Bakalaura darbs. RTU, 2019.

# 1. LITERATŪRAS APSKATS

## 1.1. Ūdens bioresursi un biomasas pārstrāde

Ūdens bioloģiskie resursi ir ūdenī dzīvojošu organismu (hidrobiontu) kopums, kuru dzīve pastāvīgi vai noteiktos attīstības posmos nav iespējama bez atrašanās ūdenī. Ūdens resursu apsaimniekošana attiecas uz ūdens resursu bāzes apsaimniekošanu un saglabāšanu saistībā ar akvakultūru, savvaļas zivju ieguvī, kā arī citu ūdens resursu, piemēram, krabju, garneļu, gliemežu, kukaiņu, ūdensaugu, jūras aļģu, meklēšanu un ieguvī. Ūdens bioloģiskajiem resursiem ir daudzveidīga dzīves vide [3]. Iepriekšējā desmitgadē dabas resursu apsaimniekošanas intensifikācija ir radījusi interesi par biomasas substrātiem, kas līdz šim tautsaimniecībā nav plaši izmantoti, un veicinājusi makroaļģu [4] un makrofitu [5] izpēti, resursu apzināšanu un to iespējamo izmantošanu bioekonomikā, piemēram, augstas pievienotās vērtības produktu ražošanai vai izmantošanai enerģētikā kā kurināmo. Latvijas ūdeņu bioresursu ekoloģiskie pētījumi un attālā izpēte, kā arī šo metožu pilnveidošana nākotnē var palīdzēt kvantitatīvi noteikt pieejamos resursus, veicinot gan biotopu aizsardzību, gan to ilgtspējīgu apsaimniekošanu.

Zivju un gliemju pārstrāde pārtikā un citos produktos ar pievienoto vērtību ietver daudzas secīgas darbības, un galvenie pārstrādes posmi ir primārā pārstrāde, pārtikas pārstrāde un sagatavošana, blakusproduktu pirmapstrāde un pievienotās vērtības produktu ieguve. Pārtikas rūpniecībā zivis, čaulgliemjus un ēdamās aļģes dēvē par jūras veltēm, bet nepārtikas pārtikas rūpniecībā – par blakusproduktiem, izmetumiem, atlikumiem, atkritumiem, pārpalikumiem, biomasu utt. Prioritāte vienmēr ir izmantot saldūdens vai jūras biomasu vispirms pārtikas ražošanā, pēc tam – nepārtikas produktu ražošanā, lai ražotu barību, materiālus un enerģiju. Jūras produktu sagatavošana pārtikai sastāv no vairākiem posmiem, un tas ir atkarīgs no produkta, bet jebkurā gadījumā nozares galvenais uzdevums ir apmierināt pieprasījumu pēc jūras produktiem, nodrošinot to nekaitīgumu un kvalitāti. Apstrāde ietver zivju un jūras produktu sagatavošanu piegādei patērētājiem. Jūras veltes var saglabāt vairākos citos veidos, tās konservē, kaltējot, sālot, kūpinot, marinējot, marinējot vai kombinējot šīs metodes. Zivju žāvēšanai var izmantot atjaunojamo enerģiju, piemēram, saules siltumu un atjaunojamo enerģijas avotu sadedzināšanas siltumu. Sālīšanas process ir ļoti daudzveidīgs un bieži vien atkarīgs no reģiona un tradīcijām. Arī zivis, ko izmanto nepārtikas vajadzībām, pirms turpmākās apstrādes atdzesē vai sasaldē, tādējādi nodrošinot vislabāko iespējamo izejvielu. Izejvielu sastāvs ir atkarīgs no sugas, apstrādes metodes, produkta veida (fileja vai liemenis), kā izejvielas izmanto arī piezveju [6].

Lai produkti nonāktu pie patērētājiem, ir svarīgi uzraudzīt to kvalitāti un pārstrādi. Kvalitāti palīdz nodrošināt arī augsta zivju un gliemju izsekojamība. Tomēr, ja produkts ir bojāts vai izmetumus nav kur izmantot, tos ir iespējams izmantot citu produktu radīšanai, izmantojot dažādas pārstrādes tehnoloģijas, lai radītu pievienotās vērtības produktu. Jūras velšu produktiem ir augsta uzturvērtība attiecībā uz olbaltumvielām, lipīdiem un būtiskiem mikroelementiem. Vēžveidīgie ir divu veidu bezmugurkaulnieki – vēžveidīgie un mīkstmieši. Zivju, gliemeņu un vēžveidīgo aptuvenais sastāvs ir atrodams Eiropas un internacionālajās datubāzēs [7–9]. Jūras aļģes globālā nozīmē ir jauna jūras velšu nozares daļa. Daudzās pasaules valstīs jūras aļģes izmanto kā pārtikas avotu, jo tās ir izplatītas dažādās un ekstrēmās vidēs.

Kopš seniem laikiem līdz pat 19. gadsimta sākumam austrumos cilvēki uzskatīja jūras aļģes par delikatesi [10]. Lielākā daļa cilvēku neapzinās, ka patērē makroaļģes, bet daudzi produkti, piemēram, gaļa un piena produkti, ko mēs ikdienā lietojam uzturā, satur makroaļģu savienojumus vai to ekstraktus [10].

Ūdens resursu atkritumi, izmetumi un atliekas parasti rodas visos zvejas un apstrādes posmos. Pēdējā laikā ir uzlabojusies atkritumu ilgtspējīga izmantošana. Atkritumu daudzumu vēl vairāk palielina nejauša vairāku dzīvnieku, kas nav sagatavoti lietošanai pārtikā, nozveja. Neēdamās zivs daļas pārstrādē veido 10–50 % no kopējā svara, un tās ir galva, zarnas (iekšējie orgāni), āda, kauli un gaļa, kas paliek piestiprināta pie kauliem. Neēdamās čaulgliemju, jo īpaši vēžveidīgo, sastāvdaļas, piemēram, galva, čaulas, iekšējie orgāni un piedēkļi, var veidot līdz pat 85 % no izejvielas. Atkarībā no reģiona izmetumus parasti izgāž uz sauszemes vai okeānā. Ievērojama daļa šo blakusproduktu tiek nepietiekami izmantota, izšķērdēta vai izmesta.

Tāpat kā jebkurai izejvielai, arī biomasai piemīt savas īpatnības – atrašanās vieta, sezonālitate, sugas (bioloģisko organismu daudzveidība un pielāgošanās dažādiem vides apstākļiem nosaka neviendabīgu un sarežģītu sastāvu), mikrodzīvotņu apstākļi, novākšanas un uzglabāšanas apstākļi, salīdzinoši zems enerģijas blīvums, neskaidrība par tirgu (pieprasījums, cena, piegādātāji, izplatītāji). Tāpēc, plānojot biopārstrādes operācijas, ļoti svarīga ir spēja konsekventi un precīzi izmērīt biomasas īpašības. Promocijas darbā pētītā biomasa iedalāma divās klasifikācijas grupās – ūdens biomasa (zivis, jūras makroaļģes) un zālaugu biomasa (niedres), un katrai no tām pārstrādes kontekstā ir savas tehnoloģiskās problēmas. Svarīgākie parametri, kas nosaka ražošanas procesa izvēli, ir nepieciešamais atjaunojamais galaprodukts, biomasas kvalitāte un daudzums, kā arī procesa izmaksas [12]. Zivju, gliemeņu un makrofitu mitrās masas ziņā ūdens saturs ir līdzīgs – no 60 % līdz 80 %, jūras aļģu – no 80 % līdz 90 %. Tas nozīmē, ka mitruma satura samazināšana ir obligāta ūdens bioresursu apstrādes sastāvdaļa. Vienīgais lietojums, kur tos var izmantot mitrus, ir kā neapstrādātu mēslojumu, taču pastāv piesārņojuma un mikrobioloģiskie draudi.

Biomasu var pārvērst divos galvenajos enerģijas nesējos – elektroenerģijā/termiskajā enerģijā un transporta degvielā. Fizikāli ķīmiskās īpašības, kam ir izšķiroša nozīme pieejamās izejvielas novirzīšanā abās vai vienā no šīm jomām, ir mitruma saturs (iekšējais/ārējais), kaloriskā vērtība, fiksētā oglekļa un gaistošo vielu proporcija, pelnu saturs, sārnu metālu saturs, celulozes/lignīna attiecība. Biomasas pārveidošanā enerģijā parasti notiek šādi procesi: termoķīmiskā pārveidošana, bioķīmiskā pārveidošana, fizikāli ķīmiskā pārveidošana [12]. Galvenās lignocelulozes biomasas pirmapstrādes metodes ir mehāniskā – griešana, frēzēšana, ultraskaņa [13], [14], ķīmiskā – karstais ūdens, skābā hidrolīze, sārmainā hidrolīze, organiskais šķīdums, oksidatīvie, jonu šķīdumi [15, 16], ķīmiskā/mehāniskā – tvaika eksplozija, amonjaka šķiedras izplešanās, CO<sub>2</sub>, mehāniskā sārmainā priekšapstrāde [14, 17], bioloģiskā – bioloģiskā hidrolīze [12]. Pēc biomasas priekšapstrādes un ūdens satura samazināšanas galvenais process ir vielu atgūšana no iepriekš apstrādātās matricas. Šo procesu sauc par ekstrakciju. Jūras produktu atkritumu biomasas matricu raksturo vielu saturs, ja tās pamatā ir slāpekļis, lipīdi, polisaharīdi, minerālvielas, lignīns. Ekstrakcijas procesa būtiskākie ievades un izvades elementi, kas saistīti ar sešiem zaļās ekstrakcijas principiem [18], ir:

- 1) atjaunojamo izejvielu izvēle;
- 2) ūdens vai agrošķīdinātāju izmantošana;
- 3) enerģijas samazināšana un reģenerācija, izmantojot inovatīvas tehnoloģijas;

- 4) līdzproduktu ražošana;
- 5) kontrolēta procesa izstrāde un darbību samazināšana;
- 6) tīra zaļā bioaktīvā ekstrakta iegūšana.

Bieži sastopamās inovatīvās pieejas bioaktīvo savienojumu ekstrakcijai ir tūlītēja kontrolēta spiediena krituma (*DIC*) tehnoloģija [19], [20], pulsējošā elektriskā lauka (*PEF*) apstrāde [21], paātrināta ekstrakcija ar šķīdinātāju (*ASE*) [22], [23], negatīvā spiediena kavitācija (*NPC*) [24], subkritisks ūdens (*SBW*) [25], [26], ekstrakcija ar jonu šķīdumu (*ILE*) [27], [28]. Spēja automātiski un precīzi kontrolēt bioprocessus to optimālā stāvoklī ir ārkārtīgi svarīga un ļauj samazināt vai ierobežot ražošanas izmaksas un palielināt ražību, vienlaikus saglabājot produktu kvalitāti. Neatkarīgi no tā, kāda biomasa tiek pārstrādāta, ir būtiski izvēlēties piemērotu analīzes metodi konkrētai biomasai, reakcijai un ekstraktiem. Vispopulārākās ir sensoru metodes, kuru pamatā ir matemātiskie modeļi, jo reāllaika dati tiek iegūti, pamatojoties uz sensoru rādījumiem.

## 1.2. Starpprodukti no ūdens biomasas

Pēdējos gados ir ievērojami pieaugusi interese par jūras savienojumiem, pētītajiem avotu organismiem, to ķīmisko sastāvu un bioloģisko aktivitāti. *Carroll* u. c. 2022. gadā ir sniegts pārskats par dabīgiem jūras produktiem – 2020. gadā ir aprakstīti 1470 jauni savienojumi, un kopumā *MarinLit* datubāzē ir aprakstīti aptuveni 39 000 savienojumu [29]. Jūras biopolimēru bioloģiskā aktivitāte un piemērotība ir pētniecības virziens, kam jāseko, lai radītu risinājumus pārtikas un citu nišas produktu izmantošanai. Jūras blakusprodukti, kas iegūti zivju pārstrādes rūpniecībā un zvejniecības piezvejā, ir nozīmīgs bioaktīvo savienojumu avots – proteīni, aminoskābes, peptīdi, fermenti, kolagēns, želatīns, lipīdi, pelni, hitīns, vitamīni un citi, kas ir noderīgi to lielās tirgus vērtības dēļ. Zivju olbaltumvielu pievienotā vērtība ir to hidrolizātu īpašībās [30]. Zivju āda, cīpslas, skrimšļi, kauli un saistaudi satur kolagēnu un želatīnu, ko var ekstrahēt un izmantot pārtikas un farmācijas produktos [30], [31]. Zivju atkritumi ir milzīgs un lēts kolagēna avots nozarei [32]. Zivju pārstrādes blakusprodukti ir lielisks potenciāls labas kvalitātes zivju eļļas iegūšanai, ko var izmantot cilvēku uzturā, lopbarībā, biodīzeldegvielas ražošanā [32]. Fermentus saturoši zivju iekšējie orgāni ir vieni no svarīgākajiem zivsaimniecības blakusproduktiem, jo tie satur gremošanas fermentus, turklāt daudziem no tiem piemīt augsta katalītiskā aktivitāte relatīvi zemā koncentrācijā un augsta stabilitāte plašā pH diapazonā [32]. Hitīns ir garneļu un krabju čaulu un kalmāru spalvu strukturālā sastāvdaļa. Jūras hitīni tiek izmantoti, lai ražotu plašu bioloģiski aktīvu produktu klāstu, tostarp hitooligomērus, hitināzi, hitozanāzi, antioksidantus, pretdiabēta savienojumus un prodīgiosīnu, kas ir potenciāls kandidāts vēža ārstēšanai [30], [33].

Galvenās jūras aļģu izmantošanas jomas ir pārtikas rūpniecība, biodegvielas ražošana, bioaktīvi antioksidanti un antimikrobiāli savienojumi, veselības aprūpe un kosmētikas rūpniecība, bioloģiskais mēslojums un notekūdeņu attīrīšana [34]. Jūras aļģu polisaharīdi galvenokārt tiek izmantoti pārtikas rūpniecībā. Alginātu, karaginānu, agaru kā pārtikas piedevas ar emulgējošām, stabilizējošām, putojošām, pildvielām, želejvielām, saistvielām izmanto saldējuma, gaļas, bezalkoholisko dzērienu, piena, zema tauku satura produktu, alus un vīna produktu un citu produktu ražošanā [10], [35].

Ūdens bezmugurkaulnieki ir nozīmīgs dabisko produktu avots, ko var izmantot farmācijā, kosmētikā, antibiotikās, pretapaugšanas līdzekļos un biomateriālos. Simbiotiskie mikroorganismi bieži ir daudzu sekundāro metabolītu, kas sākotnēji izolēti no jūras bezmugurkaulniekiem, īstie ražotāji, tomēr daļu no tiem sintezē makroorganismi [36]. Jūras bezmugurkaulnieku un no tiem iegūto produktu grupas ir sūkļi – hidroksiapatīts, kalcija karbonāts, biokristāļi, hitīns, kolagēns; cnidāriji – hidroksiapatīts, kolagēns; gliemji – olbaltumvielas jūras līmes, kalcija karbonāts; adatādaiņi – kolagēns, proteīni, magnija kalcīts; tunikāti – tunikīns – augsti kristāliska celulozes nanošķiedra, proteīni. Ņemot vērā šo organismu unikālās un specifiskās īpašības, lielākā daļa izstrādāto lietojumu ir vērsti uz kaulu audu inženieriju un citiem inovatīviem biomedicīnas lietojumiem – skeletiem reģeneratīvajā medicīnā, zobārstniecībā, biolīmēm [36].

Niedru biomasu izmanto gan svaigu, gan sausu. Svaigi sasmalcinātu un mulčētu vai sablenderētu izmanto lauksaimniecībā augsnes uzlabošanai. Sausas niedres ar mitruma saturu zem 20 % – būvniecībā [37]. Niedru biomasu tiek izmantota dažādos produktos ar pievienoto vērtību – būvniecībā kā skaņas un siltuma izolācija [38], jumta segumā, kurināmais [39], spirtā [40], mēslojumā [41], biogāzē, papīrā un celulozē, kā arī izejvielas citiem produktiem [37].

### **1.3. Ilgtspējību veicinoši zilās bioekonomikas koncepti**

Starptautiski lietotais vispārīgais termins “Bioekonomika” attiecas uz ekonomikas daļu, kas balstīta procesos, produktos un pakalpojumos, kas iegūti no bioloģiskajiem resursiem, un tā ir transversāla, aptverot vairākas nozares. Bioekonomika ir viena no ilgtspējīgas nākotnes ekonomikas galvenajām sastāvdaļām – bioekonomikas attīstība un pāreja galvenokārt uz bioekonomiku, lai risinātu klimata pārmaiņas, pārtikas nodrošinājuma, enerģētiskās neatkarības un vides ilgtspējības jautājumus. Ar bioekonomikas sasniegumiem ir iespēja dažādot nozares un darbavietas, uzlabot cilvēku veselību, izstrādājot jaunus medikamentus, un veicināt lauku attīstību [42]. Zilā bioekonomika ir bioekonomikas daļa, kuras pamatā ir okeānu, jūru, ezeru, upju un akvakultūras objektu organismu izmantošana. Salīdzinājumam, termins “Zilā ekonomika” papildus zilajai bioekonomikai aptver visas jūrniecības nozares, tostarp jūras enerģētiku, kuģniecību, izrakteņu ieguvu [43]. Bioekonomikas stratēģijām un koncepcijām vissvarīgākā ir mazapjoma zivsaimniecība un nabadzīgās piekrastes kopienas, kas nodrošina pārtiku cilvēkiem, kuriem nepieciešamas olbaltumvielas. Zilā taisnīguma koncepcija radās kā atbilde uz bažām par netaisnību pret mazapjoma zivsaimniecību zilās ekonomikas/auģšanas programmās. Taisnīgums ietver laika dimensiju un var ietvert prasības atzīt un labot pagātnē nodarīto kaitējumu. Zilajam taisnīgumam mazapjoma zivsaimniecībā ir nepieciešama informācija un stratēģijas, un šim nolūkam ir jāveic starpdisciplināra izpēte, lai izstrādātu jaunus terminus, kas izjauc dominējošo diskursu par to, kas ir okeāna ilgtspējība un ko tā ietver. Zilā izaugsme balstās diskursā, kas nosaka attīstības trajektoriju, kas var nodrošināt lielākus ieņēmumus no jūras resursiem, vienlaikus novēršot degradāciju, pārmērīgu izmantošanu, piesārņojumu [44].

Lielākā daļa jūrniecības politikas iniciatīvu ir saistītas ar zilās ekonomikas un zilās izaugsmes koncepcijām. Zilā izaugsme nav universāla koncepcija, tā ir pielāgojama sistēma, ko dažādos reģionos var pielāgot un piemērot atšķirīgi, lai nodrošinātu vislielāko labumu ieinteresētajām personām katrā konkrētā gadījumā. Mūsdienās diplomātija galvenokārt ir

orientēta uz kopīgu interešu noteikšanu starp suverēnām valstīm. Gan akadēmiskajās, gan militārajās aprindās valda vispārēja vienprātība par to, ka starptautisko attiecību sarežģītība prasa lielākus ieguldījumus diplomātijā. Globālās problēmas, kas apdraud cilvēci, nevar atrisināt, risinot tikai klimata pārmaiņu problēmu. Tas ir pareizs veids, kā rīkoties, bet ar to vien nepietiks, lai risinātu citas galvenās problēmas, ar kurām saskaras cilvēce [44]. Eiropa uzņemas vadošo lomu virzībā uz integrētu un iekļaujošu reakciju uz globālām problēmām, izveidojot kopīgus ideālus, kas kalpo par biodiplomātijas stūrakmeņiem. Ilgtspējīgas bioekonomikas principu kontekstā *FAO* programmās ir atrasti piemēroti uzraudzības rādītāji. Šie rādītāji palīdzēs uzraudzīt un novērtēt politikas veidotāju, kā arī ražotāju un ražotāju bioekonomikas iniciatīvu un pasākumu ilgtspēju. Literatūra liecina, ka bioekonomikas un ilgtspējīgas attīstības mērķu (IAM) saistība var ievērojami atšķirties atkarībā no stratēģiskajiem mērķiem, ko valsts izvēlas savai bioekonomikai. Tāpēc, izstrādājot bioekonomikas plānus, lai veicinātu progresu saistīto ilgtspējīgas attīstības mērķu sasniegšanā, īpaši svarīgs būs valsts konteksts, jo tas var mainīt valsts galvenos ilgtspējības mērķus (un ilgtspējīgas attīstības mērķu īstenošanas stratēģijas) [45]. Zilā transformācija darbojas, lai veicinātu uzlabotas ūdens vērtību ķēdes, ilgtspējīgu akvakultūras paplašināšanu un intensifikāciju, kā arī visu zivsaimniecības nozaru efektīvu pārvaldību. Lai veicinātu vienlīdzīgu piekļuvi rentabliem tirgiem un palielinātu produkcijas apjomu, ir nepieciešama proaktīva publiskā un komerciālā sadarbība. Lai paplašinātu pieejamību un uzlabotu piekļuvi, ūdens pārtikas produkti ir jāiekļauj arī valstu pārtikas nodrošinājuma un uztura programmās, kā arī jāīsteno kampaņas, lai palielinātu patērētāju informētību par ieguvumiem [46]. Izmantojot okeānus un jūras, kam ir milzīgs izaugsmes un inovāciju potenciāls, ES var atrast jaunas metodes, lai radītu ekonomikas izaugsmi un palīdzētu tai izkļūt no pašreizējās krīzes, īstenojot ilgtermiņa stratēģiju, ko dēvē par zilo izaugsmi [32]. Visbeidzot, ir jāmaina cilvēku priekšstati par to, kā jāizmanto ūdens resursi. Turpinot attīstīt daudzplūsmu biorafinēšanas rūpnīcas, tiks veicināta pārtikas ražošana, vienlaikus palielinot ūdens biomasas ekonomisko vērtību, tādējādi veicinot zilās bioekonomikas uzlabošanu [47], [48]. Pasaules bioekonomiku veido vairāki augsta līmeņa forumi un organizācijas. Bioekonomika ir nobriedusi, un tās ietekme uz rūpniecības pāreju uz ilgtspējīgu un klimatneitrālu ekonomiku pieaug, tāpēc ir ļoti svarīgi apspriest stratēģijas saskaņošanu, konsolidēt ceļvežus un sasaistīt aktivitātes [49].

