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

Karīna Bāliņa
Doktora studiju programmas "Vides zinātne" doktorante

BALTIJAS JŪRAS MAKROAĻĢU BIORAFINĒRIJA

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
profesors *Dr. sc. ing.*
FRANCESCO ROMAGNOLI

RTU Izdevniecība
Rīga 2020

Bāliņa, K. Baltijas jūras makroaļģu biorafinērija. Promocijas darba kopsavilkums. Rīga: RTU Izdevniecība, 2020. 34 lpp.

Iespiests saskaņā ar Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta 2020. gada 24. augusta lēmumu, protokola Nr. 139.

https://doi.org/10.7250/9789934225529
ISBN 978-9934-22-551-2 (print)
ISBN 978-9934-22-552-9 (pdf)

PROMOCIJAS DARBS IZVIRZĪTS ZINĀTNES DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI RĪGAS TEHNISKAJĀ UNIVERSITĀTĒ

Promocijas darbs zinātnes doktora (*Ph. D.*) grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2020. gada 10. decembrī plkst. 14 Rīgas Tehniskās universitātes Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātē, Āzenes ielā 12 k-1, 115. auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors *Dr. sc. ing.* Ritvars Sudārs,
Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Latvija

Profesors *Dr. sc. ing.* Edmunds Teirumnieks,
Rēzeknes Tehnoloģiju akadēmija, Latvija

Asociētais profesors *Ph. D. Fabio Rindi*,
Markes Politehniskā universitāte, Itālija

APSTIPRINĀJUMS

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

Karīna Bāliņa ……. (paraksts)

Datums: ……

Promocijas darbs ir uzrakstīts angļu valodā, tajā ir ievads, trīs nodaļas, secinājumi, literatūras saraksts, 31 attēls, 15 tabulu, viens pielikums, kopā 158 lappuses. Literatūras sarakstā ir 284 atsauces.

SATURS

IEVADS **5**
Darba mērķis un uzdevumi 6
Promocijas darba aktualitāte un hipotēzes 6
Pētījuma metodika 7
Promocijas darba zinātniskā nozīme un autores ieguldījums 8
Promocijas darba praktiskā nozīme 9
Pētījuma aprobācija 9
1. LITERATŪRAS APSKATS **12**
2. METODIKA **15**
2.1. Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas izveide 15
2.2. Biorafinērijas izejvielu pieejamības uzlabošana 18
3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA **21**
3.1. Izejvielas Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijai 21
3.2. Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas produkti un tehnoloģijas 23
3.3. Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepts 25
3.4. Jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas priekšrocības un trūkumi: SVID analīze. 26
3.5. Jūras makroaļģu audzēšanas laboratorija 27
SECINĀJUMI **29**
IZMANTOTĀ LITERATŪRA **30**

IEVADS

Jūras makroaļģes ir viens no nenovērtētākajiem pasaules biomasas resursiem, taču pašlaik starptautiskajā darba kārtībā tās tiek uzskatītas par alternatīvu biomasas avotu, kas spētu nodrošināt arvien pieaugošo pieprasījumu pēc ilgtspējīgiem materiāliem un īstenotu "zilās izaugsmes" politikas mērķu sasniegšanu. 70 % Zemes klāj ūdens, tāpēc jūras makroaļģu audzēšanai ir milzīgs potenciāls. Atšķirībā no sauszemes augu kultūrām aļģu augšanai nav nepieciešami mūsdienu sabiedrības ierobežotie resursi – aramzeme, saldūdens, kā arī mēslojums, ja makroaļģu audzēšanai tiek izmantotas dabīgās ūdenstilpes, piemēram, jūras, kas ir bagātas ar barības [1].

Jūras makroaļģu kā resursu plašās izmantošanas iespējas ir atklātas un tiek lietotas jau vairāku gadsimtu garumā. Jūras makroaļģu ražošana, proti, audzēšana un ievākšana, no dabīgajām ūdenstilpēm tiek praktizēta daudzās valstīs un ir vairāku miljardu vērta industrija. Jūras makroaļģes ir plaši izplatītas dažādās pasaules vietās un dažādos jūras dziļumos. Tā rezultātā visā pasaulē tiek izmantota vismaz 291 jūras makroaļģu suga, tostarp 33 *Clorophyta* jeb zaļaļģu sugas, 75 *Ochrophyta* jeb brūnaļģu sugas un *Rhodophyta* jeb sārtaļģu sugas. Svarīgi atzīmēt to, ka līdz šim izmantoto sugu skaits veido vien 3 % no kopējā jūras makroaļģu sugu skaita. Tas nozīmē vien to, ka šī resursa apgūšanai nākotnē būs nepieciešams veikt arvien jaunus pētījumus [2].

Tradicionāli jūras makroaļģes tiek izmantotas medicīnā, augsnes uzlabošanā, enerģijas ieguvei sadedzinot, izolācijas materiālos, arī kā lopbarības piedeva, taču visbiežāk tās tiek izmantotas pārtikā [3]. Jūras makroaļģes ir vērtīgs pārtikas avots Āzijas valstīs, tomēr pēdējās desmitgadēs ir pieaugusi arī rietumvalstu patērētāju interese par jūras makroaļģu izmantošanu to zemā kaloriju satura un augstā šķiedrvielu, minerālvielu, vitamīnu, kā arī antioksidantu satura dēļ. Vairāki pētījumi ir pierādījuši makroaļģu kā potenciālu hidrokoloīdu avotu, ko var izmantot kā stabilizējošu vielu pārtikā, farmācijā un kosmētikā [4]. Jaunākajos pētījumos makroaļģes tiek atzītas par trešās paaudzes biodegvielas avotu [5]. Augstā ogļhidrātu satura, lignīna trūkuma un zemā celulozes satura dēļ makroaļģes tiek uzskatītas kā piemērota biomasa metāna ieguvei, izmantojot anaerobās pārstrādes tehnoloģiju.

Jūras makroaļģu izmantošana Baltijas jūras reģionā ir ierobežota specifisko augšanas apstākļu dēļ – zems sāļums, neregulāras straumes un augsts barības vielu līmenis. Lai arī makroaļģes Baltijas jūrā nesasniedz tādu pašu izmēru un biomasas daudzumu kā ūdenstilpēs ar lielāku (vai zemāku) sāļumu, no jūras izskaloto makroaļģu biomasa bieži vien ir lielos daudzumos un var samazināt sabiedrisko pludmaļu rekreatīvo vērtību.

Vēl nesen gandrīz visa jūras makroaļģu biomasa tika iegūta no dabīgajām makroaļģu audzēm, taču, tā kā pieprasījums pēc jūras makroaļģu biomasas sāka pārsniegt piedāvājumu, audzēšana tika uzskatīta par veidu, kā dabai saudzīgākā veidā nodrošināt augošo pieprasījumu. Pēdējā laikā makroaļģu audzēšana ir atzīta par ienesīgu uzņēmējdarbības veidu, kas arvien straujāk attīstās arī Baltijas jūras rietumu reģionos, savukārt Baltijas jūras austrumu reģioni joprojām tiek uzskatīti par nepiemērotiem jūras makroaļģu audzēšanai.