## 2. METODOLOĢIJA

### 2.2. Pētījumi un datu analīze

#### 2.2.1. Lipīdu ekstrakcija no zivju biomasas

Lipīdu ekstrakcija no zivīm un zivju atliekām tiek veikta šādos posmos – vispirms biomasas sagatavošana, pēc tam analītiska lipīdu satura noteikšana, lipīdu ekstrakcija no apaļā jūrasgrunduļa ar karstumu un mikroviļņiem [54], lipīdu kvalitātes noteikšana, uzturvērtības analīze. Pirms lipīdu ekstrakcijas tika veikta homogenizācija. Kopējais lipīdu saturs tika noteikts, izmantojot *Bligh/Dyer* metodi, kas tika salīdzināta ar alternatīvām *Saini* u. c. 2021 [50]. Lipīdu kvalitāte tika salīdzināta, izmantojot iegūto lipīdu daudzumu, krāsu un viskozitāti, pārziepošanas vērtību, eļļu oksidatīvo kvalitāti (skābuma vērtību un brīvo taukskābju saturu). Saponifikācijas vērtība ir svarīga lipīdu analīze, kas jāņem vērā, novērtējot turpmāko ražošanas procesu. Zivju eļļas saponifikācijas vērtība tika noteikta saskaņā ar Amerikas Eļļas ķīmiķu biedrības (*AOCS*) oficiālo metodiku [51]. Brīvo taukskābju saturs (%) un skābju daudzums tika noteikts saskaņā ar *AOCS Ca 5a-40* oficiālo metodi. Olbaltumvielu saturs tika noteikts, izmantojot *Kjeldāla* metodi. Šo metodi 1883. gadā izstrādāja zinātnieks Johans *Kjeldāls* (*Johan Kjeldahl*), un tā ietver vielas karsēšanu ar sērskābi, kas oksidē un noārda organiskās vielas, atbrīvojot reducēto slāpekli amonija sulfāta veidā. Nosakot olbaltumvielu, tauku, ūdens un pelnu saturu zivīs, ir iespējams aprēķināt arī oghidrātu daudzumu. Šo aprēķinu veic saskaņā ar oficiālo *AOAC* 2002. gada metodiku. Tika noteikts arī mitruma un pelnu saturs zivs ķermenī un galvā. Mitruma saturu zivīs nosaka, aprēķinot ķermeņa svara izmaiņas pirms un pēc karsēšanas. Kopumā tests tika veikts 20 stundas, žāvēšanas laikā uzturot 105 °C temperatūru. Pelnu saturs tika noteikts saskaņā ar *AMC* (Karaliskās Ķīmijas biedrības Analītisko metožu komitejas) modificēto metodi, nepievienojot magnija acetātu [51]. Mitruma sastāva noteikšanai tika izmantots žāvēšanas skapis *Ecocell 55*. Žāvēšanas process ilga vidēji 5 h. Pēc 4 min atdzesēšanas eksikatorā analizējamais paraugs tika svērts ik pēc 1 h, līdz tika panākta masas stabilizācija. Tika salīdzinātas arī zivju galvas un zivju liemeņu eļļas. Smaržai un garšai jābūt neitrālai. Intensīva specifiska un neraksturīga garša vai smarža liecina, ka ir sākusies eļļas sekundārā oksidēšanās un ir zudusi kvalitāte. Brīvo taukskābju saturs (%) tika noteikts saskaņā ar *AOC* oficiālo metodi *Ca 5a-40*. Eļļas oksidāciju var netieši noteikt pēc skābes vērtības. Skābju saturu aprēķina pēc 2.2.1.1. formulas.

$$AV = 1,99 \times FFA \quad (2.2.1.1.)$$

kur *AV* – skābes vērtība (mg KOH/g);

*FFA* – brīvo taukskābju saturs (%).

Olbaltumvielu saturs tika noteikts pēc oriģinālās *Kjedala* metodes zinātniskajā institūtā *IFSAHE “BIOR”* [52]. Slāpekļa saturu aprēķina pēc 2.2.1.2. formulas.

$$N = \frac{0,7(V1-V0)}{M} \quad (2.2.1.2.)$$

kur *N* – slāpeklis (%);

*V1* – 0,1 M sērskābe, kas patērēta parauga testā (mL);

*V0* – 0,1 M sērskābe, kas patērēta bāzes testam (mL);

*M* – parauga masa (g).

Olbaltumvielu daudzumu aprēķina saskaņā ar 2.2.1.3. formulu. Procentuālo daudzumu nosaka no kopējā parauga, ieskaitot mitruma daudzumu [53].

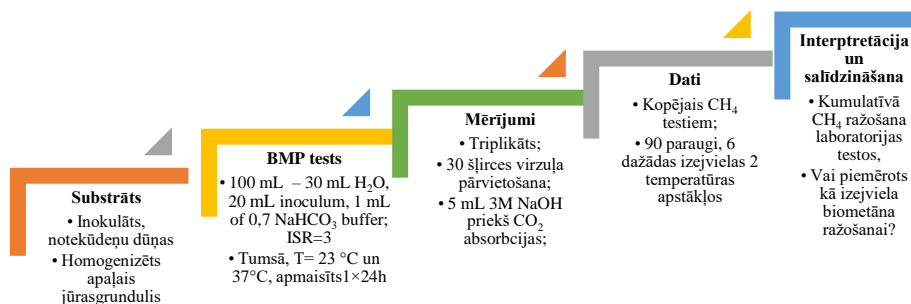


$$P \% = 6,25 \times N \quad (2.2.1.3.)$$

kur  $N$  – slāpeklis (%).

## 2.2.2. Zivju atlikumu bioķīmiskais metāna potenciāls

Pārstrādes atkritumi – galvas, zarnas un ādas/kaulu maisījumi – tika izmantoti turpmākajiem BMP testiem. Katra zivju atkritumu frakcija atsevišķi tika homogenizēta, izmantojot 1500 W virtuves blenderi, un tika veiktas kopējo cieto vielu ( $TS$ ) un gaistošo cieto vielu ( $VS$ ) satūra analīzes.  $TS$  tika iegūta, ievietojot paraugu žāvēšanas skapī uz 18 stundām  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūrā, pēc tam sausais paraugs tika sasmalcināts un ievietots žāvēšanas skapī uz 5 stundām  $105\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūrā.  $VS$  tika iegūta, ievietojot 5 g pilnīgi sausa parauga krāsnī uz 11 stundām ar sildīšanas pakāpi  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pēc tam trīs stundas turot  $550\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūrā, lai varētu iegūt  $VS$  saturu kā  $TS$  daļu (% no  $TS$ ). Notekūdeņu dūņas tika savāktas no vietējām notekūdeņu attīrīšanas iekārtām “Daugavgrīva” (Rīgas rajons, Latvija) tieši no biogāzes bioreaktoriem. Pirms BMP testiem inokulāts tika inkubēts sešas dienas  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūrā, regulāri atgāzējot. Inokulāts tika novērtēts, izmantojot standartus: *ISO 14780:2017* [55], *ISO 18134 2:2017* [56], *ISO 18134-3:2015* [57]. BMP testi tika veikti partijas režīmā, izmantojot 100 mL ND20 flakonus ar darba tilpumu 50 mL. Katra pudelīte tika piepildīta ar 30 mL destilēta ūdens, 20 mL inokulāta un 1 mL 0,7 M  $\text{NaHCO}_3$  buferšķīduma bāzes šķīduma, lai uzturētu neitrālu pH. Dažādiem paraugiem tika pievienots atšķirīgs daudzums dažādu zivju atkritumu frakciju, pamatojoties uz  $TS$  saturu, kā arī tāpēc, lai uzturētu  $ISA$  aptuveni 3. Gan augstas, gan zemas temperatūras apstākļos tika sagatavoti references paraugi, kas saturēja tikai inokulātu. Paraugu augšējā telpa 30 sekundes tika skalota ar  $\text{N}_2$  ar plūsmas ātrumu aptuveni 2 L/min, pirms paraugi tika noslēgti ar butila gumijas aizbāžņiem un alumīnija spraudņiem. Testi tika veikti tumsas apstākļos mezofilā  $37\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūrā inkubatorā *EcoCell LSIS-B2V / EC 111* un  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  temperatūrā 31 dienu. Partijas vidēji vienu reizi dienā tika sakratītas. Visas partijas tika sagatavotas trīskāršās sērijās. Kopumā tika veikti trīs eksperimenti. Testētajos paraugos bija galvas, ādas/kaulu maisījums un zarnas. Eksperimenti tika veikti ar viena mēneša laika nobīdi, tādējādi arī nedaudz atšķirās inokulāts katrai testa iekārtai. Kopumā tika analizēti 90 paraugi sešām dažādām izejvielām divos temperatūras apstākļos (2.1. att.). Atkarībā no biomasas veida BMP novērtēšanai nepieciešams laiks līdz 90 dienām [58]. Lai veiktu ātrāku testu, var izmantot teorētisko biometāna potenciālu, izmantojot Busvela vienādojumu. Zivju atkritumu frakciju ķīmiskais sastāvs tika analizēts Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūtā.



2.1. att. Bioķīmiskā metāna potenciāla (BMP) testa eksperimenta norise.

### 2.2.3. Multikritēriju analīze niedru lietošanai bioekonomikā

Lai novērtētu produktus no niedrēm, tika izmantota daudzkritēriju lēmumu pieņemšanas metode [59]. Tā ir viena no visbiežāk izmantotajām metodēm pētījumos, kuros tiek izmantoti gan kvantitatīvi dati (piemēram, patērētā elektroenerģija, emisijas u. c.), gan kvalitatīvi dati (intervijas, auditorijas viedokļi, ekspertu liecības), kā arī abu šo datu kombinācija. Ja trūka datu, tika ņemts vērā vides inženiertehniskais novērtējums, kas balstīts informācijā par līdzīgiem produktiem. Lai ar *TOPSIS* metodi noteiktu perspektīvākos produktus no niedrēm atbilstoši vides aizsardzības prasībām, galvenie faktori, kas ietekmē pētāmo jautājumu, tika definēti kā 11 rādītāji (2.1. tab.). Katra definētā faktora nozīmīgums jeb svars tika noteikts, pamatojoties uz dabas aizsardzības ekspertu novērtējumu. Vērtētāju subjektivitāte tika samazināta, jo produkta novērtēšanai tiek izmantoti pamatoti dati vai ekspertu vērtējums. Kvalitatīvo rādītāju vērtība tika izteikta aprakstošā formā un skaitliski, izmantojot decimālskalu skalu no 1 līdz 10.

2.1. tabula

Daudzkritēriju analīzei izmantotie kritēriji

<b>Ilgspējas rādītāja veids</b>	<b>Ilgspējas rādītājs</b>	<b>Apraksts, kvantitatīvie (<math>Q_N</math>) vai kvalitatīvie (<math>Q_L</math>) rādītāju piemēri</b>
Klimata un vides	Resursu patēriņš	Resursu patēriņš produkta ražošanas procesā – enerģija, ūdens, ķīmikālijas – $m^3H_2O$ , kWh elektroenerģijas – siltuma, kg metāla, kg fosilā kurināmā vai ķīmisko vielu, kg bioresursu, kWh atjaunojamo energoresursu, galaprodukta kilogramos.
	CO <sub>2</sub> emisijas	CO <sub>2</sub> emisiju daudzums, kas rodas produkta ražošanas procesā: siltums vai enerģija – tCO <sub>2</sub> e.
	Ietekme uz vidi	Izejvielu ieguves un ražošanas procesu ietekme uz vidi (gaisu, ūdeni, augsni, dzīvajiem organismiem). Hidrobiontu traucējumi – skaņa, vibrācija (Hz), piesārņojums (g/h) GOS emisijas (g/h), zemes izmantošana (ha).
	Ietekme uz cilvēku veselību	Ražojuma ietekme uz cilvēka veselību. Ietekme uz elpošanas un imūnsistēmu, jo vielas no produkta iztvaiko.
Tehnoloģiju	Savstarpēja aizstājamība	Iespēja aizstāt citu biomasu ar niedru biomasu, ko līdz šim izmantoja produkta ražošanai.
	Niedru patēriņš	Izmantotais niedru resursu daudzums (%) galaproduktā.
	Ražošanas posms	Produkta ražošanas posms – tehnoloģiskās gatavības līmenis (TRL1–TRL9).
	Sarežģītība	Tehnoloģiskā procesa sarežģītība – materiāla strukturālā sarežģītība, telpiskais mērogs, tehnoloģijas lielums, skaitļošanas intensitāte).
Ekonomiskais	Tirgus un investīcijas darbības iesākšanai	Produkta noieta tirgus (iekšējais vai ārējais tirgus; nepieciešamie ieguldījumi produkta laišanai tirgū (pētniecība un izstrāde, iekārtas, licencēšana, ieguldījumi laišanai tirgū EUR).
	Produkta vērtība	Produkta pievienotā vērtība (EUR/kg), zaļā vērtība.

#### 2.2.4. Psihrofilā plūsmas biogāzes reaktora ar saules siltuma atbalstu priekšizpēte

Pamatojoties uz metodoloģiju, ir noskaidrotas galvenās tehnoloģiskās prasības, lielums, struktūras jauda. Tika veikti vairāki pieņēmumi par sistēmas stāvokli. Sistēmas komponenti un to funkcijas tika balstītas iepriekšējos zinātniskajos darbos šajā jomā [60, 61]. Tiek pieņemts, ka biogāzes iznākumu nosaka tikai reaktora temperatūra un izejviela. Saules kolektoru saražotais siltums ir pietiekams, lai uzsildītu reaktoru līdz vēlamajai temperatūrai; siltummaiņi ir adiabatiski – var izvairīties no siltuma zudumiem ar apkārtējo vidi. Reaktora tilpums tika izvēlēts atbilstoši izejvielas dienas daudzumam un noārdīšanās ātrumam. Bioloģiski noārdāmo atkritumu daudzums atbilst 130 kg pārtikas atkritumu dienā. Lai panāktu pareizo reaktora tilpuma līdzsvaru, tilpuma aprēķināšanai tika izmantoti divi parametri – organiskās slodzes ātrums (*OLR*) un hidrauliskās aiztures laiks (*HRT*). *OLR* raksturo kā pārstrādātās barības daudzumu uz reaktora tilpuma vienību dienā, kas izteikts kopējās gaistošās cietās vielas (*TVS*) kilogramos dienā un uz vienu reaktora kubikmetru (kg *TVS*/m<sup>3</sup>dienā). *ORL* tika aprēķināts pēc 2.2.4.1. formulas. Lai aprēķinātu organiskās slodzes līmeni, *TS* un *TVS* vērtības tika pielāgotas pēc *Mhandete* u. c. 2004 [62]. Jo lielāks *OLR*, jo jutīgāka kļūst sistēma, un, lai nodrošinātu procesa efektivitāti, ir nepieciešama monitoringa sistēma. Plūstošie reaktori darbojas ar augstāku *OLR* nekā tradicionālie reaktori – līdz 10 kg. *VS*/m<sup>3</sup>day [63], tāpēc *OLR* tika palielināts trīs reizes.

$$OLR = \frac{SI \times TS \times TVS}{DV} \quad (2.2.4.1.)$$

kur *SI* – substrāta deva, kg/dienā; *TS* – kopējais cieto vielu saturs %; *TVS* – kopējais gaistošo cieto vielu saturs, %; *DV* – fermentatora tilpums, m<sup>3</sup>.

*HRT* ir teorētiskais laiks, cik ilgi substrāts atrodas reaktorā [63]. *HRT* tika aprēķināts pēc 2.2.4.2. vienādojuma:

$$HRT = \frac{NDV}{SI} \quad (2.2.4.2.)$$

kur *NDV* – fermentatora neto tilpums, m<sup>3</sup>; *SI* – substrāta ievade, m<sup>3</sup>.

*HRT* jāizvēlas tā, lai nodrošinātu pietiekamu substrātu sadalīšanos, nepalielinot fermentatora tilpumu. Lai novērtētu biogāzes sistēmas potenciāli saražotās enerģijas daudzumu, tika novērtēta enerģijas ražošana. Biogāzi tieši izmanto apkurei kā dabasgāzes aizstājēju, saskaņā ar [64] viens kubikmetrs biogāzes ar 60 % metāna ir ekvivalents 4713 kcal jeb 4,698 kWh elektroenerģijas. Enerģijas daudzums no šiem agregātiem tika aprēķināts pēc 2.2.4.3. vienādojuma. 1 m<sup>3</sup> biogāzes siltumspēja (KJ) ir šāda:

$$T_E = E_b \times T_b \times E_v, \quad (2.2.4.3.)$$

kur *T<sub>E</sub>* – kopējā siltumenerģija gadā, kJ; *E<sub>b</sub>* – 1 m<sup>3</sup> biogāzes ar 60 % CH<sub>4</sub> siltumspēju; *T<sub>b</sub>* – kopējais biogāzes daudzums, m<sup>3</sup> gadā; *E<sub>v</sub>* – 1 kcal enerģētiskā vērtība, kJ.

Saules kolektoru ražīgums jeb kolektoru lietderīgā siltumjauda ir atkarīga no kopējās apstarošanas uz kolektora laukuma un kolektora efektivitātes. Lai novērtētu nepieciešamo saules kolektora laukumu, *Zijdemans* [65] piedāvā vienkāršu aprēķina metodi:

$$A_{\text{abs}} = \frac{Q_{\text{demand}} \times SF}{Q_{\text{sol}}} \quad (2.2.4.4.)$$

kur *A<sub>abs</sub>* – kolektora absorbcijas laukums; *Q<sub>demand</sub>* – kopējais siltuma pieprasījums; *SF* – vēlamā saules enerģijas daļa; *Q<sub>sol</sub>* – kolektora iznākums [66].

### 3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

#### 3.1. RTU biosistēmu laboratorijā veiktie pētījumi

##### 3.1.1. Zivju eļļas ekstrakcija no apaļā jūrasgrunduļa

Analizējot apaļo jūrasgrunduli konstatēts, ka īpatņa vidējais garums ir  $19,53 \pm 0,5$  cm, 25 % no tā ir zivs galva. Liemeņa svars ir  $77,46 \text{ g} \pm 2,00 \text{ g}$ , galvas svars  $20,83 \text{ g} \pm 2,00 \text{ g}$ . Termiski apstrādātu paraugu centrifugēšana neuzrādīja vizuāli novērojamu eļļas izdalīšanos. Izmantojot mikroviļņu iepriekšējās apstrādes metodi, tika iegūti līdzīgi rezultāti un netika iegūta redzama eļļas frakcija. Kopējā lipīdu satura noteikšana ar *Bligh/Dyer* metodi parādīja, ka vislielākais eļļas saturs ir galvā –  $1,00 \% \pm 0,13 \%$ , liemeņa eļļas saturs ir mazāks –  $0,67 \% \pm 0,07 \%$ . Uzturvielu sastāva analīze parādīja, ka apaļā jūrasgrunduļa olbaltumvielu saturs ir  $16 \text{ g}/100 \text{ g}$  zivs (3.1. tab.).

3.1. tabula

Apaļā jūrasgrunduļa sastāvs

Zivs daļa	Ūdens	Olbaltumvielas	Tauki	Pelni	Ogļhidrāti
Ķermenis	$83,68 \% \pm$	$16,60 \% \pm$	$0,67 \% \pm$	$3,75 \% \pm$	$0 \% \pm 1,00 \%$
	$12,86 \%$	$0,40 \%$	$0,07 \%$	$0,01 \%$	
Galva	$81,18 \% \pm$	$16,60 \% \pm$	$1,00 \% \pm$	$4,24 \% \pm$	$0 \% \pm 1,00 \%$
	$1,10 \%$	$0,40 \%$	$0,13 \%$	$0,10 \%$	

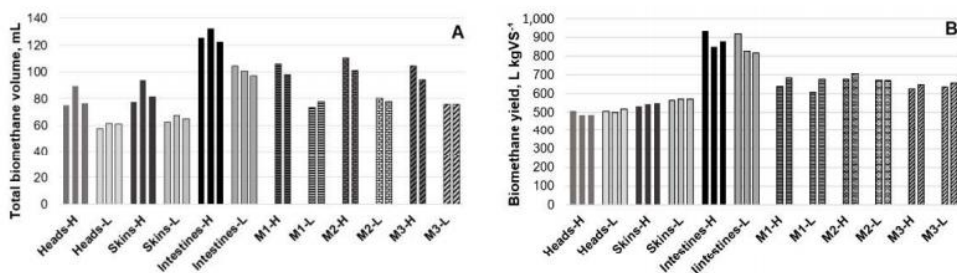
Tālāka taukskābju analīze netika veikta, jo lipīdu koncentrācija bija zema. Brīvo taukskābju saturs (%) un skābes vērtība norāda, ka pareizi uzglabātas zivis ir ēdamas. Ekstrahētajā zivju eļļā iegūtās galvas ( $2 \text{ mg KOH/g} \pm 0,47 \text{ mg KOH/g}$ ) un ķermeņa ( $1,90 \text{ mg KOH/g} \pm 0,06 \text{ mg KOH/g}$ ) skābes vērtība atbilst zivju eļļas kvalitātes standartiem ( $<3 \text{ mg KOH/g}$ ). Brīvo taukskābju saturs (*FFA* %) galvas eļļā ir  $1,03 \% \pm 0,24 \%$ , ķermeņa  $0,96 \% \pm 0,03 \%$ . Rezultātu pārbaude liecina, ka eļļa satur lielmolekulāras taukskābes, eļļas pārziemošanas vērtība ir  $233,4 \pm 15,84 \text{ mg KOH/g}$  (galvai) un  $244,65 \pm 54,94 \text{ mg KOH/g}$  (ķermenim) (3.2. tab.). Vide, sezonālitate un barošanas apstākļi ietekmē apaļo jūrasgrunduļu kopējo lipīdu saturu. Citos gadalaikos iespējama nedaudz lielāka lipīdu koncentrācija, bet lipīdu saturs būtiski nepalielinās. Šis fakts nozīmē, ka apaļais jūrasgrundulis nav piemērots zivju eļļas ieguvei. Šai pašai sugai Melnajā jūrā lipīdu saturs ir no  $1,60 \%$  līdz  $2,65 \%$  [67]. Apaļajā jūrasgrundulī ir daudz mazāks lipīdu saturs nekā reņģē un lasī [68–69].

Arī zivju barības ražošana tikai no šīs sugas nav iespējama, jo, lai produkts atbilstu kvalitātes kritērijiem, nepieciešams lielāks lipīdu saturs. Tādā gadījumā ir nepieciešams sajaukt zivis ar augstāku lipīdu saturu ar apaļā jūrasgrunduļa pārstrādes atlikumiem. Lai precizētu olbaltumvielu frakcijas uzturvērtību, jāanalizē aminoskābju sastāvs.

### 3.1.2. Apaļo jūrasgrunduļu atlieku biometāna potenciāls

Zivju atkritumu frakcijām ir nelielas ķīmiskā sastāva atšķirības. Pamatojoties uz ķīmisko sastāvu, zarnām ir daudzsoļošs teorētiskais BMP potenciāls, jo tajās ir augstāks oglekļa un ūdeņraža procentuālais saturs *TS* un zemāks pelnu saturs nekā citos substrātos. Turklāt augsta lipīdu koncentrācija iekšējos orgānos [70] ietekmē BMP testa rezultātus, kas liecina, ka vislielākais metāna iznākums ir paraugiem ar zarnām gan augstas, gan zemas temperatūras apstākļos. Līdzīgu ietekmi novēroja arī *Nges* u. c., 2012. gadā [71]. *VS* saturs apaļā jūrasgrunduļa zarnās bija līdzīgs abiem biomasas avotiem, sasniedzot 82,6 % no *TS*. Attiecībā uz kopējo uzkrāto biometāna tilpumu vienā testa flakonā var novērot būtiskas atšķirības starp zemas temperatūras un augstas temperatūras partijas paraugiem. Kopumā paraugiem, kas tika inkubēti 23 °C temperatūrā, var novērot vidēji 23 % samazinājumu kopējā uzkrātā biometāna daudzumā (3.1. A att.). Tas atbilst literatūrā aprakstītajām tendencēm, ka, pazeminot temperatūru par 10 °C, biogāzes produkcija samazinās aptuveni divas reizes [72].

Neto biometāna daudzumos starpība starp zemas un augstas temperatūras paraugiem ir ļoti maza. Aprēķinot galīgās BMP vērtības (vienmēr balsfītas biometāna tūrā daudzumā) uz kg *VS*, kopējie vidējie BMP rezultāti zemas temperatūras paraugiem ir tikai par 2 % zemāki nekā 37 °C paraugiem (3.1. B att.). Kopumā BMP atšķirība uz 1 kg *VS* starp abām temperatūras apstākļu grupām bija tikai 2 % (3.1. A att.).



3.1. attēls. Kopējais uzkrātais biometāna daudzums (A) un BMP uz 1 kg *VS* (B) pirmā, otrā un trešā eksperimenta laikā. H – 37 °C, L – 23 °C.

Visos trīs eksperimentos visaugstākās BMP vērtības tika iegūtas zivju zarnās gan augstas, gan zemas temperatūras apstākļos. Vidējais biometāna iznākums visos trīs eksperimentos 37 °C temperatūrā bija 887 L CH<sub>4</sub> kgVS un 853 L CH<sub>4</sub> kgVS 23 °C temperatūrā. Šīs augstās vērtības tika sasniegtas lielā lipīdu un olbaltumvielu satura dēļ, jo īpaši gonādās. Teorētiskais BMP iznākums lipīdiem ir aptuveni 1000 L CH<sub>4</sub> kgVS<sup>-1</sup>, teorētiskais iznākums olbaltumvielām ir aptuveni 490 L CH<sub>4</sub> kgVS<sup>-1</sup> [71]. Pirmā eksperimenta BMP vērtības ir augstākas nekā otrā un trešā eksperimenta vērtības, sasniedzot 933 L CH<sub>4</sub> kgVS pie 37 °C un 917 L CH<sub>4</sub> kgVS pie 23 °C. Salīdzinājumam, otrā un trešā eksperimenta rezultāti bija tikai 850–878 L CH<sub>4</sub> kgVS augstā temperatūrā un 816–826 L CH<sub>4</sub> kgVS zemā temperatūrā. Pavasarī zivis ir gatavas jaunajam nārsta laikam, tām ir lielākas gonādas un vairāk nobriedušu ikrū, tādējādi palielinās lipīdu un olbaltumvielu relatīvais īpatsvars iekšējos orgānos. Šie rezultāti ir nedaudz augstāki par ziņoto 500 L CH<sub>4</sub> kgVS asarim (*Perca fluviatilis*) zarnās [73]. Vidējais BMP, kas iegūts trīs eksperimentos ar zivju galvām augstā temperatūrā un zemā temperatūrā, bija attiecīgi 494 L CH<sub>4</sub> kgVS un 508 L CH<sub>4</sub> kgVS. Ādas un kaulu maisījuma rezultāti bija nedaudz augstāki,

vidējais BMP 37 °C temperatūrā bija 542 L CH<sub>4</sub> kgVS, 23 °C temperatūrā – 570 L CH<sub>4</sub> kgVS. Zemākās temperatūrās vidējās BMP vērtības ir nedaudz augstākas nekā 37 °C temperatūrā gan galvām, gan ādas un kaulu maisījumam. Tas izskaidrojams ar to, ka vairākiem paraugiem augstā temperatūrā pēc 20 dienām biometāna ražošana aizkavējās un bija vērojama neliela metāna ražošanas kavēšanās, jo tukšie references paraugi katru dienu izdalīja vairāk gāzes nekā paraugi, kas saturēja zivju atkritumus. Tas faktiski radīja negatīvas dienas neto biometāna vērtības, liecinot par inhibīcijas sākumu, kas seko pēc augsta organiskā satura substrātu sagremošanas un straujas gaistošo taukskābju uzkrāšanās, kā to var novērot arī piena produktu anaerobās fermentācijas laikā [74]. Tas saskan arī ar literatūras datiem, kuros minēts, ka anaerobā fermentācija zemākas temperatūras apstākļos ir stabilāka un uzkrājas mazāk gaistošo taukskābju [75]. Tomēr visu eksperimentu beigās netika novērotas lielas pH izmaiņas, tikai dažiem paraugiem pH pazeminājās no pH 8 līdz pH 7,7.

Tika sagatavoti arī trīs dažādi zivju atkritumu frakciju maisījumi. Pirmajā maisījumā (M1) visas atkritumu frakcijas bija vienādās daļās, pamatojoties uz *TS*. Otrajā maisījumā (M2) visas atkritumu frakcijas bija vienādās daļās, pamatojoties uz mitro svaru. Trešajā maisījumā (M3) visas atkritumu frakcijas bija mitrās svara proporcijās: divas daļas galvas, divas daļas ādas/kaulu maisījuma, viena daļa zarnu (pamatojoties uz praktisko zivju apstrādes metodi). M1 vidējais BMP 37 °C temperatūrā attiecīgi 662 L CH<sub>4</sub> kgVS un 642 L CH<sub>4</sub> kgVS. M2 vidējais BMP augstā temperatūrā bija 693 L CH<sub>4</sub> kgVS un 670 L CH<sub>4</sub> kgVS zemā temperatūrā. M3 vidējais BMP augstā temperatūrā bija 638 L CH<sub>4</sub> kgVS un 647 L CH<sub>4</sub> kgVS 23 °C temperatūrā. Kā gaidīts, vidējais BMP bija aptuveni 660 L CH<sub>4</sub> kgVS, kas ir līdzīgs galvas, ādas un zarnu BMP matemātiskajam vidējam rādītājam. Citi autori ziņo par līdzīgiem rezultātiem attiecībā uz Klusā okeāna jūras asara, Nīlas asara, makreles atkritumiem, kas svārstās no 562 līdz 777 L CH<sub>4</sub> kgVS [76, 77]. Pēc 14 dienu ilga inkubācijas perioda mencu gaļas un zarnu maisījuma BMP bija 503–533 L CH<sub>4</sub> kgVS [78]. 37 °C paraugiem galvenā produkcija bija vērojama pirmajās 7–9 dienās, kas veidoja 95 % no kopējā BMP. Savukārt zemas temperatūras apstākļos galvenā biometāna ražošana bija vērojama pirmajās 14–16 dienās, kas veidoja 94 % no kopējā BMP. Līdzīga tendence attiecībā uz zivju atkritumiem, kas rada visaugstāko ražošanas ātrumu, tika konstatēta arī pētījumā [79], kur augstākais biogāzes ražošanas ātrums termofilajos apstākļos (50 °C) tika sasniegts 10. dienā, salīdzinot ar 17 dienām mezofilajos (35 °C) apstākļos. Ņemot vērā šī pētījuma rezultātus, zemas temperatūras zivju atkritumu anaerobai fermentācijai būtu lietderīgāk izmantot 15 dienu *HRT*, nevis 30 dienu *HRT*, jo šajā īsajā laikā tiek sasniegti vairāk nekā 94 % BMP.

### 3.1.3. Parasto niedru novērtējums lietošanai produktu ražošanā

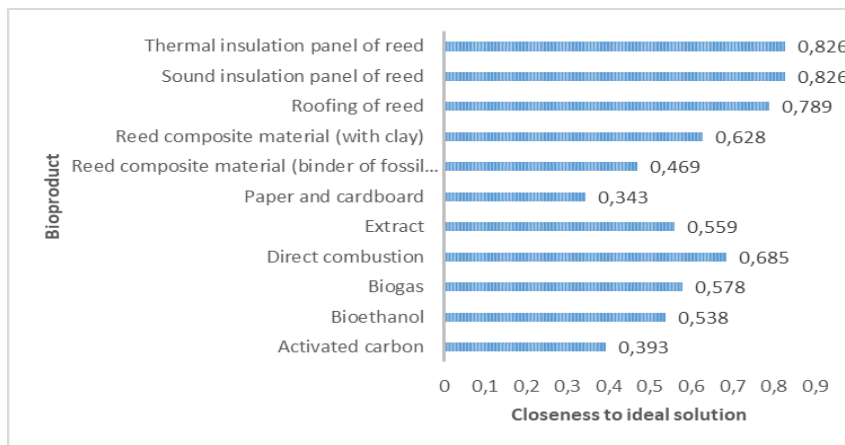
Niedres ir nenovērtēts bioresurss, ko varētu izmantot bioproduktu ražošanai un iegūt pievienoto ekonomisko vērtību. Pastāv vairākas neatbilstības resursu pieejamības un kvalitātes ziņā, tāpēc vislabāk būtu izmantot niedres kā citu bioresursu aizstājēju produktu ražošanai. Lai noteiktu perspektīvākos produktus, izmantojot daudzkritēriju analīzi, tika izpētīti 11 produkti:

- |   |  |
|---|--|
| 1) niedru siltumizolācijas panelis;       | 5) niedru un māla kompozīts;                   |
| 2) skaņas izolācijas panelis no niedrēm;  | 6) niedru un fosilo resursu kompozītmateriāls; |
| 3) niedru jumta segums;                   | 7) biogāze;                                    |
| 4) niedru degviela tiešai sadedzināšanai; |  |

- 8) ekstrakts;  
9) bioetanolis;

- 10) aktivētā ogle;  
11) papīrs un kartons.

Daudzkritēriju analīzes rezultāti apkopoti 3.2. attēlā. Būvniecības nozarei tika analizēti pieci produkti, no kuriem vienlīdz labi un daudzsoļīgi bija niedru skaņas vai siltumizolācijas paneļi, bet visnenākais un visvairāk izmantotais niedru veids – niedru jumta seguma produkts. Niedru kompozītmateriālu ražošana ar fosilas izcelsmes saistvielu noteikti nav atbalstāma, jo šī produkta ražošana neatbilst vides aizsardzības prasībām.



3.2. att. Produkta no niedrēm novērtēšanas rezultāti izmantojot daudzkritēriju analīzi.

Enerģētikas nozarē tika analizēti trīs produkti, no kuriem labākais rezultāts bija niedru degviela tiešai sadedzināšanai. Galvenokārt tāpēc, ka šim produktam nepieciešamas salīdzinoši nelielas investīcijas, jo ražošanas process ir vienkāršāks. Kategorijā “Citi produkti” tika iekļauti tikai trīs produkti. Vislielākais potenciāls ir niedru ekstraktam. Šajā gadījumā niedru ekstrakta ražošanai tiek izmantota ekstrakcijas ūdenī tehnoloģija bez ķīmisko vielu pievienošanas. Jāatzīmē, ka šim produktam ir vislielākā pievienotā vērtība no visiem analizētajiem, jo to var izmantot farmācijā un kosmētikā un tā ražošana atbilst bioekonomikas principiem. Salīdzinot visus 11 analizētos produktus no niedrēm, visperspektīvākie produkti atbilstoši vides aizsardzības prasībām ir niedru paneļi siltumizolācijai un skaņas izolācijai un niedru jumti. Pirmie trīs produkti ar augstāko novērtējumu daudzkritēriju analīzē ir būvniecības nozares produkti. Tie nav produkti ar visaugstāko pievienoto vērtību, bet jebkurā gadījumā no vides un klimata viedokļa tie ir labāki nekā enerģētikas nozares produkti, jo tie var aizstāt produktus, kas ražoti no fosilā kurināmā un uz laiku uzkrāj oglekli, lai tas nenonāktu vidē un neveicinātu klimata pārmaiņas. Lai pilnīgāk novērtētu perspektīvāko produktu atbilstību vides aizsardzības prasībām, būtu nepieciešams veikt un salīdzināt to aprites cikla analīzi, lai noteiktu to ilgtermiņa ietekmi uz klimatu un vidi. No uzņēmējdarbības viedokļa perspektīvākajiem produktiem nepieciešama arī detalizēta ekonomiskā un tirgus analīze. Rezultāti liecina, ka, ņemot vērā vides aizsardzības prasības, visperspektīvākie produkti ir tie, kuru ražošanai nepieciešamas sausas, ziemā pļautas niedres. Tas savukārt nesakrīt ar niedrāju platību apsaimniekotāju interesēm, kuri vēlas samazināt šīs platības, tāpēc pļaušana tiek veikta vasarā, veģetācijas periodā. Lai rastu risinājumu, nepieciešama plānota un pārdomāta niedrāju platību apsaimniekošana. Tas ietvertu tās platības, kurās nepieciešams likvidēt niedrāju audzes, pļaut vasarā, bet pārējās – ziemā, lai

nodrošinātu resursa pieejamību ilgtermiņā. Vairāku kritēriju analīzes izmantošana ir stratēģija, kas ietaupa laiku, lai izvēlētos optimālo bioproduktu analīzei. Labāki dati dod precīzākus rezultātus, tomēr, novērtējot šo datu kvalitāti, izšķiroša nozīme ir eksperta viedoklim.

## 3.2. Pētīto tehnoloģiju analīze

### 3.2.1. Lipīdu izdalīšana no zivīm ar zaļajām ekstrakcijas metodēm

Lai gan zaļās ekstrakcijas metodes var nodrošināt tādu pašu produktu vai kvalitāti, zaļajām metodēm, tāpat kā tradicionālajām, ir arī trūkumi (3.4. tab.). Pazīstamākā zaļās ekstrakcijas metode ir superkritiskā šķidrums ekstrakcija (*SFE*), kurā kā šķīdinātāju galvenokārt izmanto  $\text{CO}_2$ .  $\text{CO}_2$  ir tradicionālākais *SCF* šķīdinātājs, jo tas ir viegli pieejams par zemu cenu, nedeg, tam ir zema toksicitāte, augsta difūzija un regulējama šķīdinātāja jauda. Salīdzinot ar citiem šķīdinātājiem,  $\text{CO}_2$  ir viegli kritiskie apstākļi ( $T_c = 303,9 \text{ K}$ ,  $P_c = 7,38 \text{ MPa}$ ) [80]. Četri galvenie faktori, kas ietekmē *SCF*– $\text{CO}_2$  ekstrakciju, ir spiediens, temperatūra, laiks un  $\text{CO}_2$  ekstrakcijas plūsmas ātrums [81–83] kā arī ekstrakcijas veids: nepārtraukta, līdzšķīdinātāja, mērcēšanas, spiediena svārstību ekstrakcija [84]. Galvenais *SCF*– $\text{CO}_2$  ekstrakcijas ierobežojums ir tās zemā polaritāte.  $\text{CO}_2$  ir labs šķīdinātājs nepolāriem (lipofiliem) savienojumiem. Piemēram, apstrādājot heka (*Merluccius Merluccius* – *Merluccius paradoxus*) atgriezumus, var iegūt aptuveni 10 g eļļas/100 g sausās izejvielas, bet trekno zivju sugas, piemēram, *Salmo Salar* un *Hoplostethus atlanticus* atgriezumi nodrošina lielākus daudzumus – attiecīgi 40 g un 50 g eļļas un 100 g sausās izejvielas [80]. Zivju biomasai nepieciešama pirmapstrāde – mitruma satura samazināšana zem 20 %. Lai samazinātu mitrumu, izmanto liofilizācijas metodi temperatūrā, kas ir zemāka par  $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ , lai gan daļiņu izmēra samazināšana būtiski neietekmē ekstrakcijas iznākumu [82].

Ekstrakcijā ar mikroviļņu palīdzību (*MAE*) izmanto mikroviļņus, lai uzsildītu šķīdinātājus, kas saskaras ar cieto matricu, lai ekstrahētu saturu no parauga šķīduma. Šis ekstrakcijas process joprojām tiek attīstīts, un tas ir jāuzlabo un jāpārbauda ar plašu paraugu matricu spektru [85]. Mikroviļņu ekstrakcijas pamatā ir princips, ka mikroviļņu sildīšanas sistēma ir ļoti selektīva un tā zaudē ļoti maz siltuma apkārtējā vidē. Tiešā sildīšana ietekmē polārus šķīdinātājus un/vai materiālus. Ja to izmanto biomasas paraugiem, tiek samazināts mitrums un rodas ievērojams spiediens, kas izjauc dzīvnieku vai augu šūnu sienīņu membrānas, atbrīvojot šūnās esošās vielas [86]. Pētījumā, kurā analizēts saldētu zivju tauku saturs, konstatēts, ka zivju eļļas ekstrakcija, izmantojot *MAE*, dod līdzīgu vai pat lielāku ieguves apjomu nekā tradicionālās ekstrakcijas metodes. Piemēram, *Ramalhosa* u. c. 2012 [85] izmantoja *CEM MARS-X 1500 W* ekstrakcijas iekārtu, lai iegūtu eļļu no garspuras, sardīnes un stavridas, kā šķīdinātāju izmantojot petrolēteri : acetonu (2 : 1, v/v), ekstrakcijas iznākums (izejviela) svārstījās no 4,5 % sardīnēm līdz 9 % garspurām. Pirms ekstrakcijas zivis homogenizēja blenderī [87].