Jūras makroaļģu izmantošanas un akvakultūras nozares attīstība Baltijas jūras austrumu reģionos ir svarīga, lai atbalstītu ilgtspējīgu ar jūru saistīto tautsaimniecības sektoru attīstību,

pamatojoties uz Eiropas jūras nozaru ekonomiku. Tas stiprinātu arī iekļaušanos Eiropas zaļajā kursā, kas ir ambiciozs pasākumu kopums siltumnīcefekta gāzu emisiju samazināšanai un stimulē ieguldījumus progresīvā pētniecībā, inovācijās, kā arī Eiropas dabas daudzveidības saglabāšanā [6].

Darba mērķis un uzdevumi

Šī promocijas darba kopējais mērķis ir veikt integrētu pētījumu, lai novērtētu Latvijā pieejamo jūras makroaļģu iespējamo lietojumu biorafinērijā: lai noteiktu potenciāli izmantojamās jūras makroaļģu sugas, noskaidrot iespējamo biomasas pieejamās daudzumu un meklētu virzienu jūras makroaļģu izmantošanai, lai tās kļūtu par tautsaimniecības daļu un tiktu atzītas par nozīmīgu biomasas veidu.

Lai sasniegtu promocijas darba mērķi, tika definēti šādi uzdevumi:

1) definēt Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepciju, radot dziļāku izpratni par pieejamajām jūras makroaļģēm, to sastāvu un novērtētu iespējamos biomasas transformācijas ceļus:
   a) veikt literatūras analīzi par jūras makroaļģu biomasu Latvijā:
      - aprakstīt Latvijā esošo jūras makroaļģu īpašības, pieejamību un ķīmisko sastāvu;
      - pamatojoties uz veikto analīzi, noteikt vispiemērotākos produktus katrai jūras makroaļģu grupai;
   b) izstrādāt konceptuālo dizainu biorafinērijas koncepcijai;
   c) veikt SVID analīzi izveidotajai biorafinērijas koncepcijai;
2) piedāvāt vadlīnijas, lai paplašinātu jūras makroaļģu biomasas pieejamību:
   a) izveidot funkcionējošu makroaļģu audzēšanas laboratoriju;
   b) izstrādāt Baltijas jūras makroaļģu audzēšanas vadlīnijas;
   c) veikt praktiskus eksperimentus laboratorijā, lai raksturotu augšanas apstākļus un identificētu jūras makroaļģu augšanu ierobežojošos faktorus.

Promocijas darba aktualitāte un hipotēzes

Promocijas darbā izvirzītas vairākas hipotēzes.

1. Baltijas jūras piekrastē Latvijā pieejamo jūras makroaļģu biomasu var izmantot augstas pievienotās vērtības produktu ražošanai.
2. Biorafinērijas koncepcija var uzlabot jūras makroaļģu pārstrādes praksi un paplašināt iegūstamo produktu klāstu.
3. Kontrolētu vides apstākļu nodrošināšana laboratorijā ir nozīmīgs solis, lai palielinātu Baltijas jūras makroaļģu biomasas pieejamību.

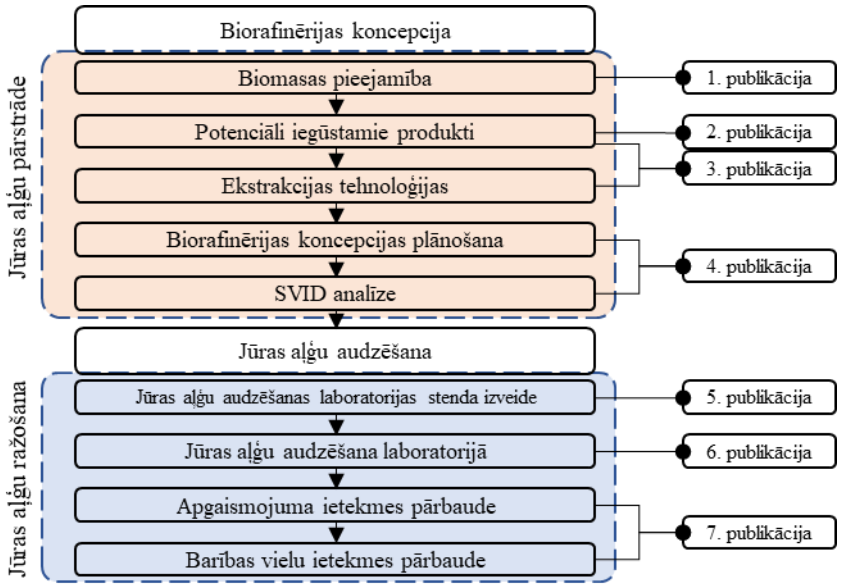
Latvijā pieejamā jūras makroaļģu biomasa ir nepietiekami novērtēts biomasas resurss. Pasaulē pieaugošais pieprasījums pēc biomasas, ko izraisījis straujais iedzīvotāju skaita pieaugums, liek pētīt ne tikai zemes, bet arī jūras vides biomasas resursus. Latvijas jūras krastā regulāri tiek novērota izskaloto jūras makroaļģu biomasa, tomēr precīzi dati par kopējo

apjomu nav pieejami. Pašlaik jūras piekrastē izskalotās jūras makroaļģes izmanto kāpu nostiprināšanai, kā mēslojumu vietējās lauksaimniecības zemēs vai noglabā atkritumu poligonos. Promocijas darba izstrādes laikā ir veikts Latvijā pieejamo jūras makroaļģu izvērtējums, lai noteiktu pieejamo jūras makroaļģu biomasu un noteiktu, kuras ir biežāk sastopamās jūras makroaļģu sugas Latvijā (1. un 2. publikācija). Lai veiktu tālāku makroaļģu biomasas potenciāla izpēti, tika izvēlētas trīs Latvijas piekrastē visbiežāk izplatītās makroaļģu sugas, kas reprezentētu katru no makroaļģu grupām. Latvijā izplatītāko jūras makroaļģu potenciāls tika noteikts, apkopojot un analizējot zinātniskajā literatūrā pieejamos datus par trīs attiecīgo makroaļģu sugu ķīmisko sastāvu. Lai pilnībā izprastu makroaļģu potenciālu, tika ņemtas vērā sastāva analīzes, kas veiktas ne tikai Latvijā un Baltijā, bet arī citur pasaulē sastopamajām šo sugu makroaļģēm. Papildus ķīmiskā sastāva apkopošanai tika apkopotas arī tehnoloģijas, kas izmantojamas izmantot attiecīgo vielu iegūšanai (3. publikācija). Ir zināms, ka sāļums Baltijas jūras austrumu reģionos krasi atšķiras no tiem apgabaliem, kas atrodas okeānu tuvumā. Šādi iesāļa ūdens apgabali ir palielināta stresa apstākļi tajos dzīvojošajiem ūdens organismiem, tostarp makroaļģēm. Tāpēc šādā vidē augušās makroaļģes ir mazākas izmēros un līdz ar to nesniedz tādus biomasas apmērus kā makroaļģes, kas augušas apgabalos ar augstu sāļuma līmeni. Tomēr vērtīgas vielas ir atrodamas arī makroaļģēs, kas augušas iesāļa ūdens apgabalos. Ņemot vērā ierobežoto pieejamās biomasas daudzumu, tika izstrādāts biorafinērijas koncepcijas konceptuālais modelis, kas paredz biomasas pilnīgu izmantošanu: vispirms iegūstot augstākas pievienotās vērtības produktus, tad, ievērojot kaskādes principu, mazāk vērtīgus produktus, tikai atlikušo biomasu izmantojot bioenerģijas iegūšanai. Biorafinērijas koncepcija ir jāizstrādā tā, lai tā atbilstu bioekonomikas principiem, iekļaujot arī stipro un vājo pušu puses, iespēju un draudu izvērtējumu, kas norāda, ka lielākā problēma ir pieejamās biomasas nekonkrētais apjoms un sastāvs (4. publikācija). Šis negatīvais aspekts varētu tikt novērsts, attīstot makroaļģu kultivēšanas iespējas Baltijas jūras austrumu daļā. Pirmais solis makroaļģu audzēšanas iesākšanā ir izveidot un pārbaudīt makroaļģu audzēšanas laboratoriju. Laboratorija tika pārbaudīta, mainot makroaļģu audzēšanas parametrus, tādējādi tika noteikti makroaļģu audzēšanai labvēlīgi parametri (5., 6. un 7. publikācija).