Jaunākos pētījumos ir pierādīts, ka ekstrakcija ar ultraskaņas palīdzību, izmantojot akustisko kavitāciju un mehānisko iedarbību, var uzlabot ekstrakcijas efektivitāti. Akustiskā kavitācija var izjaukt šūnas sienīņu, atvieglojot šķīdinātāja iekļūšanu augu materiālā un ļaujot šūnai izdalīt produktu. Ultraskaņas mehāniskā iedarbība nodrošina šķīdinātāju labāku iekļūšanu parauga matricā, jo tā palielina šķīdinātāja un ekstrahējamo savienojumu kontaktvirsmas laukumu [88]. Ultraskaņas frekvences ir augstākas par cilvēka dzirdes līmeni, sākot no 20 kHz



līdz 10 MHz. Ultraskaņu klasificē pēc vairākiem kritērijiem: radītās enerģijas daudzums, ko raksturo skaņas jauda (W), skaņas intensitāte ( $W/m^2$ ) vai skaņas jaudas blīvums ( $W/m^3$ ). Ultraskaņu var iedalīt divos veidos: augstas intensitātes un zemas intensitātes. Zemas intensitātes ultraskaņai ir augsta frekvence (100 kHz līdz 1 MHz) un zema jauda  $<1 W/cm^2$ , to izmanto nedestruktīvās analīzēs un kā analītisku metodi kvalitātes novērtēšanai, lai sniegtu informāciju par pārtikas produktu fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām (piemēram, cietību, gatavību, cukura saturu, skābumu). Lai gan augstas intensitātes ultraskaņai ir zema frekvence (100 kHz – 16 kHz) un liela jauda ( $10–1000 W/cm^2$ ), tā ir ļoti efektīva [89]. Vairākos pētījumos ir kritiski izvērtēti dažādi ultraskaņas lietojumi bioaktīvo materiālu rūpnieciskajā ekstrācijā [89, 90].

3.2. tabula

Zaļās ekstrākcijas metožu pārskats zivju eļļas ekstrācijai

Ekstrākcijas metodes nosaukums	Priekšrocības (A) un trūkumi (D)	Galvenie ekstrākciju ietekmējošie parametri (P) un ekstrākcijas nosacījumi (C)
Superkritiskā fluīdu ekstrākcija ( <i>SCF-CO<sub>2</sub></i> ) [91, 92]	(A) Ātra. Nav nepieciešams organiskais šķīdinātājs, tāpēc ekstrakts ir ļoti tīrs. Nesatur smagos metālus un neorganiskos sāļus. Nav polāro vielu, polimēru veidošanās iespēju. Augsts produktivitāte. Lipīdus var nekavējoties izmantot turpmākai analīzei. Zema darba temperatūra (40–80 °C). (D) Ļoti dārgas un sarežģītas iekārtas, kas darbojas pie paaugstināta spiediena. CO <sub>2</sub> ir ļoti selektīvs – netiek ekstrahētas polārās vielas. Nepieciešama tīrs CO <sub>2</sub> . Liels enerģijas patēriņš.	(P) Ūdens saturs, temperatūra, spiediens. CO <sub>2</sub> plūsma. Ekstrākcijas veids: nepārtraukta, ar līdzšķīdinātāju, mērcēšana, spiediena svārstības.  (C) Spiediens 25–40 MPa, temperatūra 40–80 °C, >2 mL CO <sub>2</sub> /min, mērcēšanas laiks 45 min–6 h.
Ekstrākcija ar mikroviļņu palīdzību (MAE) [82–84]	(A) Samazināts ekstrākcijas laiks un šķīdinātāja patēriņš; lielāka izvēlēta šķīdinātāja iekļūšana šūnu materiālā un labāka šūnu satura izdalīšanās vidē. Nepietiekama siltuma zudumi apkārtējā vidē. Lielāks ekstrākcijas ātrums, zemāka temperatūra. (D) Liels enerģijas patēriņš. Karsēšana ietekmē tikai polārus šķīdinātājus un/vai materiālus. Grūti palielināt. Siltuma veidošanās, kas var izraisīt nepiesātināto taukskābju oksidāciju; zema efektivitāte, ja izmanto gaistošus šķīdinātājus.	(P) Daļiņu izmērs, izmantotais šķīdinātājs, laiks, jauda un mikroviļņu frekvence.  (C) 110–2450 W, vide – ūdens vai organiskais šķīdinātājs.
Ekstrākcija ar ultraskaņas palīdzību (UAE) [93,94]	(A) Samazināts ekstrākcijas laiks un šķīdinātāja patēriņš, lielāka izvēlēta šķīdinātāja iekļūšana šūnu materiālā un labāka šūnu satura izdalīšanās vidē. (D) Liels enerģijas patēriņš. Grūti palielināt.	(P) Ultraskaņas frekvence, jauda, laiks un vide. (C) 25 kHz, 200–2450 W, 30–60 min sonikācijas laiks. Vide – etanols, cikloheksāns, citi organiskie šķīdinātāji.
Enzimātiskā hidrolīze [95,96]	(A) Nav nepieciešams organiskais šķīdinātājs. Komerciālās lētās proteāzes izmantošana ir pievilcīga alternatīva. (D) Dārgi/grūti paplašināt.	(P) Proteāzes tips, aktivitāte un daudzums. pH. Endogēno enzīmu neesamība. (C) 1–4 h temperatūrā 40–60 °C, E/S attiecība ~ 0,5–5 %.

Salīdzinot ar citām promocijas darbā aplūkotajām metodēm, enzimatiskā hidrolīze ir daudz plašāk pētīta. Enzimātiskā hidrolīze ir termins, ko lieto, ja enzīmi ir iegūti no citiem avotiem. Eksogēnu enzīmu pievienošana padara hidrolīzes procesu labāk kontrolējamu un reproducējamu. Tādējādi enzimatiskā hidrolīze ir ideāls veids, kā iegūt eļļu un olbaltumvielas no zivju un zivsaimniecības pārstrādes atkritumiem. Procesā izmantotajiem fermentiem un zivīm ir viena kopīga iezīme – tiem jābūt pārtikas kvalitātes, un, ja fermentiem ir mikrobiāla izcelsme, tie nedrīkst būt patogēni. Vairumā gadījumu hidrolīzei izmanto sārmainas/neitrālas proteāzes, jo tās dod labākus rezultātus nekā skābes proteāzes. Pirms ekstrakcijas eksogēnie fermenti jādeaktivē, karsējot aptuveni 80–90 °C temperatūrā un pielāgojot pH. Eļļas atgūšanas iznākums ir atkarīgs no izmantotās proteāzes, tās aktivitātes, koncentrācijas, pH, temperatūras un daļiņu lieluma. Ir ziņots, ka, salīdzinot ar tradicionālo termisko ekstrakciju, enzimatiskā hidrolīze ir labāka eļļas atgūšanā un konkurē ar ekstrakciju ar šķīdinātāju [88, 90, 95, 96]. Saskaņā ar empīriskiem pētījumiem zaļās ekstrakcijas metodes ir lielisks tradicionālo ekstrakcijas metožu aizstājējs. Iegūtās zivju eļļas daudzums un kvalitāte ir salīdzināmi vai pat pārāki.

### 3.2.2. Makroaļģu vērtīgo savienojumu ekstrakcijas tehnoloģijas

Izvēloties piemērotas aļģes pārtikas, barības un degvielas ražošanai, jāņem vērā šādi kritēriji: pastāvīgi un stabili aug (atklātā dīķī/jūrā); ražo lielu biomasas daudzumu; ražo augstas kvalitātes un relatīvi pastāvīgas sastāvdaļas ar vēlamu uzturvērtību; izdzīvo un aug sezonāli un ar ikdienas vides pārmaiņām; augsta fotosintēzes efektivitāte un enerģijas pārveides ātrums; nodrošina minimālu nefūrumu no pieķeršanās videi; viegli savāc un ekstrahē vielas [97]. Saskaņā ar *HELCOM* datiem Baltijas jūrā biomasas ieguvei ir pieejamas šādas jūras aļģu sugas: *Furcellaria lumbricalis*, *Fucus vesiculosus*, *Cladophora aegagrophila*, *Laminaria digitata*, *Chorda filum*, *Fucus serratus*, *Chorda tomentosa*, *Fucus spiralis*, *Laminaria sacchari* [98]. Lai palielinātu jūras aļģu ekstrakcijas efektivitāti un iegūtu augstākās kvalitātes produktu, ir vairāki posmi. Jaunie paņēmieni būtiski uzlabo esošās tehnoloģijas, un to pamatā ir fizikālo parādību (spiediens, elektriskais lauks, ultraskaņa, mikroviļņi) un bioloģisko (enzīmi) iedarbību uz matricu izmantošana [99]. Tieši pirms bioaktīvo vielu ekstrakcijas biomasa ir jāapstrādā, lai iegūtu maksimālu iznākumu. Saskaņā ar pašreizējām tendencēm ekstrakcijas procesā izmantotajam šķīdinātājam jābūt lētam un netoksiskam [100]. Pamatojoties uz literatūrā pieejamajiem datiem par bioaktīvo savienojumu ekstrakciju no dažādām matricām, ir izmantotas vairāku veidu ekstrakcijas metodes. Pastāvošās parastās ekstrakcijas metodes ir šādas: (1) hidrodestilācija; (2) Soksleta ekstrakcija; (3) macerācija; (4) perkolācija; (5) infūzija; (6) novārījums; (7) karstā nepārtraukta ekstrakcija [101]. Šo metožu efektivitāte ir atkarīga no dažādiem ietekmējošiem parametriem, piemēram, šķīdinātāja īpašībām (polaritātes, toksiskuma, svārstīguma, viskozitātes, tīrības), parauga lieluma un koncentrācijas, daļiņu lieluma, laika un ekstrakta polaritātes [102, 103]. Tradicionālo metožu trūkumi ir ilgs ekstrakcijas laiks, ļoti augstas tīrības pakāpes šķīdinātāju nepieciešamība, enerģijas patēriņš, kas saistīts ar liela šķīdinātāja daudzuma iztvaicēšanu, relatīvi zems ekstrakcijas iznākums, izmantoto komponentu selektīva un termolabila sadalīšanās [104].

Bioloģiski aktīvo savienojumu ekstrakciju no makroaļģēm var veikt ar jaunām metodēm. Šīs metodes bieži tiek dēvētas par zaļajām metodēm. Zaļajām metodēm ir vairākas

priekšrocības, salīdzinot ar tradicionālajām, tostarp mazāks izmantotā šķīdinātāja daudzums (arī – tā reģenerācija), īsāks ekstrakcijas laiks, tehnoloģiskā veiktspēja zemākā temperatūrā. Metodēm piemīt arī uzlabota selektivitāte vēlamu savienojumu izolēšanai, vienlaikus izvairoties no blakusproduktu veidošanās ekstrakcijas laikā un nelabvēlīgām reakcijām [105]. Lielākā daļa turpmāk uzskaitīto ekstrakcijas metožu tiek uzskatītas par zaļām, jo tās atbilst standartiem, kas ir izkristalizējušies zaļās ekstrakcijas jomā [106, 107]. Salīdzinot ar tradicionālajām ekstrakcijas metodēm, inovatīvo ekstrakcijas metožu galvenās priekšrocības ir augstāka efektivitāte, ūdens izmantošana, atjaunojamās izejvielas, videi draudzīgāki apstrādes apstākļi, ievērojami samazināta bīstamo ķīmisko vielu izmantošana, drošāki līdzšķīdinātāji, energoefektivitāte, samazināts atvasinājumu daudzums [101]. Pamatojoties uz pārskatītajiem dokumentiem [100, 101, 103–105, 108–111], ir sešas jaunas metodes biomolekulu ekstrakcijai no jūras aļģēm:

- a) superkritiskā šķīduma ekstrakcija (*SFE*)–SC-CO<sub>2</sub>;
- b) ekstrakcija ar mikroviļņu palīdzību (*MAE*);
- c) ekstrakcija ar ultraskaņas palīdzību (*UAE*);
- d) augstspiediena metodes (*HPM*);
- e) jonu šķīdumu ekstrakcija (*ILE*);
- f) ekstrakcija ar fermentu palīdzību (*EAE*);
- g) pulsējošā elektriskā lauka ekstrakcija (*PEF*).

### 3.2.3. Pieeja zivju pārstrādes atkritumu anaerobās fermentācijas procesu modelēšanai

Zivju atkritumi ir cieto un šķidro atkritumu maisījums [112]. Esošie pētījumi liecina, ka zivju atkritumu pārstrādei un līdzsadalīšanai ir ļoti labs potenciāls biometāna ražošanai. Zivju atkritumu anaerobās fermentācijas pētījumi liecina, ka potenciāls ir no 0,2 līdz 0,9 CH<sub>4</sub> m<sup>3</sup> /kg pievienotā VS (3.6. tab.). Biogāzes ražošana, izmantojot anaerobo fermentāciju, ir saistīta ar dažādu substrātu ar dažādām īpašībām izmantošanu, tomēr zivju pārstrādes atkritumi rada atšķirīgu tehnoloģisku problēmu. Zivju atkritumi fermentācijas laikā izdala lielu daudzumu amonjaka, kas kavē substrātu fermentāciju [113]. Augsta amonjaka koncentrācija var izraisīt *VFA* uzkrāšanos (partijas testos – etiķskābe kā galvenais veids). Atkarībā no reaktora tipa un organisko vielu slodzes ātruma var kavēt procesu, jo īpaši, ja substrātā ir ļoti augsts eļļu saturs [114]. Divu dažādu substrātu kopēja fermentācija ir tehnoloģisks risinājums vai vismaz mazina šo problēmu. Pašreizējā praksē kofermentāciju izmanto tad, ja reaktorā apvieno divus dažādus substrātus (kosubstrātus), lai palielinātu organisko vielu saturu un tādējādi panāktu lielāku biogāzes ražošanu. Lauksaimniecības atkritumu plūsmām ir milzīgs enerģijas ražošanas potenciāls, gan izmantojot sausās atliekas tiešā sadedzināšanā, gan izmantojot sausās vai mitrās atliekas anaerobajā fermentācijā biometāna ražošanai. Tiek lēsts, ka pasaulē kopumā tiek saražoti miežu, maizes, rīsu, sojas pupiņu, cukurniedru un kviešu lauksaimniecības atlikumi 3,7<sub>-1,0</sub><sup>+1,3</sup> Pg sausnas gadā [115].

## Zivju atkritumu anaerobā fermentācija

Atkritumu veids (substrāts)	Inkubācijas laiks (dienas)	BMP	Atsauce
Laša galvas	33	0,828 ± 0,15 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[71]
<i>FW</i>	36	B/M attiecība 0,2 ar kopējo maksimālo metāna iznākumu 0,165 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg I piev. COD <sub>Mn</sub>	[116]
<i>FW</i>	25	0,39 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[62]
Nīlas asara atliekas	42	0,50–61 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[77]
<i>FW</i>	15	180 mL/kg of waste	[117]
Medūza <i>Aurelia aurita</i>	–	121,35 mL/g and 870,12 mL/g	[118]
Tunzivis, sardīnes, makreles atliekas	67	0,47–0,59 g COD-CH <sub>4</sub> /g COD piev.	[119]
<i>FW</i>	67	0,453–0,554 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[120]
<i>FW</i>	–	0,380–0,920 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[78]
Apaļo jūrasgrunđu atliekas	–	0,520–0,922 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[121]
Zivju atlikumu kofermentācija			
Substrāta veids		BMP	Atsauce
<i>FWS</i> : <i>JA</i> 1 : 1		0,531 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[71]
<i>SE</i> : <i>FCIW</i> 94 : 6		0,205 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[122]
<i>FW</i> : <i>SP</i> 33:67		0,62 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[62]
<i>FW</i> : <i>CM</i> 1:1,2		1950 mL CH <sub>4</sub> /kg no atlikumu (biogāze)	[117]
<i>FW</i> : <i>WH</i> 1:2		0,408 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[123]
<i>FW</i> : <i>BWS</i> 20 : 80 (% TS)		0,482 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[76]
<i>CM</i> : <i>CI</i> : <i>FS</i> 45 : 22 : 33		0,533 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[78]
<i>FWS</i> : <i>CM2</i> 16 : 86		0,400 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg VS piev.	[124]
<i>FW</i> – zivju atkritumi, <i>FWS</i> – zivju atkritumu skābarība, <i>CM</i> – mencu gaļa, <i>CI</i> – mencu zarnas, <i>WH</i> – ūdens hiacintes, <i>SP</i> – sizāla masa, <i>CD</i> – govju mēsli, <i>SE</i> – zemeņu ekstrakts, <i>JA</i> – topinambūri, <i>FCIW</i> – zivju konservu rūpniecības atkritumi, <i>CM2</i> – govju mēslojums, <i>BWS</i> – maizes atkritumu skābarība.			

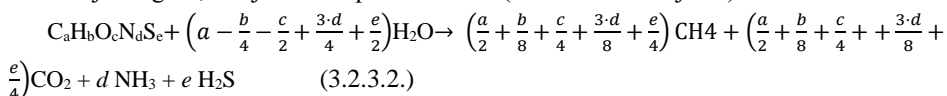
Modeļa izstrādes nepieciešamību noteica fakts, ka anaerobā fermentācija ir sarežģīta procesu grupa un nav universāla modeļa dažādu substrātu anaerobās fermentācijas prognozēšanai/analīzei. Tuvākais universālajam modelim ir Starptautiskās Ūdenssaimniecības asociācijas (*IWA*) izstrādātais anaerobās fermentācijas 1. modelis (*ADMI*). Tas tika izstrādāts no 1997. līdz 2002. gadam. Šis modelis tiek plaši izmantots, modificēts un apstiprināts, lai simulētu dažādu organisko atkritumu fermentāciju. Modelis ietver vairākus posmus, kas apraksta fizioloģiskos un bioķīmiskos procesus. Tas sastāv no sarežģītas reakciju kinētikas un daudzām vienlaicīgām un secīgām reakcijām, kas galvenokārt tiek klasificētas kā fizikāli ķīmiskas vai bioķīmiskas. Šāda modeļa sarežģītības dēļ ir nepieciešami daudzi ieejas parametri, kas rada lielu skaitu stehiometrisko un kinētisko vienādojumu, kuru identificēšana un manipulēšana var izrādīties sarežģīta. Ņemot vērā to, ka *ADMI* izklāstītie modeļi un citi kinētiskie modeļi, kas aprakstīti *Kytheotou* u. c., 2014 [125], ir nepieciešams liels specializētu datu apjoms, tie nav pieejami lauksaimniekiem un citām ieinteresētajām personām ar ierobežotām zinātniskajām zināšanām par anaerobo fermentāciju. Ņemot vērā pieaugošo

interesi par anaerobo fermentāciju, ir jāpalielina substrātu klāsts un biogāzes ražošanu skaits, lai tās varētu izmantot atkritumu pārstrādē, atjaunojamās enerģijas ražošanā un siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanā [125].

Pirmais posms ir salīdzinoši vienkāršu sadalīšanās reakciju matemātiskais apraksts. Potenciālo biogāzes iznākumu konkrēta veida substrāta anaerobās fermentācijas procesā un saražotās gāzes sastāvu var teorētiski noteikt pēc izmantoto substrātu ķīmiskā sastāva. Metāna ražošana galvenokārt ir atkarīga no organisko substrātu (neapstrādātas šķiedras, neapstrādātas olbaltumvielas, neapstrādātas olbaltumvielas, N nesaturoši ekstrakti) barības vielu satura, kas var sadalīties līdz CH<sub>4</sub> un CO<sub>2</sub>. No barības vielu satura ir atkarīga noārdīšanās spēja un līdz ar to – arī metāna iznākums, ko var iegūt anaerobās fermentācijas procesā. Šo barības vielu īpatnējā metāna iznākuma rādītāji atšķiras – jēltauki (850 l kg VS), jēlproteīns (490 l kg VS) un ogļhidrāti (jēlšķiedra un N nesaturoši ekstrakti, 395 l kg VS) [126]. Saskaņā ar *Buswell* un *Mueller*, 1952 [127], metāna un oglekļa dioksīda iznākumu var aprēķināt ar aptuveni 5 % nenoteiktību, izmantojot 1. sakarību, ņemot vērā to, ka izmantotās organiskās vielas ķīmiskais sastāvs ir zināms. 1. attiecība neņem vērā baktēriju metabolismu – šūnu biomasas sintēzi un enerģiju augšanai un barošanai. Saskaņā ar 3.2.3.3.1. vienādojumu pilnībā noārdītās glikozes metāna frakcija ir 50 %.  $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CH_4 + 3CO_2$ .



Kā zināms, organiskās vielas nesastāv tikai no oglekļa, ūdeņraža un skābekļa. Tāpēc 25 gadus vēlāk *Boils*, 1977 [128], parādīja modificētu 1. sakarību, kurā organiskās vielas sastāvā iekļauts slāpekļis un sērs. Tas ļāva aprēķināt amonjaka un sērūdeņraža frakciju saražotajā biogāzē, kas jānovērtē pēc attiecības (3.2.3.2. vienādojums).



*Amon* u. c., 2007 [129] piedāvā modeli, kas tika izstrādāts, veicot pilnas regresijas modeļu daudzfunkcionālo analīzi, kurā, izmantojot regresijas modeļus, novērtēja metāna iznākumu no enerģētisko kultūraugu substrāta sastāva monofermentācijas procesā. Galvenokārt tajā ņemta vērā jēlšķiedras, jēlproteīna, jēltauku, nerafinēto tauku, N nesaturošu ekstraktu satura ietekme uz metāna veidošanos, izmantojot šādu vienādojumu:

$$\begin{aligned} &MEV (I_N CH_4 \text{ kg}^{-1} \text{ VS}) \\ &= x1 \times \text{jēlproteīns (XP) (sators \% DM)} \\ &+ x2 \times \text{neapstrādātie tauki (XL) (sators \% DM)} \\ &+ x3 \times \text{jēlšķiedra (XF) (sators \% DM)} \\ &+ x4 \times \text{neapstrādāti bez N ekstrakti (XX) (sators \% DM) [30].} \end{aligned} \quad (3.2.3.3.)$$

Nākamais posms modeļa izstrādē būtu analizēt anaerobās fermentācijas kinētiku, ņemot vērā mikroorganismu augšanu, substrāta sadalīšanos un produktu veidošanos. Procesu kopumu var iedalīt nepārtrauktā un pārtrauktā atkarībā no substrāta piegādes. Nepārtrauktos procesos substrāts nepārtraukti ieplūst un izplūst no sistēmas, kā rezultātā rodas process ar nemainīgu substrāta plūsmu un gāzes ražošanu (līdzsvars). Tāpēc mikroorganismu augšanas prasības laika gaitā nemainās. Molekulārās noārdīšanās procesu kontrolē baktēriju augšanas kinētika, un tas lielā mērā ir atkarīgs no augšanas vides. Nepārtrauktos procesos baro tikai vienu reizi. Līdz ar to gāzu ražošana un substrāta noārdīšanās aiztures laikā mainās un mikroorganismu augšanas prasības mainās pastāvīgi. Nepārtraukta vai pārtraukta procesa substrāta bilanci var izteikt šādi:

$$dS/dt = D \cdot S_0 - D \cdot S + (dS/dt)_r \quad (3.2.3.4.)$$

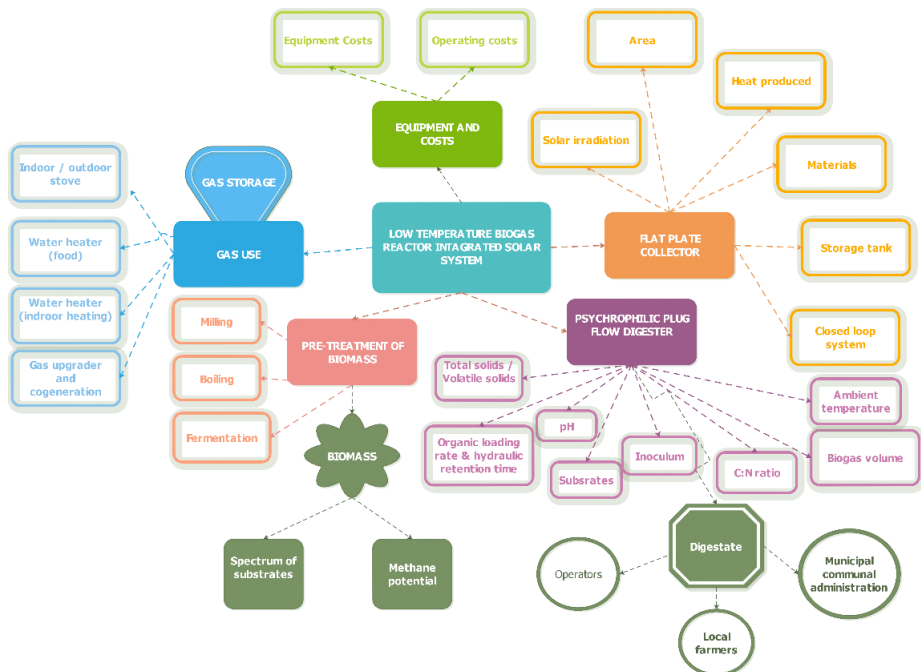
akumulācija ievades izvades reakcija

kur  $dS/dt$  – akumulācijas ātrums (substrāta koncentrācijas izmaiņas laikā);  $D$  – atšķaidīšanas ātrums (plūsma uz reaktora tilpumu, 1/h);  $S$  – substrāta koncentrācija;  $S_0$  – sākotnējā substrāta koncentrācija;  $(dS/dt)_r$  – reakcijas ātrums [125].

### 3.2.4. Mazs psihrofilais plūsmas reaktors ar saules siltuma atbalstu

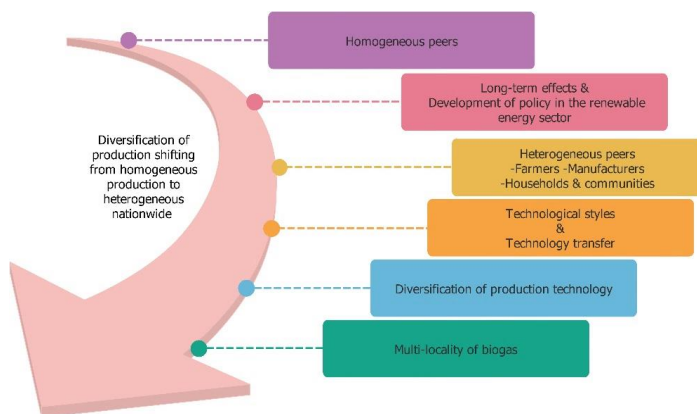
Psihrofilā anaerobā fermentācija ar saules siltuma atbalstu ir veids, kā maksimāli palielināt metāna saturu un samazināt organisko vielu daudzumu digestātā. Tehnoloģija ir paredzēta bezpeļņas un pašpatēriņa mērķiem. Promocijas darbā tika apvienota biogāzes kā galvenā atjaunojamā enerģijas avota ražošana mazos un vidējos apjomos ar saules kolektoru kā papildu siltumu. Tā efektīvāka un ātrāka alternatīva atkritumu kompostēšanai un labākai bioloģiski noārdāmo atlikumu apsaimniekošanai. Sistēma sastāv no piecām galvenajām sastāvdaļām: biomasa – pirmapstrāde un izejviela, digestāts, psihrofilais fermentators, saules kolektora iekārta, gāzes izmantošana (3.3. att.). Saules kolektora siltums sildīs reaktoru, ja tas nav nepieciešams, akumulatora sildīšanai. Ja nepieciešams, bioreaktora apsildei var izmantot malkas katlu.

Biogāzes ražotāji un lietotāji darbojas daudzvietīgā sistēmā. Autors lieto terminu “daudzvietīgs” (multilokalitāte), lai apzīmētu tehnoloģiju, risinājumu, lietojumu un mērogu daudzveidību noteiktā teritorijā vai reģionā. Biogāzes integrāciju veicinās biorafinēšanas koncepciju attīstība – paplašināsies darbības joma, palielināsies dalībnieku un izejvielu skaits. Pētījumi, kur tiek apsvērti tehnoloģiskie un ekonomiskie nosacījumi, ir neskaidri saistīti ar sociālajiem apstākļiem, tādējādi šie pētījumi var būt ļoti subjektīvi zinātniskajā nozīmē un nevar tikt izmantoti kā pamats politisku lēmumu pieņemšanai. Lai izstrādātu nozares politiku, pētniekiem būtu jāreķinās ar daudziem tehnoloģiskajiem stiliem, biogāzes sistēmu pētījumiem [130].



3.3. att. Zemas temperatūras biogāzes ražošanas sistēmas ar integrētu saules siltumu galvenās sastāvdaļas.

Atjaunojamo energoresursu nozares politikas un atbalsta mehānismu izstrādei ir nepieciešama daudzveidīgas biogāzes ražošanas ieviešana, starpdisciplināra un lietojama zinātniskā izpēte, tostarp visaptveroši (sociālie) un nozaru (ekonomiskie) priekšnosacījumi. Biogāzes ražošanas un izmantošanas potenciāls pasaulē ir ļoti liels. Patlaban tiek izmantota tikai neliela pieejamo resursu daļa. Biogāzes ražošanas dažādošana ar saules kolektoru atbalsta sistēmu ir veids, kā veicināt un uzlabot biogāzes ražošanu un kopumā atjaunojamās enerģijas izmantošanu reģionā (3.4. att.) [131].



3.4. att. Inovāciju izplatīšana biogāzes ražošanas dažādošanai un palielināšanai.

Lai izveidotu saules apsildes sistēmu Latvijai, ir jāapkopo laikapstākļu dati par konkrētu vietu. Vispirms nepieciešams iegūt datus par saules starojumu (globālo, difūzo un tiešo), citiem vides faktoriem, piemēram, āra temperatūru, relatīvo atmosfēras mitrumu un vēja ātrumu. Mēreno meteoroloģisko apstākļu dēļ reaktora pārtraukumi iespējami ziemā, kad nepieciešama ārējā apkure, visticamāk, pārtraukums varētu būt no janvāra sākuma līdz martam. Prakse rāda, ka veiksmīgam reaktoram jāspēj uzņemt pietiekami daudz biomasas. Reaktoram kā dažādu mikroorganismu mikrobioloģiskās augšanas un vairošanās ekosistēmai jābūt stabilam, materiālu un enerģijas plūsmai vienmērīgai un efektīvai. Mājsaimniecībai ir problemātiski izvēlēties vienu piemērotu fermentatora tipu. Konstrukcija ir atkarīga no ģeogrāfiskās atrašanās vietas, izejvielu pieejamības, klimatiskajiem apstākļiem un citiem apstākļiem. Uzmanība tiek pievērsta plūsmas fermentatoriem, jo tie ir viegli lietojami un pārvietojami [132]. Kādi materiāli tiks izmantoti biogāzes fermentatora būvniecībā, ir atkarīgs no vietējiem apstākļiem – ģeoloģiskajiem, hidroloģiskajiem un vietējiem pieejamajiem materiāliem [133]. Pēdējos gados, pateicoties tehnoloģiju attīstībai, ir izplatījušies materiāli ar uzlabotām īpašībām un zemākām izmaksām [132]. Šāda veida fermentatoru būvniecībā kā būvmateriālu izmanto akmeņus un ķieģeļus. Attīstoties tehnoloģijām, izmanto PVC un polietilēnu, jo tie ir lēti [134]. Kā liecina pētījumi par mājsaimniecību biogāzes fermentatoriem, psihrofilais biogāzes reaktors savā vienkāršākajā formā var būt plastmasas vai betona tvertne, kurā anaerobā vidē notiek organisko vielu sadalīšanās un biometāna veidošanās. Reaktora elementu izvēli nosaka materiālu pieejamība un cena. Mazākām mājsaimniecībām vai mājsaimniecību kopienām piemērotāki ir maza izmēra reaktori, ko var uzstādīt mājsaimniecības teritorijā un kas darbojas apkārtējās vides temperatūrā vai ar saules apkures atbalstu [132]. Bioreaktora un saules enerģijas komponentu raksturlielumi apkopoti 3.4. tabulā.

3.4. tabula

Bioreaktora un saules enerģijas komponentu raksturojums

Sastāvdaļa	Apraksts
Fermentācijas iekārtas tips	Plūsmas tipa fermentators
Fermentatora tilpums (vienai mājsaimniecībai)	4 m <sup>3</sup> (2 m <sup>3</sup> līdz 15 m <sup>3</sup> )
Garuma un platuma attiecība	3,5 : 1
Process	Divfāzu sistēma
Gāzes savākšana	Fermentatora augšējā daļa vai balons
Pārvietojamība	Pārvietojams
Ekspluatācija	Dalēji nepārtraukti
Hidrauliskās aiztures laiks	30–60 dienas
Cietās vielas saturs	7–14 %
Fermentācijas katla temperatūras diapazons	15–35 °C
Inokulāta avots	Notekūdeņu attīrīšanas iekārtas vai liellopu kūtsmēsli
Fermentācijas iekārta	Plastmasa
Barošanas tvertne	Metāls ar priekšattīrīšanas iekārtu
Sajaukšana	Nav
Digestāta uzglabāšanas tvertne	Metāls/betons
Caurules	Plastmasa, izolēts metāls



## 3.4. tabulas turpinājums

Fermentācijas iekārtas sildīšanas apvalks	Metāla caurules / vads
Izolācija	Kompozītmateriāls, akmens vai stikla vate, organiskā vate
<b>Izejviela</b>	
Ūdens avots	Lietusūdens tvertne / zemes
Apkures avots	Bez apkures vai saules kolektora / siltuma akumulatora
Priekšapstrāde	Malšana, vārīšana, ķīmiskā apstrāde, žāvēšana
Kosubstrāti Pārtikas atlikumi ( <i>FW</i> )	<u>Metāna potenciāls gaistošās cietvielās (<i>VS</i>) vai kopējās cietvielās (<i>TS</i>)</u>
Zivju atlikumi ( <i>FIW</i> )	Tika veikta līdzsadališana ar citiem substrātiem. 0,27–0,86 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / kg <i>VS</i> [135]
Dārza atkritumi ( <i>GW</i> )	Biometāna ražošanas potenciāls no 0,2 līdz 0,9 CH <sub>4</sub> m <sup>3</sup> /kg <i>VS</i> [136,137]
Govju mēsli ( <i>CM</i> )	0,10 ± 0,02 biogāze (m <sup>3</sup> /kg <i>VS</i> ) [8], [138] 0,6–0,8 m <sup>3</sup> /kg <i>TS</i> CH <sub>4</sub> /g <i>TS</i> [139]
Šķīduma uzglabāšana, organisko vielu saturs	Digestāta uzglabāšanas tvertne, organisko vielu saturs pēc fermentācijas ir mainīgs atkarībā no reaktora temperatūras un mikroorganismu specifiskās aktivitātes un citiem sarežģītiem faktoriem.
Saules kolektora tips	Plakanais kolektors
Saules starojums, gadā	950–1050 kWh/m <sup>2</sup>
Plakanplākšņu kolektors, modelis	Pēc izvēles
Kolektoru bruto platība	20 m <sup>3</sup>
Slīpuma leņķis pret horizontāli	34°
Sistēmas veids	Slēgta cikla sistēma
Leņķis	0°, dienvienu
Uzglabāšanas tvertne	Cilindriska tvertne
Siltummainis	Spirālveida spoles siltummainis
Siltuma pārnese šķidrums	Ūdens + glikols (aizsardzībai pret sasaldāšanu)
Kolektoru starpsavienojums	Paralēli savienots kolektoru bloks
Kontroles sistēmas	Sūkņi, regulatori, temperatūras kontrole
Pārvietojams	Jā
Saules siltuma izmantošana	Ūdens sildīšana dažādiem mērķiem

Mazs ražotājs, kas ražo dažādus pārtikas produktus, gadā saražo 47 tonnas bioloģiski noārdāmo produktu. 47 tonnas atkritumu, tas nozīmē, ka dienā tiek saražots līdz 130 kg pārtikas atkritumu. Rezultāti rāda, ka biometāna ražošana zemtemperatūras biogāzes reaktorā ir ar 53 dienu aiztures laiku (kofermentācijas režīmā, maksimālais bioreaktora izmērs – 14 m<sup>3</sup>). Teorētiski aprēķinātais *OLR* ir 1,72 kg *VS*/m<sup>3</sup> dienā, ņemot vērā to, ka plūsmas reaktori var izturēt *ORL* līdz 10 kg *VS*/m<sup>3</sup> dienā [63]. Tāpēc bioreaktora maksimālais izmērs ir samazināts trīs reizes līdz 4 m<sup>3</sup> ar *OLR* 6,88 kg *VS*/m<sup>3</sup> dienā. Vidējais biometāna iznākums pārtikas atkritumu un aktivēto dūņu līdzsadališanas procesā zemā temperatūrā ar substrāta aizturēšanu 28 dienas ir no 90 līdz 200 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t pārtikas atkritumu atkarībā no to veida un ūdens satura [79, 132, 140]. Šāda lieluma ražotne teorētiski varētu saražot aptuveni 20 000 m<sup>3</sup> biogāzes gadā, ja biomasa tiek pārstrādāta ar maksimālu efektivitāti. Atkarībā no izmantotās izejvielas un tās gaistošās cietās vielas biometāna saturs ir no 4230 m<sup>3</sup> līdz 14 800 m<sup>3</sup> gadā (3.5. tab.). Labākajā gadījumā šāda izmēra sistēma maksimāli efektīvā režīmā saražotu 27,5–96,2 MWh siltuma gadā. Hibrīdsistēmas siltumenerģiju var izmantot dzīvojamo un ražošanas telpu apsildei, koksnes vai pārtikas

žāvēšanai, graudu kulšanai, dārzenų un sēņu audzēšanai, kukaiņu, slietu audzēšanai un tamlīdzīgiem risinājumiem.

3.5. tabula

Pēfītās tehnoloģijas raksturojums

Apraksts	Vērtība
Biomasa daudzums, gadā	47 000 kg
Biomasa apjoms, gadā	~ 95 m <sup>3</sup>
Biogāzes ieguve no pārtikas atkritumiem	0,4 m <sup>3</sup> /kg TS
Vidējais izejvielu blīvums	510 kg/ m <sup>3</sup>
Reaktora temperatūra, vidēji	20 °C
Biometāna koncentrācija biogāzē	60 %
Hidrauliskās aiztures laiks	~ 53 dienas
Reaktora lielums, m <sup>3</sup>	4–15 m <sup>3</sup>

### 3.3. Ūdens biomasa atlikumu pārvaldība

Biorafinēšanas, izmantojot zaļās tehnoloģijas, ievērojamākā priekšrocība, salīdzinot ar tradicionālajām metodēm, ir no jūras blakusproduktiem iegūto bioaktīvo savienojumu funkcionālo īpašību zudumu samazināšana. Izstrādājot jebkuru sistēmu, jāņem vērā, ka bloki ir kontekstuāli un informatīvi atšķirīgi pēc nozīmes un var būt savstarpēji pakārtoti. Lai izstrādātu detalizētu sistēmu, ir nepieciešama gan nozares un saistīto uzņēmumu, gan arī sabiedrības un darba ņēmēju iesaistīšanās šajā procesā. Lai gan jūras biomasa pārstrādes nozarei ir raksturīgs liels datu apjoms primārās pārstrādes nozarē un izsekojamība, ūdens atlikumu izmantošanu var uzlabot. Precīza un pietiekama informācija plānošanas procesā un biorafinēšanas rūpnīcas darbībā nodrošina veiksmīgu un netraucētu sistēmas darbību. Veiktā analīze rāda, ka jūras bioloģisko resursu pārstrādi var iedalīt 14 blokos.

1. Zvejniecība.
2. Loģistika.
3. Bioresursi, to apraksts.
4. Pārtikas pārstrādes tehnoloģija.
5. Pievienotās vērtības produktu pārstrādes tehnoloģija.
6. Produktu niša.
7. Atlikumu pārstrādes tehnoloģija starp produktiem vai galaproduktā, tostarp attīrīšanas vai uzlabošanas metodes.
8. Produktu un blakusproduktu iepakšana.
9. Produktu ilgstoša uzglabāšana.
10. Ierīces.
11. Tiesību akti un drošība.
12. Atsauksmes.
13. Rūpniecības virzītājspēki – eksogēni vai endogēni.
14. Plānošana un informācija visā produktu ražošanas gaitā.

Promocijas darba gaitā tika pēfīti trīs ūdens atkritumu biomasa izejvielu pārstrādes aspekti, iespējamās tehnoloģijas un iegūstamie produkti. Iegūtie rezultāti liecina, ka ūdens bioresursu sektorā ir pievērsts salīdzinoši maz uzmanības atlieku pievienotās vērtības paaugstināšanai un radošai to izmantošanai galvenokārt resursu zemās kvalitātes, saimnieciskās darbības nodrošinājuma sadrumstalotības dēļ, kā arī zemā investīciju līmeņa un inovatīvo pārstrādes metožu augsto sākotnējo izmaksu dēļ. No šiem trim substrātiem ir iespējams iegūt produktus

ar ļoti augstu pievienoto vērtību, kas ir pieprasīti pasaules tirgū, bet, tā kā šajos platuma grādos ir izteikta sezonālitate un ir mēneši, kad izejvielas produkta ražošanai nav pieejamas, ir nepieciešams plānot resursu uzglabāšanu un pārstrādi. Resursu uzglabāšana palielina ražošanas robežizmaksas. Galvenais ūdens bioresursu pārstrādes biorafinēšanas rūpnīcas uzdevums ir viens – samazināt izmaksas un mazvērtīgo atlieku daudzumu, nodrošinot vairāku produktu ieguvu no vairākām izejvielām vienā vietā. Lai pārstrāde biorafinētavā būtu iespējama, ļoti svarīga ir elektroenerģijas nepārtrauktība, bet pārtraukumu gadījumā – papildu rezerves enerģijas avoti, jo biotehnoloģijā manipulācijas ar augu vai dzīvnieku biomasu tiek veiktas noteiktā temperatūrā, kā arī priekšapstrādes un ekstrakcijas metodēs var tikt izmantota elektroenerģija. Tehnoloģiju un iekārtu izmantošana, to specifiskais risinājums rūpnieciskajā pārstrādē prasa elektronisko un mašīnbūvi, ķīmijas inženieriju, inženieru komandas un pētniecību, lai nodrošinātu bezklūdu pārstrādes iekārtas darbību. Cilvēkresursu zināšanas un radošums tehnoloģiju risinājumos nodrošina iespēju attīstīties bioresursu pārstrādes nozarēm, un biorafinēšanas attīstība ir saistīta arī ar biomasas un papildu resursu loģistiku un piegādes ķēdēm, materiālu un enerģijas trūkums var padarīt ražošanas sistēmu neefektīvu. Būtiska biorafinēšanas procesa daļa ir izejvielu izvēle. Literatūra liecina, ka izejvielu cena visvairāk ietekmē produkta galīgo cenu. Tāpēc ir svarīgi, lai izejviela būtu lēta un pieejama, ar augstu vielu saturu un pietiekamu iznākumu un kvalitāti, lai process būtu ekonomiski konkurētspējīgs.