Pētījuma metodika

Promocijas darbā izmantotā pētījumu metodika ir parādīta 1. attēlā. Izmantotā metodika iekļauj gan kvalitatīvu, gan kvantitatīvu pētījumu metožu izmantošanu: literatūras analīze, eksperimenti laboratorijā, statistikas datu vākšana un analīze.

Vispirms tika veikts biomasas pieejamības novērtējums, apkopojot iepriekš veiktos pētījumus. Lai izveidotu Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepciju, tika veikta padziļināta literatūras analīze, lai noteiktu iespējamos produktus, ko var iegūt no jūras makroaļģu biomasas, un potenciālās ieguves tehnoloģijas. Iegūtā informācija tika izmantota, lai izveidotu potenciālos Baltijas jūras makroaļģu biomasas izmantošanas ceļus, ko izmantot biorafinērijas koncepcijas izveidē. Lai attīstītu makroaļģu audzēšanas iespējas Baltijas reģionā, tika attīstīts makroaļģu audzēšanas laboratorijas stends un noteikti vides faktori, kas regulē makroaļģu augšanas ātrumu, kā arī veikti vairāki eksperimenti.



1. att. Izmantotās metodoloģijas attīstības pārskats.

Promocijas darba zinātniskā nozīme un autores ieguldījums

Promocijas darbam ir augsta zinātniskā nozīme gan Latvijas, gan starptautiskā mērogā. Biorafinērijas koncepcija tika izstrādāta, apvienojot no jūras makroaļģēm iegūstamos produktus un jaunākās tehnoloģijas. Šāda pētījuma nepieciešamību apstiprina autores publicēto rakstu citējamība.

1. Bāliņa, K., Romagnoli, F., Blumberga, D. Seaweed biorefinery concept for sustainable use of marine resources. Energy Procedia, 2017, 128, pp. 504–511. (Scopus) (31 citējums).
2. Bāliņa, K., Romagnoli, F., Blumberga, D. Chemical Composition and Potential Use of *Fucus Vesiculosus* from the Gulf of Riga. Energy Procedia, 2016, 95, pp. 43–49 (Scopus) (15 citējumu).
3. Bāliņa, K., Romagnoli, F., Pastare, L., Blumberga, D. Use of Macroalgae for Bioenergy Production in Latvia: Review on Potential Availability of Marine Coastline Species. Energy Procedia, 2017, 113, pp. 403–410. (Scopus) (6 citējumi).
4. Bāliņa, K., Līkā, A., Romagnoli, F., Blumberga, D. Seaweed Cultivation Laboratory Testing: Effects of Nutrients on Growth Rate of Ulva intestinalis. Energy Procedia, 2017, 113, pp. 454–459. (Scopus) (4 citējumi).

Izveidojot jūras makroaļģu audzēšanas laboratoriju, ir palielināta Latvijas pētniecības kapacitāte. Jūras makroaļģu audzēšanas parametru noteikšana ļauj audzēt jūras makroaļģes laboratorijas apstākļos un veikt makroaļģu pavairošanas procesus. Detalizēti izstrādātās vadlīnijas par jūras makroaļģu audzēšanu ļauj nodot šīs zināšanas un attīstīt citu jūras makroaļģu audzēšanu citās laboratorijās. Promocijas darbā iegūtie rezultāti aizpilda esošās zināšanu nepilnības par jūras makroaļģu audzēšanu, tos var izmantot par bāzi, lai turpinātu pētniecību.

Promocijas darba praktiskā nozīme

Pētījumi par jūras makroaļģu audzēšanu un apstrādi ir nozīmīgs ieguldījums, lai sasniegtu Latvijas un ES definēto Zilās izaugsmes stratēģiju un ES Zilās ekonomikas koncepciju. Jūras resursu pārdomāta izmantošana ilgtermiņā atvieglo sauszemes biomasas resursiem radīto slogu.

Promocijas darbā izstrādātās vadlīnijas var izmantot, plānojot vietējās un reģionālās plānošanas stratēģijas, jo tās sniedz padziļinātu ieskatu jaunu jūras makroaļģu audzēšanas un apstrādes iekārtu izveidē. Biorafinērijas koncepciju ar stipro un vājo pušu, draudu un iespēju novērtējumu (SVID) var izmantot kā instrumentu jūras makroaļģu pārstrādes uzņēmumiem, lai plānotu iespējamās jūras makroaļģu izmantošanas iespējas. Biorafinērijas koncepciju var papildināt un izmantot arī citu biomasas veidu izmantošanai.

Izpētes procesā RTU Elektrotehnikas un vides inženierzinātņu fakultātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta (VASSI) Biosistēmu laboratorijā tika izveidots makroaļģu audzēšanas laboratorijas stends, kur iespējams veikt makroaļģu audzēšanu un eksperimentālo darbību.

Pētījuma aprobācija

Autores pētījuma rezultāti ir prezentēti astoņās zinātniskajās konferencēs, publicēti 10 zinātniskajos pilntekstu žurnālos, divos konferences rakstu krājumos un divās mācību grāmatās.

Zinātniskās publikācijas

1. 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, 24 (2), pp. 178–195 (Scopus).
2. Bāliņa, K., Piščika, A., Gruduls, A., Romagnoli, F., Blumberga, D. Lab scale cultivation of Baltic *Ulva intestinalis* in different light and nutrient conditions: Effects on growth and morphology. *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*, 2018, pp. 223–227 (Scopus).
3. 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), pp. 398–409. (Scopus) (3 citējumi).
4. Bāliņa, K., Boderskov, T., Bruhn, A., Romagnoli, F. Increase of *Fucus vesiculosus* fertilization success: Testing of different receptacle drying methods to increase spore release. *Energy Procedia*, 2018, 147, pp. 282–287. (Scopus).
5. Krastiņa, J., Romagnoli, F., Bāliņa, K. SWOT analysis for a further LCCA-based techno-economic feasibility of a biogas system using seaweeds feedstock. *Energy Procedia*, 2017, 128, pp. 491–496. (Scopus) (1 citējums).