Šajā biorafinēšanas aprakstā iekļautas trīs pētītās ūdens biomasas grupas: zivju atkritumi; aļģu atlikumi; niedru atlikumi. Neatkarīgi no citiem faktoriem ūdens biomasai parasti ir atšķirīga izcelsme. Zivis un aļģes nāk vai nu no savvaļas ieguves, vai arī no akvakultūras, niedru biomasas – no zaļās biomasas apsaimniekošanas mitrzemēs vai īpašām notekūdeņu apstrādes niedru audzēšanas stacijām. Pirmapstrādi, ekstrakciju, atdalīšanu un attīrīšanu vienā vārdā sauc par apstrādi. Tiek izmantotas dažādas pieejas, un attīrīšana lielā mērā ir atkarīga no starpprodukta tālākās izmantošanas. Priekšapstrādes mērķis ir panākt, lai suspensija būtu piemērota izmantošanai par izejvielu sērijveida vai nepārtrauktā sistēmā. Cieto vielu koncentrācija suspensijā ir atkarīga no turpmākā ekstrakcijas procesa, taču ir jānodrošina šķidrums, lai masu varētu viegli pārvietot pa caurulēm. Lai iegūtu vēlamu cieto vielu saturu, vispirms jānosaka sausnas saturs izejvielā. Materiālus homogenizē, lai atvieglotu suspensijas veidošanos un iznīcinātu lielākās daļiņas. Dzīvnieku un augu biomasai ir dažādas priekšapstrādes iespējas. Atkarībā no izejvielu pieejamības produktu ekstrakciju var veikt pa vienai partijai vai nepārtrauktā procesā. Sezonas faktoram ir liela nozīme, veicot pārstrādi visu gadu Baltijas jūras reģiona austrumu daļā. Iespējama arī jauktas biomasas līdzapstrāde, ja pirmapstrāde ir veikta pareizi. Ekstrakcijas procedūru efektivitātes rādītāji ir produkta iznākums un raksturīgās īpašības. Katrai izejvielai ir 10 teorētiskie blakusproduktu biorafinēšanas procesa pārstrādes posmi.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Izejvielu ieguve.   | 7. Biomasas atlikumu un notekūdeņu apstrāde.           |
| 2. Priekšapstrāde.   | 8. Masas un enerģijas ieejas un izejvielu novērtējums. |
| 3. Ekstrakcija un atdalīšana.                                | 9. Izmaksu un ilgtspējas uzraudzība.                   |
| 4. Ekstrakta attīrīšana.                                     | 10. Ekstrakcijas un lietojuma mazumtirdzniecības cena. |
| 5. Uzglabāšana, iepakojšana, izplatīšana.                    |  |
| 6. Produkta laboratoriskā testēšana un procesa efektivitāte. |  |

Zivju pārstrādes atkritumu daudzums pasaulē pieaug, tāpēc centieni izstrādāt efektīvu, videi draudzīgu apstrādes tehnoloģiju ilgtspējīgas biomasas atkritumu apsaimniekošanas jomā joprojām ir nozīmīgi. Lai radītu pievienoto vērtību un mazinātu ietekmi uz vidi, nepieciešams ekonomiski un tehnoloģiski pamatots ilgtspējīgs bezatlikumu process. Vides un pārtikas zinātnes pētījumi liecina, ka vislielākais ekonomiskais ieguvums ir pārtikas zivju proteīna hidrolizāts un zivju eļļas reģenerācija. Atkritumu plūsmu pilnīga izmantošana ietver divus posmus. Vispirms – barības vielu reģenerācijas darbības, pēc tam – enerģijas un mēslojuma ražošana. Visticamāk, realitātē tas nozīmē ar zivsaimniecību un biomasas saistītu pārstrādes uzņēmumu vērtību ķēdes tīklu, kurā starpprodukti tiek iepirkti par noteiktu cenu. Atkritumu plūsmu kvalitāte būtu jānosaka kā galvenais rādītājs, izmantojot zivju resursus, jo tā maina mērķa savienojuma galīgo iznākumu. Sīki izstrādātas konstrukcijas izpēte un datu informācijas palielināšana var vēl vairāk palielināt lietderību un palīdzēt lēmumu pieņemšanas procesā [141]. Barības vielu reģenerācija no pārtikas atkritumiem vai biomasas atkritumiem vairumā gadījumu ir vienkāršs process, ja no proteīniem bagātiem blakusproduktiem ekstrahē olbaltumvielas. Joprojām tiek izstrādātas tehnoloģijas barības olbaltumvielu reģenerācijai no jūras produktu notekūdeņiem. Membrānu atdalīšana, adsorbēšana, reģenerācija ar mikrobu palīdzību ir metodes, kas uzrāda daudzsoļus rezultātus, taču jaunu tehnoloģiju izstrāde liela mēroga ražošanai kavējas [142]. Enerģijas un mēslojuma ražošana notiek vienā sistēmā – zivju atkritumu anaerobās fermentācijas procesā, kurā sagramojamie blakusprodukti tiek līdzfermentēti gāzveida formās – metānā, oglekļa dioksīdā un digestātā – šķidrā minerālmēslā un cietajā mēslojumā, ūdenī. Anaerobā fermentācija ir daudzsoļa enerģijas pārstrādes tehnoloģija biorafinēšanas sistēmai, jo to var izmantot liela apjoma zivju atkritumu decentralizētai pārstrādei. Pētījumi liecina, ka priekšapstrādei, anaerobai fermentācijai un gāzes sadedzināšanai *TRL* līmenis ir 9, kopējā zivju atkritumu biorafinēšanas iekārtas *TRL* ir vismaz 7, jo atsevišķās atšķirīgajās biorafinēšanas iekārtas daļās ir ierobežota darbības jauda. Jāuzsver, ka, lai šī labi zināmā tehnoloģija būtu ekonomiski izdevīga, sistēmai ir nepieciešami noteikti nosacījumi attiecībā uz biomasas cenām, kvalitāti un produktu pārdošanas cenām, kā arī labvēlīgi vietējās politikas un likumdošanas nosacījumi [143].

Makroaļģu pārstrāde ir kļuvusi nozīmīgāka arī pievienotās vērtības produktu ražošanā. *Furcellaria lumbricalis* tiek dabiski ievāktas Baltijas jūrā un kā pludmales aļģes dažādu produktu ražošanai. Ir apsvērtas arī komerciāli dzīvotspējīgas akvakultūras iespējas. Baltijas jūras vidusdaļā galvenais ierobežojošais faktors, kas kavē plašāku izmantošanu, ir zemais sāļums [144]. Interesants un ienesīgs savienojums, ko iegūst no sarkanajām jūras aļģēm, ir furcellarāns, kas ir dabiski sulfātisks anjonu polisaharīds, ko izmanto pārtikas plēves ražošanā, pārtikā, kosmētikā [145]. Furcellarāns ir daudzsoļa jauna alternatīva plastmasai pārtikas iepakojuma rūpniecībā, jo tas nav toksisks un bioloģiski noārdās, un tagad tas tiek pētīts jaunu modificētu pārklājumu ražošanai pārtikas rūpniecībā [146]. Ražošanas atlikumus izmanto arī metāna ražošanai, izmantojot kofermentāciju, un rezultāti nes pelņu [147].

Niedru biomasas pārstrāde etanolā ir daudzsoļus risinājums – etanola koncentrācija ir 66,5 g/L [148]. Lai šī tehnoloģija būtu rentabla, izmantojot četru posmu etanola ekstrakcijas tehnoloģiju, nepieciešama lēta ilgtspējīga elektroenerģija priekšapstrādei un ekstrakcijai. Uzlabotas niedru lignocelulozes frakcijas apstrādes darbības nākotnē var nodrošināt rentablu niedru etanola ražošanu rūpnieciskā mērogā [148]. Atlikušās šķiedras izmanto biodegvielas ražošanā. Pirolizē no parastajām niedrēm rodas gāzes un gaistošas vielas, kas ir vērtīgas enerģijas satura dēļ. Produktu sastāvu un to enerģētisko vērtību lielā mērā ietekmē pirolīzes temperatūra [149, 150].

Advancētas biorafinērijas mērķis ir dažādu biomasas veidu izmantošana produktos un enerģijā. Konceptijai ir dažādi tehnoloģiskās gatavības posmi, un biorafinēšana ir pakļauta pastāvīgai attīstībai un pārmaiņām. Tas rada problēmas koncepciju novērtēšanā un standartizācijā. Pamatojoties uz Vācijas federālās valdības pārskatu par tehnoloģiju gatavības līmeni (*TRL*), jūras biorafinēšanas iekārtu *TRL* jūras aļģēm ir 5–6, zaļās un lignocelulozes biorafinēšanas iekārtu *TRL* ir 5–8. Komerciāla mēroga biorafinēšanas ražotņu ieviešanai ir nepieciešama droša izejvielu pārstrāde, un tas rada tehnoloģiskas, stratēģiskas un ilgtspējīgas problēmas. Lielākā daļa tehnisko šķēršļu ir saistīti ar biomasas piegādi un ražošanas izmaksām. Biomasas neviendabīgums prasa atšķirīgas pirmapstrādes un ekstrakcijas metodes, tāpēc ieteicams izveidot biorafinēšanas rūpnīcu, kurā būtu iespējams izmantot dažādas izejvielas un apstrādes metodes. Biomasas biorafinēšanas iekārtu kaskādēšana liecina par primārās biomasas plašāku izmantošanu un var pārvarēt izejvielu konkurenci pārtikas un barības jomā. Tomēr var rasties problēmas, definējot funkcionālo vienību, bieži vien funkcionālā vienība atspoguļo materiālu plūsmas. Arī daudzfunkcionāla biorafinēšanas rūpnīca rada problēmas saistībā ar ietekmes uz vidi attiecināšanu uz dažādām izejvielām. Bioprodukta aprites cikla pieeja rada priekšnoteikumus lēmumu pieņemšanas atbalstam, lai atrastu labāko risinājumu vairāku scenāriju ietvaros. Jāturpina pētījumi jūras un zaļo biorafinēšanas uzņēmumu jomā, jo, salīdzinot ar citiem biorafinēšanas uzņēmumiem, tie uzrāda zemāko *TRL*. Neatkarīgi no *TRL* ir nepieciešams precīzas biorafinēšanas rūpnīcas tehniskais, ekonomiskais un vides novērtējums, lai labāk izmantotu biomasu [151]. Starpproduktu ražošana no ūdens biomasas un atlikumu vērtības paaugstināšana ir tehnoloģiski intensīvs process. Tehniski ekonomiskā analīze, kurā novērtēti kapitāla un darbības izmaksu faktori, veicina ilgtspējīgu biomasas izmantošanu [152]. Reģionālā kontekstā ir svarīgi izpētīt, kā Baltijas valstis varētu pārvarēt “bioekonomikas nāves ieleju” (*TRL 6*) [154] papildu preču un enerģijas ražošanā no zilajiem atkritumiem un biomasas, kā arī biorafinēšanas rūpnīcas “ideālais” mērogs. Ieteicams veikt plašākus pētījumus un izveidot individuālas mēroga ražotnes, lai pieņemtu pārliecinošus un faktos balstītus lēmumus par turpmākajiem izaugsmes virzieniem. Tradicionālajās nozarēs – tekstilrūpniecībā, būvniecībā un energoietilpīgajās nozarēs ir augstāks *TRL* gan pārstrādes, gan komunikācijas tehnoloģiju jomā, jo aprites tehnoloģijām ir raksturīgas dažādu rūpniecības ekosistēmu īpatnības apvienojumā ar nepieciešamību pievērsties aprites produktu pilnam dzīves ciklam konkrētās vērtību ķēdēs [155].

Zilās izejvielas biorafinēšanas rūpnīca rūpnīcas līmenī ietver biomasas apstrādes un pirmapstrādes iekārtas, kam seko galvenās pārstrādes iekārtas. To pamatā ir termokīmiska vai bioķīmiska konversija. Nevēlamie blakusprodukti tiek atdalīti, un no atlikušajām sastāvdaļām tiek izgatavoti vēlamie galaprodukti. Biorafinēšanas rūpnīcas darbība ir atkarīga no iekārtām un izvēlētajiem darbības parametriem, kas nosaka biomasas iznākumu līdz produktam un rūpnīcas enerģijas un masas bilanci. Svarīgi ir apzināties arī rūpnīcas investīciju izmaksas, kā arī rūpnīcas integrēšanas izmaksas atrašanās vietā. Lai novērtētu ražību, energoefektivitāti un ražošanas izmaksas, ir jāveic tehniski ekonomiskie novērtējumi [153]. Tomēr gan tradicionālās rūpniecības, gan bioresursu pārstrādes nozares var uzlabot atlieku izmantošanu, veicinot pilnīgāku pārstrādi un samazinot atkritumu apjomu poligonos. Jūras velšu pārstrādes nozares ilgtspējīga un daudzlīmeņu attīstība ir ļoti svarīga, lai veidotu ekonomiku ar mazāku oglekļa dioksīda emisiju. Ražošanas, nevis ražotāju, dažādošana stiprinās vērtību ķēdes un uzturēs

uzņēmumus. Skaidra terminoloģija veicinās saziņu, samazinot globālās zinātniskās literatūras klāsta vēstījumu apjomu un palielinās informācijas un datu apjomu individuālajiem tīkliem.

### **Ieteikumi un turpmāki pētījumi biorafinēšanas rūpnīcas prototipa izveidei**

- Integrēt valsts lēmumu pieņemšanas atbalsta rīku, kas balstīts bioekonomikas pētījumu datos, ekonomiskajā un tehnoloģiskajā analīzē, valsts bioekonomikas stratēģijas izstrādē.
- Izstrādāt valsts vadlīnijas ūdens bioresursu izmantošanai enerģijas ražošanai.
- Noteikt iespējamus atbalsta mehānismus un bioresursu pārstrādes paplašināšanas iespējas, pamatojoties uz bioresursu pieejamības un tehnoloģiskā iznākuma zinātnisko izpēti.
- Noskaidrot, kā un vai ir iespējams attīstīt bioekonomikas preces, izmantojot sociālo uzņēmējdarbību, kā arī nepieciešamās darbības un finansēšanas metodes.
- Aprēķināt labāko vietu ūdens biomasas biorafinēšanas ražotnei, izmantojot matemātisko modelēšanu un ģeogrāfisko analīzi.
- Noteikt iespējamus ūdens bioresursu izmantošanas veidus jūrā un iekšzemē nākotnē, izmantojot starpnozaru un akadēmisko sadarbību.
- Palielināt ūdens bioresursu pētniecībā iesaistīto zinātnes disciplīnu skaitu un veicināt to, kā risināt ar zilajām nozarēm saistītās sociālekonomiskās problēmas.

## SECINĀJUMI

Svarīga ir ilgtspējīga resursu izmantošana ilgtermiņā – izejvielu pieejamības un stāvokļa noteikšana, tehnoloģiski ekonomiskais pamatojums konkrētajā situācijā, produkta tirgus un mazumtirdzniecības cena. Bioraфинēšana – pārstrādes rūpnīca, kurā tiek piemēroti zaļie principi, un bioekonomikas koncepcijas atvieglos finanšu, tehnoloģisko un zemes resursu izmantošanu. Vietējo ūdens bioresursu – zivju atkritumu, makroaļģu, niedru – pārstrādes piemērotības teorētiskais novērtējums liecina, ka šiem resursiem ir pamatots izejvielu potenciāls bioproduktu un enerģijas ražošanai, izmantojot dažādas tehnoloģiskās pieejas.

Literatūras apskats par zaļās zivju eļļas ekstrakcijas metodēm liecina, ka superkritiskā šķidrums ekstrakcija ar oglekļa dioksīdu ir lielisks veids, kā salīdzinoši zemā temperatūrā iegūt augstas ražības, augstas tīrības pakāpes zivju eļļu, kas nesatur polārus savienojumus, taču, salīdzinot ar tradicionālajām metodēm, iekārtām ir lielākas ražošanas iesākšanas un ekspluatācijas izmaksas. Superkritiskās ekstrakcijas blakusprodukts ir daļēji hidrolizēts zivju proteīns. Latvijas piekrastes ūdeņos sastopamā apaļā jūrasgrunduļa laboratorisko pētījumu rezultāti liecina, ka šī suga nav perspektīva izmantošanai zivju eļļas ekstrakcijā, jo eļļas koncentrācija zivju biomasā ir tikai 1 %, bet kopējā olbaltumvielu koncentrācija ir 16 %, tāpēc, lai pilnībā izmantotu biomasu, vēlams to pārstrādāt hidrolizētā olbaltumvielā, ko var izmantot pārtikas piedevu, dzīvnieku barības ražošanā. Savukārt hidrolizāta ražošanas šķidrums atlikumus var pārstrādāt biogāzē, bet cietos atlikumus – mēslošanas līdzekļos.

Apaļā jūrasgrunduļa atkritumu anaerobās fermentācijas rezultāti liecina, ka biogāzes ražošana zemā temperatūrā (23 °C) aizņem divreiz ilgāku laiku, tādējādi paildzinot hidrauliskās aiztures laiku, kas nozīmē, ka, lai saražotu tādu pašu biogāzes daudzumu, ir nepieciešams lielāks biodegestora izmērs. Tika novērots arī kopējā saražotā biometāna samazinājums par ~23 %. Labākais pieejamais paņēmieni veiksmīgai apstrādei ir biometāna ražošana līdzsadalīšanas režīmā ar substrātu ar augstu oglekļa saturu, piemēram, dārza atkritumiem. Papildu eksperimentālie dati, kas iegūti sērijveida un nepārtrauktās sistēmās, un paralēli tam zivju atkritumu apstrādes procesa modelēšana palīdzēs sasniegt zivju atkritumu pārstrādes vispārējo ilgtspēju, kā arī labvēlīgu fermentācijas iekārtu lielumu piekrastes lauku teritorijās. Nenoliedzami, optimizējot jūras velšu pārstrādes nozares enerģētisko atkritumu apstrādes iespējas, ir jāizvērtē tehnoloģiskā un ekonomiskā analīze un piegādes ķēdes stiprums.

Niedru biomasas apsaimniekošanas iespēju daudzkritēriju analīze liecina, ka tiek īstenota produktu ar pievienoto vērtību ražošana. No vides un ekonomiskā viedokļa visaugstākās vērtības produkti ir būvmateriālu izolācijas paneļi un jumta segumi, kas ievākti ziemā. Literatūra liecina, ka etanola ražošana nelielā apjomā no niedrēm varētu būt iespējama, izmantojot karstā ūdens nātrija karbonāta pirmapstrādi un daļēji vienlaicīgu saharizāciju un fermentāciju. Etanola ražošanas atlikumus ieteicams izmantot pirolīzes degvielas ražošanai.

Veikta zemas temperatūras biogāzes reaktora ar saules paneļa atbalstu kā māsaiņniecību un mazo uzņēmumu bioloģiski noārdāmo atkritumu apsaimniekošanas līdzekļa lietderības analīze. Analīze apstiprina, ka saules enerģijas atbalsts biogāzei palielina biogāzes ražošanu, ražošanas efektivitāti, izmaksas un samazina digestāta toksiskumu. Tehnoloģijai ir sociālekonomiskā vērtība divos kontekstos – atjaunojamā tehnoloģija samazina atkritumu daudzumu un ražo enerģiju, kā arī kalpo kā atjaunojamās enerģijas integrētājs. Pētījums parādīja, ka, izstrādājot atjaunojamās enerģijas nozares politiku, jo īpaši lauku apvidos, jāņem

vērā biogāzes daudzvietība. Funkcionējošas sistēmas ieviešanai ir nepieciešami papildu pētījumi maza mēroga atjaunojamās enerģijas hibrīdsistēmām – sistēmas modelēšana, tehniski ekonomiskā analīze, konkrētas darbaspējīgas sistēmas tehnisko parametru noteikšana precīzā vietā, hibrīdsistēmas robežu definēšana.

Runājot par zilo ekonomiku, tās leksika ir kļuvusi precīzāka. Zinātniskajos žurnālos lietotā leksika var palīdzēt attīstītajām valstīm labāk izprast mazāk attīstīto valstu jūrniecības nozares apstākļus un palīdzēt tām diskutēt par to, kā atbalstīt to ilgtspējības iniciatīvas un aizsargāt dabas resursus. Ieteicams izmantot terminoloģiju pētniecībā, jo tā dos labumu gan valstīm, kas iesāk pētījumos balstītu produktu komercializāciju, gan mazāk attīstītām pelaģiskās zvejniecības valstīm. Gan zinātnē, gan politikā, lai sasniegtu ilgtermiņa stratēģiskos ilgtspējības un dabas aizsardzības mērķus, ir nepieciešams izdarīt izvēli šodien un veikt pasākumus rītdien, lai garantētu resursu un funkcionējošas sabiedrības pastāvēšanu. Ir svarīgi izstrādāt arī rīcības programmas/attīstības stratēģijas konkrētās apakšnozarēs un skaidri definēt valsts valdības mērķus, lai zilās bioekonomikas bizness varētu attīstīties. Tas prasa, lai universitātes un pētniecības iestādes rūpīgi izprastu un izrādītu lielu interesi par konkrētiem ūdens bioresursu tehnoloģiju nozares izaugsmei būtiskiem tematiem. Ir būtiski nodrošināt starptautisku sadarbību, lai veiktu pētniecību, apmācītu jaunus zinātniekus, izstrādātu tehnoloģijas ar komercializācijas potenciālu un radītu jaunas izdevīgas preces un pakalpojumus.

Autora pētījumā tika aplūkota Latvijas ūdens bioresursu izmantošana produktu radīšanā, izmantojot dažādas pārstrādes tehnoloģijas. Tika pētīts arī resursu sastāvs tādos resursos, kas iepriekš nav pētīti. Darbā apkopota šobrīd pieejamā informācija par resursu un atlieku primārajām kategorijām un sastāvu, pārstrādes paņēmieniem un iegūstamajiem produktiem, kā arī par sekundāro biomasas atlieku pārstrādi. Pamatojoties uz zinātniskajiem datiem, tika veikts konceptuāls pārskats par trīs atšķirīgu resursu (zivju, aļģu un markofītu) integrāciju. Šo metožu tehniskā gatavība iegūt produktus no zivju biomasas ir atšķirīga, tāpēc ir nepieciešami ekstrakcijas eksperimenti, izmantojot neliela mēroga bioreaktorus, lai iegūtu datus par faktoriem, kas jāoptimizē ekstrakcijas procesā, izmaksām u. c., lai izstrādātu produktus plašākā mērogā un nodrošinātu *TRL 6* šķērsošanu. Lai nodrošinātu dažādu nākotnes scenāriju dzīvotspēju biomasas apsaimniekošanas kontekstā, ir ļoti svarīgi veikt pētījumus par ūdens bioresursu pārstrādi, ja resursu pieejamība mainās dabas faktoru vai antropogēnas ietekmes dēļ. Attīstītajās valstīs makrosugu izmantošanas tehniskais līmenis patlaban ir ļoti augsts, bet ir iespējas izveidot integrētu daudzprofilu akvakultūru, palielināt pārstrādes efektivitāti un produktu pieņemamību patērētājiem. Biotehnoloģija piedāvā plašākas iespējas specializētu produktu ražošanai, jo tā ļauj izmantot modernas, mūsdienīgas metodes mikroorganismu izpētei un iespēju bioreaktorus izstrādāt specifiskām vajadzībām pielāgotus produktus. Lai gan šīs mikrobioloģiskās tehnoloģijas rūpnieciskā mērogā parasti nedarbojas, tomēr šādu iniciatīvu finansēšana un veiksmīga darbība ir sasniedzama.



# IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- [1] Södergård, C., Mildorf, T., Habyarimana, E., Berre, A. J., Fernandes, J. A., and Zinke-Wehlmann, C., eds., 2021, *Big Data in Bioeconomy: Results from the European DataBio Project*, Springer International Publishing, Cham.
- [2] OECD (2016), *The Ocean Economy in 2030*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264251724-en>.
- [3] Sverdrup, H. U., 1942, *The Oceans, Their Physics, Chemistry, and General Biology*, New York: Prentice-Hall.
- [4] Bāliņa, K., 2020, "Baltic Seaweed Biorefinery," PhD thesis, Riga Technical University.
- [5] Čubars, E., "Niedru produktivitāti un biomasas īpašības ietekmējošo faktoru izpēte un to izmantošanas enerģijas ieguvei pamatojums. *Promocijas darba kopsavilkums*. – Rēzekne: RA, 2014. – 51 lpp.,"
- [6] Boziaris, I. S. (ed.), 2014. *Seafood Processing – Technology, Quality and Safety*. Wiley-Blackwell. 479 pp.
- [7] European Food Safety Authority (EFSA). 2021, "European Food Safety Authority Food Composition Data." Pieejams: <https://www.efsa.europa.eu/en/microstrategy/food-composition-data>.
- [8] The Food and Agriculture Organization (FAO), 2022, "International Network of Food Data Systems (INFOODS)." Pieejams: <https://www.fao.org/infoods/infoods/en/>.
- [9] U. S. Dept. of Agriculture, "Agriculture Database Food and Nutrition Service." Pieejams: <https://fdc.nal.usda.gov/>.
- [10] Cikoš, A.-M., Čož-Rakovac, R., Šubarić, D., Jerković, I., Ačkar, Đ., and Jokić, S., 2020. "Macroalgae in the Food Industry – Opportunities and Challenges," *Engineering Power*, **15** (3) p. 14–19.
- [11] Stevens, J. R., Newton, R. W., Tlustý, M., and Little, D. C., 2018, "The Rise of Aquaculture By-Products: Increasing Food Production, Value, and Sustainability through Strategic Utilisation," *Marine Policy*, **90**, pp. 115–124.
- [12] Tursi, A., 2019, "A Review on Biomass: Importance, Chemistry, Classification, and Conversion," *Biofuel Res. J.*, **6** (2), pp. 962–979.
- [13] Guragain, Y. N., and Vadlani, P. V., 2021, "Renewable Biomass Utilization: A Way Forward to Establish Sustainable Chemical and Processing Industries," *Clean Technol.*, **3** (1), pp. 243–259.
- [14] Roy, R., Rahman, M. S., Amit, T. A., and Jadhav, B., 2022, "Recent Advances in Lignin Depolymerization Techniques: A Comparative Overview of Traditional and Greener Approaches," *Biomass*, **2** (3), pp. 130–154.
- [15] Amarasekara, A. S., 2019, "Tonic Liquids in Biomass Processing," *Isr. J. Chem.*, **59** (9), pp. 789–802.
- [16] Luque, R., 2014, "Catalytic Chemical Processes for Biomass Conversion: Prospects for Future Biorefineries," *Pure and Applied Chemistry*, **86** (5), pp. 843–857.
- [17] Kumar, A. K., and Sharma, S., 2017, "Recent Updates on Different Methods of Pretreatment of Lignocellulosic Feedstocks: A Review," *Bioresour. Bioprocess.*, **4** (1), p. 7.
- [18] Chemat, F., Abert-Vian, M., Fabiano-Tixier, A. S., Strube, J., Uhlenbrock, L., Gunjevic, V., and Cravotto, G., 2019, "Green Extraction of Natural Products. Origins, Current Status, and Future Challenges," *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, **118**, pp. 248–263.
- [19] Allaf, T., and Allaf, K., eds., 2014, *Instant Controlled Pressure Drop (D. I. C.) in Food Processing: From Fundamental to Industrial Applications*, Springer New York, New York, NY. 183 pp.
- [20] Pech-Almeida, J. L., Téllez-Pérez, C., Alonzo-Macías, M., Teresa-Martínez, G. D., Allaf, K., Allaf, T., and Cardador-Martínez, A., 2021, "An Overview on Food Applications of the Instant Controlled Pressure-Drop Technology, an Innovative High Pressure-Short Time Process," *Molecules*, **26** (21), p. 6519.
- [21] Burnett, A., Ahmmed, M. K., Carne, A., Tian, H. (Sabrina), Ahmed, I. A. M., Al-Juhaimi, F. Y., and Bekhit, A. E.-D. A., 2022, "Effect of Pulsed Electric Fields on the Lipidomic Profile of Lipid Extracted from Hoki Fish Male Gonad," *Foods*, **11** (4), p. 610.
- [22] Awad, A. M., Kumar, P., Ismail-Fitry, M. R., Jusoh, S., Ab Aziz, M. F., and Szazili, A. Q., 2021, "Green Extraction of Bioactive Compounds from Plant Biomass and Their Application in Meat as Natural Antioxidant," *Antioxidants*, **10** (9), p. 1465.
- [23] Dobrinčić, A., Pedisić, S., Zorić, Z., Jurin, M., Roje, M., Čož-Rakovac, R., and Dragović-Uzelac, V., 2021, "Microwave Assisted Extraction and Pressurized Liquid Extraction of Sulfated Polysaccharides from *Fucus Virsoides* and *Cystoseira Barbata*," *Foods*, **10** (7), p. 1481.
- [24] Panda, D., and Manickam, S., 2019, "Cavitation Technology—The Future of Greener Extraction Method: A Review on the Extraction of Natural Products and Process Intensification Mechanism and Perspectives," *Applied Sciences*, **9** (4), p. 766.
- [25] Melgosa, R., Marques, M., Paiva, A., Bernardo, A., Fernández, N., Sá-Nogueira, I., and Simões, P., 2021, "Subcritical Water Extraction and Hydrolysis of Cod (*Gadus Morhua*) Frames to Produce Bioactive Protein Extracts," *Foods*, **10** (6), p. 1222.
- [26] Cheng, Y., Xue, F., Yu, S., Du, S., and Yang, Y., 2021, "Subcritical Water Extraction of Natural Products," *Molecules*, **26** (13), p. 4004.

- [27] Muhammad, N., Gonfa, G., Rahim, A., Ahmad, P., Iqbal, F., Sharif, F., Khan, A. S., Khan, F. U., Khan, Z. U. H., Rehman, F., and Rehman, I. U., 2017, "Investigation of Ionic Liquids as a Pretreatment Solvent for Extraction of Collagen Biopolymer from Waste Fish Scales Using COSMO-RS and Experiment," *Journal of Molecular Liquids*, **232**, pp. 258–264.
- [28] Shamshina, J. L., Barber, P. S., Gurau, G., Griggs, C. S., and Rogers, R. D., 2016, "Pulping of Crustacean Waste Using Ionic Liquids: To Extract or Not to Extract?," *ACS Sustainable Chem. Eng.* **4**, 11, 6072–6081.
- [29] Carroll et al., 2022, "Marine Natural Products," *Nat. Prod.*, (39), p. 49.
- [30] Caruso, G., Floris, R., Serangeli, C., and Di Paola, L., 2020, "Fishery Wastes as a Yet Undiscovered Treasure from the Sea: Biomolecules Sources, Extraction Methods and Valorization," *Marine Drugs*, **18** (12), p. 622.
- [31] Xu, N., Peng, X.-L., Li, H.-R., Liu, J.-X., Cheng, J.-S.-Y., Qi, X.-Y., Ye, S.-J., Gong, H.-L., Zhao, X.-H., Yu, J., Xu, G., and Wei, D.-X., 2021, "Marine-Derived Collagen as Biomaterials for Human Health," *Front. Nutr.*, **8**, p. 702108.
- [32] Coppola, D., Lauritano, C., Palma Esposito, F., Riccio, G., Rizzo, C., and de Pascale, D., 2021, "Fish Waste: From Problem to Valuable Resource," *Marine Drugs*, **19** (2), p. 116.
- [33] Nisticò, R., 2017, "Aquatic-Derived Biomaterials for a Sustainable Future: A European Opportunity," *Resources*, **6** (4), p. 65.
- [34] Biris-Dorhoi, E.-S., Michiu, D., Pop, C. R., Rotar, A. M., Tofana, M., Pop, O. L., Socaci, S. A., and Farcas, A. C., 2020, "Macroalgae—A Sustainable Source of Chemical Compounds with Biological Activities," *Nutrients*, **12** (10), p. 3085.
- [35] Peñalver, R., Lorenzo, J. M., Ros, G., Amarowicz, R., Pateiro, M., and Nieto, G., 2020, "Seaweeds as a Functional Ingredient for a Healthy Diet," *Marine Drugs*, **18** (6), p. 301.
- [36] Romano, G., Almeida, M., Varela Coelho, A., Cutignano, A., Gonçalves, L. G., Hansen, E., Khnykin, D., Mass, T., Ramšak, A., Rocha, M. S., Silva, T. H., Sugni, M., Ballarin, L., and Genevière, A.-M., 2022, "Biomaterials and Bioactive Natural Products from Marine Invertebrates: From Basic Research to Innovative Applications," *Marine Drugs*, **20** (4), p. 219.
- [37] Cosentino, S. L., Scordia, D., Testa, G., Monti, A., Alexopoulou, E., and Christou, M., 2018, "The Importance of Perennial Grasses as a Feedstock for Bioenergy and Bioproducts," *Perennial Grasses for Bioenergy and Bioproducts*, Elsevier, pp. 1–33.
- [38] Köbbing, J. F., Thevs, N., and Zerbe, S., 2013, "The Utilisation of Reed (*Phragmites Australis*): A Review," *Mires and Peat*, Volume **13**, p. 1–14.
- [39] Jasinskis, A., Streikus, D., Šarauskis, E., Palšauskas, M., and Venslauskas, K., 2020, "Energy Evaluation and Greenhouse Gas Emissions of Reed Plant Pelletizing and Utilization as Solid Biofuel," *Energies*, **13** (6), p. 1516.
- [40] Sathitsuksanoh, N., Zhu, Z., Templeton, N., Rollin, J. A., Harvey, S. P., and Zhang, Y.-H. P., 2009, "Saccharification of a Potential Bioenergy Crop, *Phragmites Australis* (Common Reed), by Lignocellulose Fractionation Followed by Enzymatic Hydrolysis at Decreased Cellulase Loadings," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **48** (13), pp. 6441–6447.
- [41] Poveda, J., 2022, "The Use of Freshwater Macrophytes as a Resource in Sustainable Agriculture," *Journal of Cleaner Production*, **369**, p. 133247.
- [42] Marcy E. Gallo, 2022, "The Bioeconomy: A Primer. Congressional Research Service. pp. 33."
- [43] Leal Filho, W., Pociovălișteanu, D. M., Borges de Brito, P. R., and Borges de Lima, I., eds., 2018, *Towards a Sustainable Bioeconomy: Principles, Challenges and Perspectives*, Springer International Publishing, Cham. pp. 305.
- [44] Aguilar, A., and Paternmann, C., 2020, "Biodiplomacy, the New Frontier for Bioeconomy," *New Biotechnology*, **59**, pp. 20–25.
- [45] Robert, N., Giuntoli, J., Araujo, R., Avraamides, M., Balzi, E., Barredo, J. I., Baruth, B., Becker, W., Borzacchiello, M. T., Bulgheroni, C., Camia, A., Fiore, G., Follador, M., Gurria, P., la Notte, A., Lusser, M., Marelli, L., M'Barek, R., Parisi, C., Philippidis, G., Ronzon, T., Sala, S., Sanchez Lopez, J., and Mubareka, S., 2020, "Development of a Bioeconomy Monitoring Framework for the European Union: An Integrative and Collaborative Approach," *New Biotechnology*, **59**, pp. 10–19.
- [46] FAO. 2022. The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Towards Blue Transformation. Rome, FAO. pp. 266.
- [47] Børresen, T., 2017, "Blue Bioeconomy," *Journal of Aquatic Food Product Technology*, **26** (2), pp. 139–139.
- [48] Singh, S., Negi, T., Sagar, N. A., Kumar, Y., Tarafdar, A., Sirohi, R., Sindhu, R., and Pandey, A., 2022, "Sustainable Processes for Treatment and Management of Seafood Solid Waste," *Science of The Total Environment*, **817**, p. 152951.
- [49] Lang, C., 2022, "Bioeconomy - from the Cologne Paper to Concepts for a Global Strategy," *EFB Bioeconomy Journal*, **2**, p. 100038.
- [50] Saini, R. K., Prasad, P., Shang, X., and Keum, Y.-S., 2021, "Advances in Lipid Extraction Methods—A Review," *IJMS*, **22** (24), p. 13643.

- [51] Amuamuta, A., Mekonnen, Z., and Agazie, A., 2014, "Extraction and Analysis of Oil/Fat and Fatty Acids Content from Different Indigenous Fish of Lake Tana Source, Northwest Ethiopia," *World Journal of Fish and Marine Sciences*, **6** (5): 417– 423.
- [52] Lim, Pang Yong, 1987, "Protein Determination by Kjeldahl Method," Marine Fisheries Research Department, Southeast Asian Fisheries Development Center, p. 2.
- [53] Abdulkadir, M., Abubakar, G. I., and Mohammed, A., 2010, "Production and Characterization of Oil from Fishes," *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, **5** (7), p. 5.
- [54] Rahimi, M. A., Omar, R., Ethaib, S., Siti Mazlina, M. K., Awang Biak, D. R., and Nor Aisyah, R., 2017, "Microwave-Assisted Extraction of Lipid from Fish Waste," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, **206**, p. 012096.
- [55] ISO, 2017, "ISO 14780:2017 Solid Biofuels – Sample Preparation".
- [56] ISO, 2017, "ISO 18134-2:2017 Solid Biofuels – Determination of Moisture Content – Oven Dry Method – Part 2: Total Moisture – Simplified Method".
- [57] ISO, 2015, "ISO 18134-3:2015 Solid Biofuels – Determination of Moisture Content – Oven Dry Method – Part 3: Moisture in General Analysis Sample".
- [58] Kafle, G. K., and Kim, S. H., 2013, "Anaerobic Treatment of Apple Waste with Swine Manure for Biogas Production: Batch and Continuous Operation," *Applied Energy*, **103**, pp. 61–72.
- [59] Muizniece, I., Kazulis, V., Zihare, L., Lupkina, L., Ivanovs, K., and Blumberga, D., 2018, "Evaluation of Reed Biomass Use for Manufacturing Products, Taking into Account Environmental Protection Requirements," *Agronomy Research*, **6** (1) 1124.–1132.
- [60] Tamoor, M., Tahir, M. S., Sagir, M., Tahir, M. B., Iqbal, S., and Nawaz, T., 2020, "Design of 3 KW Integrated Power Generation System from Solar and Biogas," *International Journal of Hydrogen Energy*, **45** (23), pp. 12711–12720.
- [61] Mendecka, B., Chiappini, D., Tribioli, L., and Cozzolino, R., 2021, "A Biogas-Solar Based Hybrid off-Grid Power Plant with Multiple Storages for United States Commercial Buildings," *Renewable Energy*, **179**, pp. 705–722.
- [62] Mshandete, A., Kivaisi, A., Rubindamayugi, M., and Mattiasson, B., 2004, "Anaerobic Batch Co-Digestion of Sisal Pulp and Fish Wastes," *Bioresource Technology*, **95** (1), pp. 19–24.
- [63] Nathalie Bachmann, E. S. A., 2013, "Design and Engineering of Biogas Plants," *The Biogas Handbook: Science, Production and Applications*, pp. 191–211.
- [64] Khoiyangbam, R. S., Gupta, N. Kumar, S. , 2011, "Biogas Technology: Towards Sustainable Development," Publisher: The Energy and Resources Institute. 218 p.
- [65] Zijdemans, D., 2014, "Vannbaserte Og Kjølssystemer." Skarland Press AS. 456 p.
- [66] Jakobsons, M., 2015, "Solar collectors' performance. A case study of a solar thermal heating system in a passive house dwelling." 194 p. Pieejams: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2356393>.
- [67] Merdzhanova, A., 2019, "Fatty Acids and Fat Soluble Vitamins Content of Black Sea Round Goby (Neogobius Melanostomus, Pallas, 1814) during Fishing Seasons," *Iranian Journal of Fisheries Sciences*.
- [68] Vegneshwaran VR, D. D., 2014, "Investigation on Oil Extraction Methods and Its Influence on Omega-3 Content from Cultured Salmon," *J Food Process Technol*, **5** (12).
- [69] Aidos, I. M. F. (2002). Production of high-quality fish oil from herring byproducts. [external PhD, WU, Wageningen University]. Pieejams: <https://edepot.wur.nl/121318>.
- [70] Estiasih, T., Ahmadi, K., Ali, D., Nisa, F., Suseno, S., and Lestari, L., 2021, "Valorisation of Viscera from Fish Processing for Food Industry Utilizations," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, **924** (1), p. 012024.
- [71] Nges, I. A., Mbatia, B., and Björnsson, L., 2012, "Improved Utilization of Fish Waste by Anaerobic Digestion Following Omega-3 Fatty Acids Extraction," *Journal of Environmental Management*, **110**, pp. 159–165.
- [72] Zhu, G., Li, J., and Jha, A. K., 2014, "Anaerobic Treatment of Organic Waste for Methane Production under Psychrophilic Conditions," *Int. J. Agric. Biol.*, **16** (5), p. 7.
- [73] Tomczak-Wandzel, R., and Levlin, E., et al. 2013. "Biogas production from fish wastes in co-digestion with sewage sludge,". *IWA 2013 Holistic Sludge Management Conference*, May 6–8, 2013 Västerås, Sweden, Svenska miljöinstitutet (IVL) p. 8.
- [74] Labatut, R. A., Angenent, L. T., and Scott, N. R., 2011, "Biochemical Methane Potential and Biodegradability of Complex Organic Substrates," *Bioresource Technology*, **102** (3), pp. 2255–2264.
- [75] Appels, L., Baeyens, J., Degreève, J., and Dewil, R., 2008, "Principles and Potential of the Anaerobic Digestion of Waste-Activated Sludge," *Progress in Energy and Combustion Science*, **34** (6), pp. 755–781.
- [76] Kafle, G. K., Kim, S. H., and Sung, K. I., 2013, "Ensiling of Fish Industry Waste for Biogas Production: A Lab Scale Evaluation of Biochemical Methane Potential (BMP) and Kinetics," *Bioresource Technology*, **127**, pp. 326–336.