6. Bāliņa, K., Romagnoli, F., Blumberga, D. Seaweed biorefinery concept for sustainable use of marine resources. *Energy Procedia*, 2017, 128, pp. 504–511. (Scopus) (31 citējums).
7. Bāliņa, K., Romagnoli, F., Pastare, L., Blumberga, D. Use of Macroalgae for Bioenergy Production in Latvia: Review on Potential Availability of Marine Coastline Species. *Energy Procedia*, 2017, 113, pp. 403–410. (Scopus) (6 citējumi).
8. Bāliņa, K., Līkā, A., Romagnoli, F., Blumberga, D. Seaweed Cultivation Laboratory Testing: Effects of Nutrients on Growth Rate of *Ulva intestinalis*. *Energy Procedia*, 2017, 113, pp. 454–459. (Scopus) (4 citējumi).
9. Sabūnas, A., Romagnoli, F., Pastare, L., Bāliņa, K. Laboratory Algae Cultivation and BMP Tests with *Ulva intestinalis* from the Gulf of Riga. *Energy Procedia*, 2017, 113, pp. 277–284 (Scopus) (4 citējumi).
10. Romagnoli, F., Pastare, L., Sabūnas, A., Bāliņa, K., Blumberga, D. Effects of pre-treatment on Biochemical Methane Potential (BMP) testing using Baltic Sea *Fucus vesiculosus* feedstock, *Biomass and Bioenergy*, 2017, 105, pp. 23–31 (Scopus) (11 citējumu).
11. Bāliņa, K., Romagnoli, F., Blumberga, D. Chemical Composition and Potential Use of *Fucus Vesiculosus* from Gulf of Riga. *Energy Procedia*, 2016, 95, pp. 43–49 (Scopus) (15 citējumu).
12. Bāliņa, K., Balode, M., Muzikante, L., Blumberga, D. Impact of synthetic hormone 17α-ethinylestradiol on growth of microalgae *Desmodesmus communis*. *Agronomy Research*, 2015, 13 (2), pp. 445–454 (Scopus).

Monogrāfijas

1. Blumberga, D., Gedrovičs, M., Kirsanovs, V., Timma, L., Kļaviņa, K., Kubule, A., Kļaviņš, J., Muižniece, I., Kauls, O., Barisa, A., Bāliņa, K., Lauka, D., Ziemele, J., Kārkliņa, I. Laboratorijas darbu krājums vides inženierzinātņu studentiem. 3. daļa. Rīga: RTU Izdevniecība, 2016. 92 lpp. ISBN 978-9934-10-747-4.
2. Blumberga, D., Veidenbergs, I., Blumberga, A., Dāce, E., Gušča, J., Rošā, M., Romagnoli, F., Pubule, J., Barisa, A., Timma, L., Bāliņa, K., Kļaviņa, K., Kubule, A., Lauka, D., Muižniece, I., Kalnbaļķīte, A., Kārkliņa, I., Prodaņuks, T. Biotehonomika: metodiskais materiāls. Rīga: Rīgas Tehniskās universitātes Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūts, 2016. 84 lpp.

Konferences

1. Bāliņa, 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.

2. Bāliņa, K., Gruduls, A., Romagnoli, F. Lab Scale Cultivation of Baltic Ulva Intestinalis in Different Light and Nutrient Conditions: Effects on Growth and Morphology. *26th European Biomass Conference and Exhibition*, May 14–18, 2018, Denmark, Copenhagen.
3. Bāliņa, K., Romagnoli, F., Blumberga, D. Seaweed Biorefinery Concept for Sustainable Use of Marine Resources. The Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2017, October 12–14, 2017, Riga, Latvia.
4. Bāliņa, K., Romagnoli, F., Pastare, L., Blumberga, D. Use of Macroalgae for Bioenergy Production in Latvia: Review on Potential Availability of Marine Coastline Species. The Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2016, October 12–14, 2016, Riga, Latvia.
5. Bāliņa K., Romagnoli F., Blumberga D. Chemical Composition and Potential Use of Fucus Vesiculosus from Gulf of Riga. The Conference of Environmental and Climate Technologies CONECT 2015, October 14–16, 2015, Riga, Latvia.
6. Bāliņa K., Balode M., Blumberga D. Impact of Synthetic Hormone 17α-Ethinylestradiol on Growth of Microalgae Desmodesmus Communis. 6th International Conference "Biosystems Engineering 2015", May 7–8, 2015, Tartu, Estonia.
7. Bāliņa K., Romagnoli F., Pastare L., Blumberga D. Use of Macroalgae for Bioenergy Production in Latvia: Review on Potential Availability of Marine Coastline Species. 23rd European Biomass Conference and Exhibition, June 1–4, 2015, Austria, Vienna.
8. Bāliņa K., Balode M., Putna I. Effects of the Synthetic Hormone 17α-ethinylestradiol on Aquatic Organisms of Different Trophic Levels. Conference "Environmental Science and education in Latvia and Europe": theses, October 24, 2014, Riga, Latvia.

Vadītie un līdzvadītie bakalaura un maģistra darbi

1. Agija Līkā. Aļģu audzēšanas labotratorijas testēšana. RTU, 2016.
2. Jekaterina Krastiņa. Techno-economic feasibility of seaweed based conversion systems: an LCCA perspective. Maģistra darbs. RTU, 2017 (angļu valodā).
3. Marta Delle (Āboliņa). Biogāzes potenciāls no Baltijas jūrā pieejamām makro aļģēm: mehāniskās pirmapstrādes ietekme uz BMP testu. Maģistra darbs. RTU, 2017.
4. Vilma Živelyte. Experimental investigation of nanocomposites application for the oil contaminated soil treatment. Maģistra darbs. RTU, 2017 (angļu valodā).
5. Anastasija Piščika. Vides parametru loma *Ulva intestinalis* kultivēšanā laboratorijas apstākļos. Bakalaura darbs. RTU, 2018.

1. LITERATŪRAS APSKATS

Biorafinērija ir biomasas apstrādes metode, kas ļauj iegūt degvielu, enerģiju un produktus ar pievienoto vērtību, piemēram, ķīmiskās vielas un materiālus [7]. Biorafinērija ir nozīmīga bioekonomikas sastāvdaļa, kas apvieno dažādus biomasas pārveidošanas procesus pievienotās vērtības produktu un bioenerģijas ieguvei vienotā sistēmā [8]. Biomasas pārstrāde, izmantojot biorafinērijas koncepciju, padara ražošanas procesus ekonomiski un ekoloģiski iespējamus, ņemot vērā arī sociālos un politiskos aspektus [9].

Jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcija piedāvā konceptuālu modeli augstas pievienotās vērtības produktu, kā arī biodegvielas ražošanai [10]. Biomasa tiek izmantota maksimāli efektīvi, un kopējie ar ražošanu saistītie izdevumi tiek samazināti. Plānojot ražošanas procesu, ir būtiski izmantot funkcionālu biorafinērijas koncepciju, kurā visa biomasa un enerģija no ražošanas procesiem tiktu pilnībā izmantota. Biomasas pārveides procesiem (fizikālajiem, ķīmiskajiem, bioloģiskajiem un termiskajiem), ko izmanto produktu ražošanā, jādarbojas simbiotiskā veidā, individuāli vai sistēmā, lai radītu ekonomiski ilgtspējīgus produktus [8]. Atkritumproduktus un atlikumus, kas rodas kādā no apstrādes posmiem, izmanto kā izejvielas citā ražošanas procesā, ievērojot kaskādes metodes principus [10], [11]. Nepieciešamo siltumenerģiju konkrētam biorafinērijas posmam var iegūt no citā procesā iegūtās siltumenerģijas recirkulācijas [12]. Enerģijas iegūšanā tiktu izmantoti tikai ražošanas atkritumprodukti un atlikumi, ko nevar izmantot turpmākos ražošanas procesos, kā arī zemas kvalitātes biomasa. Šāda veida pieeja ļauj samazināt biorafinērijas koncepcijas ražotnē radušos atkritumu daudzumu gandrīz līdz pilnīgai bezatkritumu sistēmai [13].

Ņemot vērā bioekonomikas aspektu, biorafinērijas koncepcija var stiprināt dažādu nozaru industriju globālo konkurētspēju. Tas attiecas uz tādām nozarēm kā lauksaimniecība, mežsaimniecība, zivsaimniecība, kā arī tiek stiprināta to nozaru attīstība, kas saistītas ar zaļo ķimikāliju un materiālu, biopolimēru, kā arī jaunu un esošu pārtikas un barības vielu sastāvdaļu ražošanu. Tādā veidā tiktu izpētīta mūsdienīgas biorafinērijas ieviešana bioekonomikā.

Baltijas jūrā ir sastopami trīs makroaļģu veidi – zaļaļģes (*Chlorophyta)*, brūnaļģes (*Phaeophyceae*) un sārtaļģes (*Rhodophyta*). Dabā tās ir pieejamas trīs dažādās formās: piestiprinātas augšanas substrātam un kalpo kā barotne un dzīves vide zoobentosam un zivju nārstam; daļa makroaļģu ir atdalīta no substrāta, un to dreifēšana ir pakļauta viļņu un straumju ietekmei; liela daļa makroaļģu sastopamas izskalotā veidā, veidojot sanesumus kāpu zonā [14].

Makroaļģu ķīmiskais sastāvs (piemēram, olbaltumvielas, minerālvielas, ogļhidrāti, lipīdi un minerālvielas) atšķiras atkarībā no to sugas, ievākšanas laika, ģeogrāfiskās atrašanās vietas un vides apstākļiem, piemēram, temperatūras, gaismas un barības vielu koncentrācijas ūdenī. Pat vienas un tās pašas jūras makroaļģu ģints ķīmiskais sastāvs var ievērojami atšķirties [15].

Pasaulē jūras makroaļģes ir kļuvušas par lētāku alternatīvu olbaltumvielu avotam galvenokārt neaizstājamo aminoskābju dēļ, īpaši jaunattīstības valstīs [16]. Parasti olbaltumvielu koncentrācija sarkanajās un zaļajās jūras makroaļģēs ir relatīvi augsta (10–30 % sausnas), brūnajās jūras makroaļģēs to koncentrācija ir vidēji 3–15 % sausnas [17]. Olbaltumvielu satura ziņā makroaļģes varētu salīdzināt ar pākšaugiem, piemēram, sojas

pupiņām, kur olbaltumvielu saturs ir 35 % sausnas. Tādējādi jūras makroaļģes var būt piemērota alternatīva veģetāriešu un vegānu uzturam [18]. Pigmenti jūras makroaļģēs absorbē fotosintēzei nepieciešamo gaismu dažādos ūdens dziļumos, kuros ir dažādas gaismas intensitātes pakāpes. Šos pigmentus var iedalīt trīs galvenajās grupās, kas ietver hlorofilu, fikobiliproteīnus un karotenoīdus, kas labvēlīgi ietekmē veselību [15].

Jūras makroaļģēm raksturīgs arī augsts polisaharīdu saturs, kas veido makroaļģu šūnu struktūras. Tiem ir dažādi komerciāli lietojumi produktos, tie ir, piemēram, stabilizētāji, biezinātāji, emulgatori, pārtika, barība, dzērieni u. c. [19], [20].

Līpidi veido tikai 1–5 % jūras makroaļģu sausnas un uzrāda vērtīgo polinepiesātināto taukskābju (*PUFA*) saturu. Jūras makroaļģes satur vērtīgās omega-3 un omega-6 taukskābes, kam ir nozīme sirds un asinsvadu slimību, osteoartrīta un diabēta profilaksē [21].

Analīzes liecina, ka jūras makroaļģes satur noderīgu daudzumu makroelementu (K, P, Mg, Ca, Na, hlors un S), mikroelementu un vitamīnu [2]. To minerālvielu saturs, kas sausnā sasniedz līdz pat 55 %, ir 10–100 reižu augstāks nekā tradicionālajiem dārzeņiem [22].

Fenola savienojumi ir sastopami gan sauszemes, gan ūdens augos, ieskaitot jūras makroaļģes. To antioksidantu īpašību dēļ tie novērš brīvo radikāļu veidošanos [23]–[25]. Fenola savienojumus iedala piecās grupās: flavonoīdi, lignāni, tanīni, tokoferoli un fenolskābes [26].

Atkarībā no produktu kvalitātes parametriem un nepieciešamajām specifiskajām biomolekulām jūras makroaļģu ekstrakcijas procesu var veikt dažādos veidos. Biorafinērijas ideja nosaka, ka iegūtais produkts ir ar augstu pievienoto vērtību un biomasa tiek izmantota maksimāli efektīvi. Tas nozīmē, ka fizikālajiem, ķīmiskajiem un bioloģiskajiem pārveidošanas procesiem jādarbojas secīgi un simbiotiski, lai nodrošinātu efektīvu un līdz ar to ienesīgāku produktu ražošanu [27].

Tradicionālās ekstrakcijas metodes izmanto organiskos šķīdinātājus (naftas ēteri, heksānu, cikloheksānu, izooktānu, toluolu, benzolu, dietilēteri, dihlormetānu, izopropanolu, hloroformu, acetonu, metanolu, etanolu u. c.), skābes, sārmus un ūdeni. Šo agresīvo vielu galvenais mērķis ir izjaukt šūnu membrānas un ļaut makroaļģēs esošajām vielām iekļūt ekstrakcijas matricā. Ņemot vērā esošās tendences, ekstrakcijas procesā izmantotajam šķīdinātājam jābūt lētam un netoksiskam [28].

Izmantojot inovatīvas ekstrakcijas metodes, bioloģiski aktīvus savienojumus no makroaļģēm var iegūt, izmantojot videi nekaitīgas metodes. Šādām metodēm ir vairāk priekšrocību nekā tradicionālām metodēm, piemēram, samazināts izmantotā šķīdinātāja, īsāks ekstrakcijas laiks, tehnoloģiskais sniegums zemākās temperatūrās, atjaunojamu izejvielu izmantošana, samazināts bīstamo ķīmisko vielu izmantošanas daudzums, zemāks ūdens patēriņš, augstāka energoefektivitāte u. c. [29]. Lielākā daļa turpmāk uzskaitīto metožu tiek uzskatītas par videi nekaitīgām, jo tās atbilst "zaļās ekstrakcijas" standartiem [30], [31].

Pamatojoties uz veikto literatūras analīzi, eksistē sešas jaunas un inovatīvas metodes biomolekulu ieguvei no jūras makroaļģēm [28], [29], [32]–[36]:

- superkritiskā šķidruma ekstrakcija;
- ekstrakcija ar mikroviļņu palīdzību;
- ekstrakcija ar ultraskaņas palīdzību;

- augstspiediena metodes;
- jonu šķidrumu ekstrakcija;
- ekstrakcija ar fermentu palīdzību;
- impulsa elektriskā lauka ekstrakcija.