- [77] Kassuwi et al., 2012, "Anaerobic co-digestion of biological pre-treated Nile perch fish solid waste with vegetable fraction of market solid waste," *RPN Journal of Agricultural and Biological Science*, **Vol 7** (12), p. 17.
- [78] Shi, C (2012) "Potential Biogas Production from Fish Waste and Sludge" TRITA LWR Degree Project 12:37. 48.
- [79] Chen, X., Romano, R. T., and Zhang, R., 2010, "Anaerobic Digestion of Food Wastes for Biogas Production," *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, **3** (4), pp. 61–72.
- [80] Rubio-Rodríguez, N., de Diego, S. M., Beltrán, S., Jaime, I., Sanz, M. T., and Rovira, J., 2012, "Supercritical Fluid Extraction of Fish Oil from Fish By-Products: A Comparison with Other Extraction Methods," *Journal of Food Engineering*, **109** (2), pp. 238–248.
- [81] Gedi, M. A., Bakar, J., and Mariod, A. A., 2015, "Optimization of Supercritical Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Extraction of Sardine (*Sardinella Lemuru* Bleeker) Oil Using Response Surface Methodology (RSM)," *Grasas y Aceites*, **66** (2), p. e074.
- [82] Rubio-Rodríguez, N., de Diego, S. M., Beltrán, S., Jaime, I., Sanz, M. T., and Rovira, J., 2008, "Supercritical Fluid Extraction of the Omega-3 Rich Oil Contained in Hake (*Merluccius Capensis*–*Merluccius Paradoxus*) by-Products: Study of the Influence of Process Parameters on the Extraction Yield and Oil Quality," *The Journal of Supercritical Fluids*, **47** (2), pp. 215–226.
- [83] Letisse, M., Rozieres, M., Hiol, A., Sergent, M., and Comeau, L., 2006, "Enrichment of EPA and DHA from Sardine by Supercritical Fluid Extraction without Organic Modifier I. Optimization of Extraction Conditions," *Journal of Supercritical Fluids* **38** (1), 27–36 p.
- [84] Sahena, F., Zaidul, I. S. M., Jinap, S., Yazid, A. M., Khatib, A., and Norulaini, N. A. N., 2010, "Fatty Acid Compositions of Fish Oil Extracted from Different Parts of Indian Mackerel (*Rastrelliger Kanagurta*) Using Various Techniques of Supercritical CO<sub>2</sub> Extraction," *Food Chemistry*, **120** (3), pp. 879–885.
- [85] Ramalhosa, M. J., Paíga, P., Morais, S., Rui Alves, M., Delerue-Matos, C., and Oliveira, M. B. P. P., 2012, "Lipid Content of Frozen Fish: Comparison of Different Extraction Methods and Variability during Freezing Storage," *Food Chemistry*, **131** (1), pp. 328–336.
- [86] Vasantha Rupasinghe, H. P., Kathirvel, P., and Huber, G. M., 2011, "Ultrasonication-Assisted Solvent Extraction of Quercetin Glycosides from 'Idared' Apple Peels," *Molecules*, **16** (12), pp. 9783–9791.
- [87] Sathivel, S., Prinyawiwatkul, W., King, J. M., Grimm, C. C., and Lloyd, S., 2003, "Microwave-Assisted Catfish Liver Oil Extraction and FA Analysis," *J Amer Oil Chem Soc*, **80** (1), pp. 15–20.
- [88] Latheef, M. B., "Pulsed ultrasound-assisted solvent extraction of oil from soybeans and microalgae," *Master thesis*. McGill University, p. 92.
- [89] Picó, Y., 2013, "Ultrasound-Assisted Extraction for Food and Environmental Samples," *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, **43**, pp. 84–99.
- [90] Awad, T. S., Moharram, H. A., Shaltout, O. E., Asker, D., and Youssef, M. M., 2012, "Applications of Ultrasound in Analysis, Processing and Quality Control of Food: A Review," *Food Research International*, **48** (2), pp. 410–427.
- [91] Rubio-Rodríguez, N., Beltrán, S., Jaime, I., de Diego, S. M., Sanz, M. T., and Carballido, J. R., 2010, "Production of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acid Concentrates: A Review," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **11** (1), pp. 1–12.
- [92] Adeoti, I. A., and Hawboldt, K., 2014, "A Review of Lipid Extraction from Fish Processing By-Product for Use as a Biofuel," *Biomass and Bioenergy*, **63**, pp. 330–340.
- [93] Abdullah, S., Mudalip, S. K. A., Shaarani, S. Md., and Pi, N. A. C., 2010, "Ultrasonic Extraction of Oil from *Monopterus Albus*: Effects of Different Ultrasonic Power, Solvent Volume and Sonication Time," *J. of Applied Sciences*, **10** (21), pp. 2713–2716.
- [94] Xiao L, et al., 2017, "Ultrasound-Assisted Extraction of Bighead Carp Viscera Oil and Its Physicochemical Properties," *Journal of Jishou University (Natural Sciences Edition)*, **38** (1), p. 6.
- [95] Ghaly AE, R. V., 2013, "Extraction of Oil from Mackerel Fish Processing Waste Using Alcalase Enzyme," *Enz Eng*, **02** (02).
- [96] Gbogouri, G. A., Linder, M., Fanni, J., and Parmentier, M., 2006, "Analysis of Lipids Extracted from Salmon (*Salmo Salar*) Heads by Commercial Proteolytic Enzymes," *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, **108** (9), pp. 766–775.
- [97] Edwards, M., 2010., "Why might algae resolve public health challenges?," *Algae Industry Magazine*.
- [98] HELCOM, 2007, *Pearls of the Baltic Sea*. 201. p, ISBN 978-952-92-2695-5.
- [99] Bălița, K., Ivanovs, K., Romagnoli, F., and Blumberga, D., 2020, "Comprehensive Literature Review on Valuable Compounds and Extraction Technologies: The Eastern Baltic Sea Seaweeds," *Environmental and Climate Technologies*, **24** (2), pp. 178–195.
- [100] Michalak, I., and Chojnacka, K., 2014, "Algal Extracts: Technology and Advances," *Engineering in Life Sciences*, **14** (6), pp. 581–591.
- [101] Sosa-Hernández, J. E., Escobedo-Avellaneda, Z., Iqbal, H. M. N., and Welti-Chanes, J., 2018, "State-of-the-Art Extraction Methodologies for Bioactive Compounds from Algal Biome to Meet Bio-Economy Challenges and Opportunities," *Molecules*, **23** (11).

- [102] Razi Parjikolaie, B., Errico, M., Bahij El-Houri, R., Mantell, C., Fretté, X. C., and Christensen, K. V., 2017, "Process Design and Economic Evaluation of Green Extraction Methods for Recovery of Astaxanthin from Shrimp Waste," *Chemical Engineering Research and Design*, **117**, pp. 73–82.
- [103] Grosso, C., Valentão, P., Ferreres, F., and Andrade, P. B., 2015, "Alternative and Efficient Extraction Methods for Marine-Derived Compounds," *Marine Drugs*, **13** (5), pp. 3182–3230.
- [104] Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., and Omar, A. K. M., 2013, "Techniques for Extraction of Bioactive Compounds from Plant Materials: A Review," *Journal of Food Engineering*, **117** (4), pp. 426–436.
- [105] Ciko, A. M., Jokić, S., Šubarić, D., and Jerković, I., 2018, "Overview on the Application of Modern Methods for the Extraction of Bioactive Compounds from Marine Macroalgae," *Marine Drugs*, **16** (10).
- [106] Chemat, F., Vian, M. A., and Cravotto, G., 2012, "Green Extraction of Natural Products: Concept and Principles," *International Journal of Molecular Sciences*, **13** (7), pp. 8615–8627.
- [107] Allaf, T., and Allaf, K., 2014, "Fundamentals of Process-Intensification Strategy for Green Extraction Operations," *Green Extraction of Natural Products: Theory and Practice*, pp. 145–172.
- [108] Kadam, S. U., Álvarez, C., Tiwari, B. K., and O'Donnell, C. P., 2015, Processing of seaweeds, in: *Seaweed Sustainability Food and Non-Food Applications*, 61–78. Elsevier Inc.
- [109] Kadam, S. U., Álvarez, C., Tiwari, B. K., and O'Donnell, C. P., 2015, Extraction of Biomolecules from Seaweeds, in: *Seaweed Sustainability Food and Non-Food Applications*, 243–269 Elsevier Inc.
- [110] Snyder, D. E., 2004, "Invited Overview: Conclusions from a Review of Electrofishing and Its Harmful Effects on Fish," *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, **13** (4), pp. 445–453.
- [111] Sabeena, S. F., Alagarsamy, S., Sattari, Z., Al-Haddad, S., Fakhraldeen, S., Al-Ghunaim, A., and Al-Yamani, F., 2020, "Enzyme-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Brown Seaweeds and Characterization," *Journal of Applied Phycology*, **32**, p. 615–629.
- [112] Brooks MS, R. V., 2013, "Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review," *Microb Biochem Technol*, **05** (04).
- [113] Achinas, S., Achinas, V., and Euverink, G. J. W., 2017, "A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste," *Engineering*, **3** (3), pp. 299–307.
- [114] Shi, X., Lin, J., Zuo, J., Li, P., Li, X., and Guo, X., 2017, "Effects of Free Ammonia on Volatile Fatty Acid Accumulation and Process Performance in the Anaerobic Digestion of Two Typical Bio-Wastes," *Journal of Environmental Sciences*, **55**, pp. 49–57.
- [115] Bentsen, N. S., Felby, C., and Thorsen, B. J., 2014, "Agricultural Residue Production and Potentials for Energy and Materials Services," *Progress in Energy and Combustion Science*, **40**, pp. 59–73.
- [116] Hadiyanto, A., Budiyo, B., Djohari, S., Hutama, I., and Hasyim, W., 2015, "The effect of f/m ratio to the anaerobic decomposition of biogas production from fish offal waste," *Waste Technol.*, **3** (2), pp. 58–61.
- [117] Salam, B., Islam, M., and Rahman, M. T., "Biogas from anaerobic digestion of fish waste," *Intl. Conf. of Mechanical Engineering* (ICME 2009), p. 4.
- [118] Kim, J.-Y., Lee, S.-M., and Lee, J.-H., 2012, "Biogas Production from Moon Jellyfish (*Aurelia Aurita*) Using of the Anaerobic Digestion," *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, **18** (6), pp. 2147–2150.
- [119] Eiroa, M., Costa, J. C., Alves, M. M., Kennes, C., and Veiga, M. C., 2012, "Evaluation of the Biomethane Potential of Solid Fish Waste," *Waste Management*, **32** (7), pp. 1347–1352.
- [120] Kafle, G. K., and Kim, S. H., 2012, "Evaluation of the Biogas Productivity Potential of Fish Waste: A Lab Scale Batch Study," *Journal of Biosystems Engineering*, **37** (5), pp. 302–313.
- [121] Gruduls, A., Bāliņa, K., Ivanovs, K., Romagnoli, F. Low Temperature BMP Tests Using Fish Waste from Invasive Round Goby of the Baltic Sea. *Agronomy Research*, 2018, Vol. 16, No. 2, 398–409. lpp.
- [122] Serrano, A., Siles, J. A., Gutiérrez, M. C., and Martín, M. Á., 2014, "Optimization of Anaerobic Co-Digestion of Strawberry and Fish Waste," *Appl Biochem Biotechnol*, **173** (6), pp. 1391–1404.
- [123] Nalinga, Y., and Legonda, I., 2016, "Experimental investigation on biogas production from anaerobic co-digestion of water hyacinth and fish waste," *International Journal of Innovative Research in Technology & Science* **4** (2), p. 9.
- [124] Solli, L., Bergersen, O., Sørheim, R., and Briseid, T., 2014, "Effects of a Gradually Increased Load of Fish Waste Silage in Co-Digestion with Cow Manure on Methane Production," *Waste Management*, **34** (8), pp. 1553–1559.
- [125] Kythreotou, N., Florides, G., and Tassou, S. A., 2014, "A Review of Simple to Scientific Models for Anaerobic Digestion," *Renewable Energy*, **71**, pp. 701–714.
- [126] Karpenstein-Machan, M. 2005. "Energiepflanzenbau Fur Biogasanlagenbetreiber." DLG-Verlag. 192 p.
- [127] Buswell, A. M., and Sollo, F. W., 1948, "The Mechanism of the Methane Fermentation," *J. Am. Chem. Soc.*, **70** (5), pp. 1778–1780.
- [128] Boyle, W. C., 1977, "Energy recovery from sanitary landfills – a review," *Microbial Energy Conversion*, Elsevier, pp. 119–138.
- [129] Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Hopfner-Sixt, K., Bodiroza, V., Hrbek, R., Friedel, J., Pötsch, E., Wagentristl, H., Schreiner, M., and Zollitsch, W., 2007. "Methane Production

- through Anaerobic Digestion of Various Energy Crops Grown in Sustainable Crop Rotations,” *Bioresource Technology*, **98** (17), pp. 3204–3212.
- [130] Almeida, C., and Báscolo, E., 2006, “Use of Research Results in Policy Decision-Making, Formulation, and Implementation: A Review of the Literature,” *Cadernos de Saúde Pública*, **22** (suppl), pp. S7–S19.
- [131] ECA, 2018, Special Report No. 05. Renewable energy for sustainable rural development: significant potential synergies, but mostly unrealized. 93 p. Pieejams:  
[https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18\\_05/SR\\_Renewable\\_Energy\\_EN.pdf](https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18_05/SR_Renewable_Energy_EN.pdf).
- [132] Rajendran, K., Aslanzadeh, S., and Taherzadeh, M. J., 2012, Household Biogas Digesters-A Review. *Energies*, **5** (8), 2911–2942.
- [133] Shian, S.-T., Chang, M.-C., Ye, Y.-T., and Chang, W., 2003, “The Construction of Simple Biogas Digesters in the Province of Szechwan, China,” *Agricultural Wastes*, **1** (4), pp. 247–258.
- [134] An, B. X., Rodriguez, J., Sarwatt, S., Preston, T., and Dolberg, F., 1997, “Installation and Performance of Low-Cost Polyethylene Tube Biodigesters on Small-Scale Farms,” *World Animal Review*, **88** (1), pp. 38–47.
- [135] Bong, C. P. C., Lim, L. Y., Lee, C. T., Klemeš, J. J., Ho, C. S., and Ho, W. S., 2018, “The Characterisation and Treatment of Food Waste for Improvement of Biogas Production during Anaerobic Digestion – A Review,” *Journal of Cleaner Production*, **172**, pp. 1545–1558.
- [136] Bücker, F., Marder, M., Peiter, M. R., Lehn, D. N., Esquerdo, V. M., Antonio de Almeida Pinto, L., and Konrad, O., 2020, “Fish Waste: An Efficient Alternative to Biogas and Methane Production in an Anaerobic Mono-Digestion System,” *Renewable Energy*, **147**, pp. 798–805.
- [137] Ivanovs, K., Spalvins, K., and Blumberga, D., 2018, “Approach for Modelling Anaerobic Digestion Processes of Fish Waste,” *Energy Procedia*, **147**, pp. 390–396.
- [138] Getahun, T., Gebrehiwot, M., Ambelu, A., Van Gerven, T., and Van Der Bruggen, B., 2014, “The Potential of Biogas Production from Municipal Solid Waste in a Tropical Climate,” *Environmental Monitoring and Assessment*, **186** (7), pp. 4637–4646.
- [139] Ferrer, L., Garfi, M., Uggetti, E., Ferrer-Martí, L., Calderon, A., and Velo, E., 2011, “Biogas Production in Low-Cost Household Digesters at the Peruvian Andes,” *Biomass and Bioenergy*, **35** (5), pp. 1668–1674.
- [140] Zhang, C., Su, H., Baeyens, J., and Tan, T., 2014, “Reviewing the Anaerobic Digestion of Food Waste for Biogas Production,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **38**, pp. 383–392.
- [141] Venslauskas, K., Navickas, K., Nappa, M., Kangas, P., Mozūraitytė, R., Šližytė, R., and Župerka, V., 2021, “Energetic and Economic Evaluation of Zero-Waste Fish Co-Stream Processing,” *IJERPH*, **18** (5), p. 2358.
- [142] Shahid, K., Srivastava, V., and Sillanpää, M., 2021, “Protein Recovery as a Resource from Waste Specifically via Membrane Technology – from Waste to Wonder,” *Environ Sci Pollut Res*, **28** (8), pp. 10262–10282.
- [143] Kratky, L., and Zamazal, P., 2020, “Economic Feasibility and Sensitivity Analysis of Fish Waste Processing Biorefinery,” *Journal of Cleaner Production*, **243**, p. 118677.
- [144] Weinberger, F., Paalme, T., and Wikström, S. A., 2020, “Seaweed Resources of the Baltic Sea, Kattegat and German and Danish North Sea Coasts,” *Botanica Marina*, **63** (1), pp. 61–72.
- [145] Naseri, Alireza, 2019, “Valorization of Red Seaweed Biomasses towards Future Sustainability,” *PhD thesis*, Technical University of Denmark.
- [146] Marangoni Júnior, L., Vieira, R. P., Jamróz, E., and Anjos, C. A. R., 2021, “Furcellaran: An Innovative Biopolymer in the Production of Films and Coatings,” *Carbohydrate Polymers*, **252**, p. 117221.
- [147] Lymperatou, A., Engelsens, T. K., Skiadas, I. V., and Gavala, H. N., 2022, “Different Pretreatments of Beach-Cast Seaweed for Biogas Production,” *Journal of Cleaner Production*, **362**, p. 132277.
- [148] Lu, J., Song, F., Liu, H., Chang, C., Cheng, Y., and Wang, H., 2021, “Production of High Concentration Bioethanol from Reed by Combined Liquid Hot Water and Sodium Carbonate-Oxygen Pretreatment,” *Energy*, **217**, p. 119332.
- [149] Yu, J., Paterson, N., Blamey, J., and Millan, M., 2017, “Cellulose, Xylan and Lignin Interactions during Pyrolysis of Lignocellulosic Biomass,” *Fuel*, **191**, pp. 140–149.
- [150] Barbooti, M. M., Matlub, F. K., and Hadi, H. M., 2012, “Catalytic Pyrolysis of Phragmites (Reed): Investigation of Its Potential as a Biomass Feedstock,” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **98**, pp. 1–6.
- [151] Lindorfer, J., Lettner, M., Fazeni, K., Rosenfeld, D., Annevelink, B., and Mandl, M. 2019. “Technical, Economic and Environmental Assessment of Biorefinery Concepts,” IEA Bioenergy p. 55. Pieejams: [https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/07/TEE\\_assessment\\_report\\_final\\_20190704-1.pdf](https://task42.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2019/07/TEE_assessment_report_final_20190704-1.pdf).
- [152] Usmani, Z., Sharma, M., Awasthi, A. K., Sivakumar, N., Lukk, T., Pecoraro, L., Thakur, V. K., Roberts, D., Newbold, J., and Gupta, V. K., 2021, “Bioprocessing of Waste Biomass for Sustainable Product Development and Minimizing Environmental Impact,” *Bioresource Technology*, **322**, p. 124548.

- [153] Zetterholm, J., Bryngemark, E., Ahlström, J., Söderholm, P., Harvey, S., and Wetterlund, E., 2020, "Economic Evaluation of Large-Scale Biorefinery Deployment: A Framework Integrating Dynamic Biomass Market and Techno-Economic Models," *Sustainability*, **12** (17), p. 7126.
- [154] Kampers, L. F. C., Asin-Garcia, E., Schaap, P. J., Wagemakers, A., and Martins dos Santos, V. A. P., 2022, "Navigating the Valley of Death: Perceptions of Industry and Academia on Production Platforms and Opportunities in Biotechnology," *EFB Bioeconomy Journal*, **2**, p. 100033.
- [155] European Commission. Directorate General for Research and Innovation., 2023, *ERA Industrial Technology Roadmap for Circular Technologies and Business Models in the Textile, Construction and Energy-Intensive Industries.*, Publications Office, LU.



**Kaspars Ivanovs** dzimis 1992. gadā Jēkabpilī. Latvijas Universitātē ieguvis dabaszinātņu bakalaura un maģistra grādu vides zinātnē. Strādājis par LR Valsts vides dienesta Zvejas kontroles departamenta Jūras kontroles daļas inspektoru, bijis RTU EVIF Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta un Pārtikas drošības, dzīvnieku veselības un vides zinātniskā institūta "BIOR" pētnieks. Patlaban ir LR Izglītības un zinātnes ministrijas Augstākās izglītības, zinātnes un inovāciju departamenta nozares eksperts un Liepājas Universitātes Dabaszinātņu un inovatīvo tehnoloģiju institūta pētnieks. Zinātniskās intereses saistītas ar biomasas apsaimniekošanu, lai efektīvi ražotu produktus ar augstāku pievienoto vērtību.