Makroaļģu audzēšana ir veids, kā palielināt biorafinērijai pieejamo izejvielu daudzumu. Jūras makroaļģu ievākšanas procesu no to dabiskās vides ierobežo makroaļģu pieejamība un to dabiskās atjaunošanās potenciāls. Dabiskās jūras makroaļģu pļavas ir jāaizsargā, jo tām ir būtiska nozīme piekrastes ekosistēmās kā dzīvo organismu dzīvotnei [37]. Dabisko jūras makroaļģu resursu pārmērīga izmantošana negatīvi ietekmē jūras oglekļa ciklu, kā arī veicina piekrastes erozijas procesus [38], [39]. Latvijā nav spēkā likumdošana, kas ierobežotu jūras makroaļģu ieguvi no dabīgajām ūdenstilpnēm, taču visa jūras piekraste Latvijā ir aizsargājama kā *Natura 2000* teritorija. Galvenais likumdošanas trūkuma iemesls ir gandrīz neesošā interese par jūras makroaļģēm kā resursu, jo informācijas par jūras makroaļģu izplatību un iespējamo izmantošanu nav daudz. Pieaugot interesei par jūras makroaļģēm kā resursam, jaunu tiesību aktu izstrāde būtu izšķiroša, lai aizsargātu dabīgās makroaļģu audzes trauslajā Baltijas jūras ekosistēmā.

Jūras makroaļģu audzēšana ir alternatīvs process, lai iegūtu makroaļģu biomasu, neiznīcinot dabiskās jūras makroaļģu dzīvotnes [40]. Jūras makroaļģu audzēšana vai mākslīga pavairošana ir process, kas nodrošina jūras makroaļģu audzēšanu un saglabāšanu ārpus to dabiskās dzīvotnes. Audzēšana ir iespējama gan *in vitro* (pilnībā kontrolētos apstākļos), gan *in situ* (to dabiskajā augšanas vidē), un to var veikt arī dažādos mērogos [40]. Jūras makroaļģu bioloģiskā produktivitāte ir augsta, un to augšanas ātrums pārsniedz sauszemes augu augšanas ātrumu.

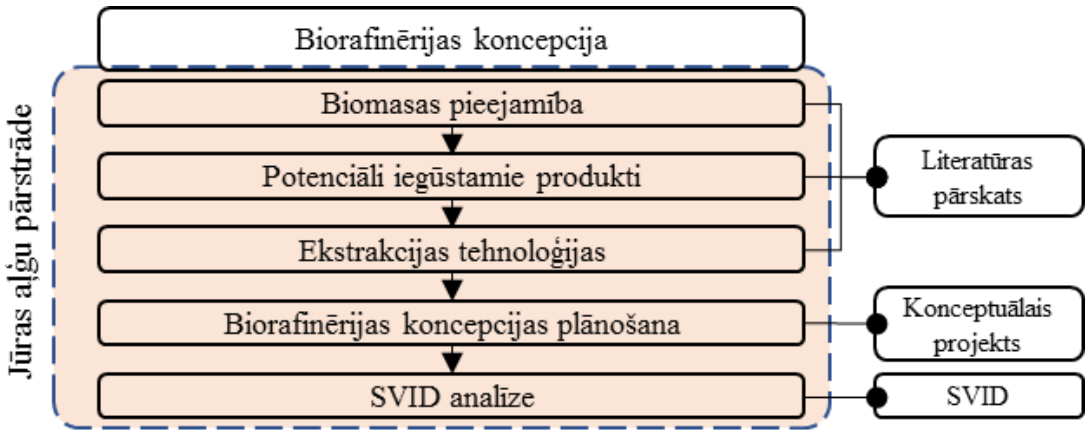
Jūras makroaļģu audzēšana laboratorijā tiek veikta pilnībā kontrolētos apstākļos. Makroaļģu augšanas ātrumu un ķīmisko sastāvu ietekmē to augšanas vide. Ir jāanalizē jūras makroaļģes no dažādām vietām, lai noteiktu, kā dažādas makroaļģu sugas varētu ātri pielāgojas audzēšanas apstākļiem.

Jūras makroaļģu augšanu un attīstību ietekmē dažādi vides faktori. Tādi vides faktori kā CO_2, temperatūra, sāļums, gaisma, ūdens kvalitāte un barības vielas gan īstermiņā, gan ilgtermiņā ietekmē jūras makroaļģu augšanu, vairošanos, izmēru un šūnu sastāvu. Jūras makroaļģu bioloģiskās īpašības ļauj tām pielāgoties vides apstākļu izmaiņām īstermiņā un ilgtermiņā.

2. METODIKA

2.1. Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas izveide

Lai veiksmīgi izstrādātu biorafinērijas koncepciju, ir nepieciešams pārvarēt vairākus tehniskus, stratēģiskus, ekonomiskus un ilgtspējas izaicinājumus. Šie izaicinājumi ietver izejvielu, potenciālo gala produktu un ieguves tehnoloģiju novērtējumu. Tajā pašā laikā koncepcijai jāatbilst ilgtspējības kritērijiem, kas tiek sasniegti, veidojot konceptuālo dizainu un veicot SVID analīzi (2.1. att.).



2.1. att. Biorafinērijas koncepcijas izveides metodika.

Biorafinērijas koncepta galvenie elementi ir piegādes ķēdes tīkls un biomasas ķīmiskā pārveide [41]. Piegādes ķēdes pamatelementi ir izejvielas, produkti un procesi (2.1. tabula), kas detalizētāk tiks apskatīti nākamajās nodāļās.

2.1. tabula

Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas pamatelementi un kritēriji

Platforma	Kritēriji
Izejvielas	• Latvijā pieejamās jūras makroaļģu sugas • Jūras makroaļģu biomasas daudzums • Pieejamās jūras makroaļģu biomasas kvalitāte • Biomasas teritoriālais sadalījums • Sezonalitātes ietekme uz biomasas pieejamību • Biomasas pašreizējā izmantošana • Biomasas ekoloģiskā nozīme
Produkti	• Jūras makroaļģu biomasas ķīmiskais sastāvs • Iegūstamo vielu apjoms • Potenciālo produktu identificēšana
Procesi	• Tehnoloģijas, ko izmanto, lai iegūtu savienojumus no jūras makroaļģu biomasas

Vispirms tiek atsevišķi izvērtēts katrs pamatelements, izmantojot definētos kritērijus, kas apkopoti 2.1. tabulā, un tiek aprakstīts koncepcijas vispārējais dizains. SVID analīze tika veikta, lai identificētu koncepcijas stiprās un vājās puses, iespējas un draudus, kā arī, lai izveidotu pārskatu un izvērtētu Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepta kritiskos punktus.

Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepta izejvielu novērtējums

Jūras makroaļģu biomasas pieejamības novērtējums tika veikts, lai noteiktu Baltijas jūras makroaļģu biomasas kā izejvielas potenciālu biorafinērijas konceptā. Biomasas pieejamība tika analizēta, veicot padziļinātu literatūras analīzi.

Indikatori, kas piemēroti kritērijiem, lai noteiktu biomasas pieejamību, apkopoti 2.2. tabulā.

2.2. tabula

Kritēriji biomasas pieejamības novērtējumam

Kritērijs	Indikators	Iznākums
Latvijā pieejamās jūras makroaļģu sugas	Kopējais Latvijā pieejamo jūras makroaļģu sugu skaits	Sugu skaits
	Latvijā visvairāk pieejamās jūras makroaļģu sugas	Sugu nosaukumi
Jūras makroaļģu biomasas daudzums	Biomasas apjoms dabīgajās audzēs	t/ha
	Izskaloto jūras makroaļģu biomasa	m^3 uz 100 m
	Izaudzēto jūras makroaļģu biomasa	t gadā
Pieejamās jūras makroaļģu biomasas kvalitāte	Izskaloto makroaļģu sanesumu sastāvs	%
Biomasas teritoriālais sadalījums	Jūras makroaļģu sugu sastāva izmaiņas starp reģioniem	karte
Sezonalitātes ietekme uz biomasas pieejamību		
Biomasas pašreizējā izmantošana		
Biomasas ekoloģiskā nozīme		

Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepta produktu un procesu novērtējums

Metodika, kas tika izmantota, lai novērtētu jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas produktus un procesus, ir padziļināta literatūras analīze. Literatūras analīze tika veikta, lai noskaidrotu pilnu jūras makroaļģu biomasas ķīmiskā sastāva un ieguves tehnoloģiju potenciālu. Literatūras analīze ir būtiska, lai: a) identificētu, kas tiek rakstīts par tēmu; b) noteiktu kopējas tendences, kas raksturīgas pētījumu jomai; c) ar šauru izpētes jautājumu saistītu empīrisku konstatējumu apkopošana, lai pamatotu uz pierādījumiem balstītu praksi; d) jaunu ietvaru un teoriju radīšana; e) problēmjautājumu identificēšana, lai veiktu padziļinātu izpēti [42].

Novērtējuma veikšanai tika noteikti vairāki pētāmie jautājumi.

- Kādus ķīmiskos savienojumus var iegūt no Baltijas jūras makroaļģu biomasas?
- Cik lielā apjomā šīs vielas var iegūt no izvēlētās biomasas?
- Kuriem no šiem ķīmiskajiem savienojumiem ir potenciāls kā produktam?
- Kādas jaunākās tehnoloģijas var izmantot produktu ieguvei?

Dati par ķīmisko sastāvu tika apkopoti ne tikai vietēji pieejamajām makroaļģu sugām *Ulva intestinalis*, *Fucus vesiculosus* un *Furcellaria lumbricalis*, bet arī citām makroaļģu sugām, kas tiek analizētas citos reģionos.

Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas dizains

Kritēriju un faktoru definēšana ir būtisks solis, lai nodrošinātu jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas funkcionalitāti un ilgtspējību. Bioekonomikas ilgtspējīga attīstība ir atkarīga ne tikai no tautsaimniecības sektora un biorafinērijas gala produktu īpašībām, bet arī no dažādiem ārējiem faktoriem, piemēram, finanšu un cilvēkresursi, klimatiskie, vides, tehnoloģiskie, ekonomiskie un sociālie aspekti [43]. Bioekonomikas pamatprincipus ir izstrādājusi Eiropas Komisija, lai atbalstītu galvenos bioekonomikas mērķus – pārtikas drošība, ilgtspējīga resursu izmantošana, ietekmes uz klimatu samazināšana, darbavietu un konkurences nodrošināšana [44]. Jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijā jāievēro bioekonomikas principi (2.3. tabula), lai stiprinātu koncepcijas nozīmi bioekonomikā.

2.3. tabula

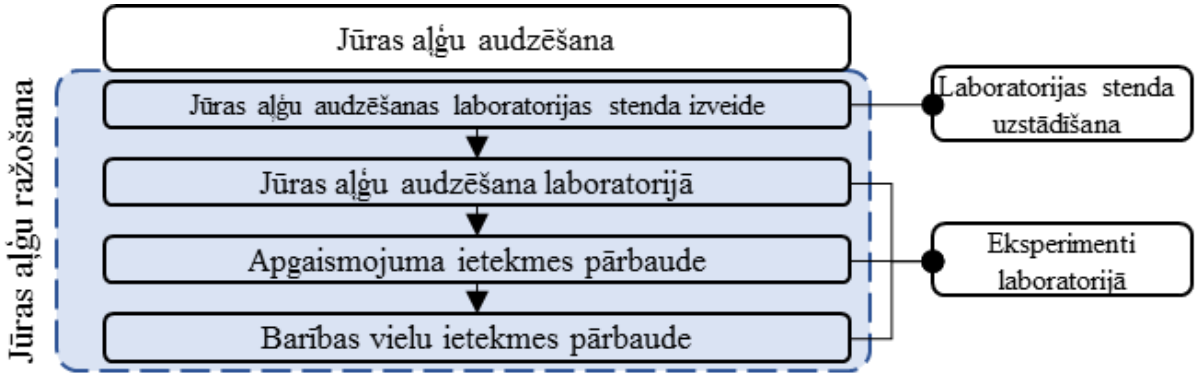
Bioekonomikas principi

Princips	Konteksts
Vispirms ēdiens	Pārtikas drošība ir noteikts kā pirmais princips, un tas ir vērsts uz pārtikas kvalitāti un pieejamību.
Ilgtspējīga ieguve	Šis princips nosaka nepieciešamību biomasai būt atjaunojamai, nesamazinot tās sākotnējo kapitālu.
Kaskādes pieeja	Kaskādes pieeja nosaka to, ka vispirms tiek izgatavots produkts ar visaugstāko vērtību, tad – produkts ar otru augstāko vērtību utt.
Cikliskums	Kaskādes pieeja pati par sevi nerisina atkritumu problēmu, tāpēc jāievēro cikliskuma princips.
Dažādība	Dažādība kā konkurētspējas atslēga nosaka vajadzību pēc dažādiem iznākumiem, izmantojot dažādas metodes.

Šie pieci galvenie principi neparedz ierobežojumus Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijai; tā vietā tie nosaka pamatnostādnes un pamatnoteikumus, kas jāievēro, lai veicinātu bioekonomiku. Uz bioekonomikas principiem jābūt balstītai ne tikai visai biorafinērijas koncepcijai kopā, bet arī katram posmam atsevišķi, sākot no izejmateriāliem un ražošanas, līdz visu produktu dzīves ciklam. Katram no šiem posmiem jāievēro bioekonomikas principu norādes, lai sniegtu visaugstāko sociālo, vides un ekonomisko labumu.

2.2. Biorafinērijas izejvielu pieejamības uzlabošana

Šajā nodaļā ir aprakstīta piedāvātā risinājuma metodika, lai palielinātu pieejamās jūras makroaļģu biomasas daudzumu, izveidojot laboratorijas stendu un veicot laboratorijas eksperimentus (2.2. att.).



2.2. att. Pētījuma metodika biomasas pieejamības uzlabošanai.

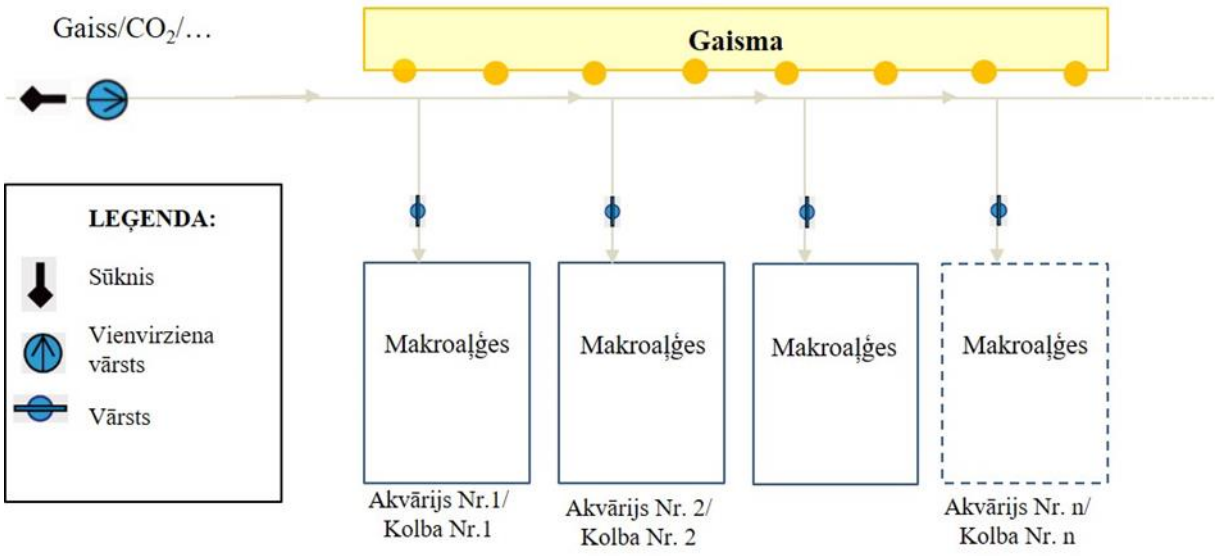
Makroaļģu audzēšanas laboratorijas izveide

Funkcionējoša makroaļģu audzēšanas laboratorija ir nepieciešama, lai uzturētu makroaļģu kultūras, sagatavotu sējas materiālu un noteiktu makroaļģēm labvēlīgus augšanas apstākļus mākslīgā vidē. Pētījuma nolūkiem RTU Vides aizsardzības un siltuma sistēmu institūta Biosistēmu laboratorijā tika izveidots laboratorijas stends.

Jūras makroaļģu audzēšana tika plānota trīs mērogos, sākot ar makroaļģu audzēšanu Petri platēs (mazākais mērogs), tad audzējot makroaļģes kolbās (vidējais mērogs) un, visbeidzot, audzējot makroaļģes akvārijos. Tāpēc bija nepieciešams nodrošināt laboratoriju ar nepieciešamo aprīkojumu dažāda mēroga jūras makroaļģu audzēšanas eksperimentiem. Pirms kultivēt makroaļģes lielos akvārijos, tiek ieteikti eksperimenti vidējos un mazākos apjomos, lai izvairītos no neparedzētiem rezultātiem.

Lai pilnībā attīstītu laboratorijas stendu, ieteicams uzstādīt sistēmu, kas makroaļģu paraugiem automātiski piegādā gaisu, CO_2, barības vielas, kā arī automātiski regulē ūdens temperatūru un nodrošina citus apstākļus. Lai izvairītos no nelabvēlīgiem apstākļiem ūdens iztvaikošanas dēļ, ūdens rezervuārā ir nepieciešams uzturēt nemainīgu ūdens līmeni. Šāda veida sistēmas izveide ļautu automatizēt eksperimenta protokolu, nodrošināt labi regulētus augšanas apstākļus un precīzākus eksperimenta rezultātus. Jau tagad laboratorijā var veikt dažādus eksperimentus ar makroaļģēm.

Pētījumā tiek izmantota vienkāršota sistēma, kas sastāv tikai no jūras makroaļģu audzēšanai būtiskiem elementiem. Izmantotā ūdens un barības vielu ievades sistēma ir manuāla. Šādā sistēmā nenotiek automātiska ūdens cirkulācija, jo tā nav pieslēgta ūdens kanalizācijas sistēmai. Sistēmas shēma redzama 2.3. attēlā.



2.3. att. Izmantotā makroaļģu audzēšanas laboratorijas stenda shēma.

Kolbas un akvāriji ir novietoti zem gaismas avota, gaisa vai CO_2 padevei izmanto sistēmu ar gumijas caurulēm un vārstiem, kas vienlaikus nodrošina ūdens kustību.

Jūras makroaļģu audzēšanas apstākļu testēšana

Lai nodrošinātu makroaļģu maksimālu augšanu, visiem augšanai nepieciešamajiem vides faktoriem ir jābūt optimālā līmenī. Jūras makroaļģēm dažādos gadalaikos dažādās ģeogrāfiskās vietās ir nepieciešami atšķirīgi augšanas apstākļi. Tāpēc ir nepieciešams noteikt augšanas apstākļus, kas atbilst jūras makroaļģu paraugiem tieši no vietējā reģiona. Tajā pašā laikā šie izmēģinājumu eksperimenti ļautu validēt izveidoto jūras makroaļģu audzēšanas laboratorijas stendu un identificēt izstrādātā objekta trūkumus. Tika veikti divi eksperimentālie testi – barības vielu tests un apgaismojuma tests, kā testa organismu izmantojot zaļaļģes *Ulva intestinalis.* Lai noteiktu makroaļģu spēju pielāgoties augšanai mākslīgos apstākļos, tika veikta makroaļģu audzēšana mākslīgi apgaismotos akvārijos augšanas vidē uz dabiska jūras ūdens bāzes.

Tika veikti testi, lai noteiktu optimālo makroaļģēm nepieciešamo barības vielu un apgaismojuma līmeni. Barības vielu testiem (1., 2. un 3.) tika izmantots Kompleksais NPK augu mēslojums ar mikroelementiem helātu formā "*Vito Universal*", kas satur 3,5 % N, 2,4 % NO_3, 1,1 % NH_4-N, 2,3 % P_2O_5, 5 % K_2O, kā arī dažādus makro- un mikroelementus zemākās koncentrācijās. Universālais mēslojums tika atšķaidīts ar ūdeni, lai pagatavotu jūras makroaļģu audzēšanai piemērotu bāzes šķīdumu ar atbilstošu slāpekļa jonu koncentrāciju. Barības vielu 4. testā tika izmantota uz jūras ūdens bāzes veidota *Provasoli* barības vielu šķīdums [45].

Eksperimentā izmantotie barības vielu bāzes šķīdumi bija šādi: a) 0, mL/L 2 mL/L, 5 mL/L, 10 mL/L, 50 mL/L barības vielu 1. testā; b) 0 mL/L, 2 mL/L, 10 mL/L, 30 mL/L barības vielu 2. testā; c) 0 mL/L, 2,5 mL/L, 5 mL/L, 10 mL/L, 15 mL/L un 20 mL/L barības vielu 3. testā (universālais mēslojums); barības vielu 4. testā (*Provasoli* barības vielu

šķīdums). Barības vielu koncentrācija tika izvēlēta, pamatojoties uz literatūrā ieteiktajām koncentrācijām [46].

Konusveida stikla kolbās (250 mL), kas satur sterilizētu jūras ūdeni ar barības vielām, tika inokulētas svaigi makroaļģu lapoņi aptuveni 3 cm garumā. Katrai apstrādes vai kontroles grupai tests tika veikts trīs atkārtojumos.

Apgaismojuma testā tika pārbaudīti apgaismojuma režīmi. Lai radītu dažādus apgaismojuma apstākļus, tika izmantoti plastikāta filtri (2.4. tabula).

2.4. tabula

Gaismas apstākļu eksperimenti apgaismojuma testā

Gaismas apstākļi	Izmantotais filtrs	Gaismas intensitāte, μmol/(m^2s)
Pilns apgaismojums	Bez filtra	30,27
Vidējs apgaismojums	Pelēks filtrs	11,97
Bez gaismas	Melns filtrs	0
Sarkanā gaisma	Sarkans filtrs	9,1
Zilā gaisma	Zils filtrs	7,6

Augšanas ātruma aprēķināšanas metodika

Zaļaļģes *Ulva intestinalis* augšanas izmaiņas tika noteiktas ik pēc septiņām dienām, makroaļģes novietojot Petri traukā virs milimetru papīra. Barības vielu 3. testā jūras makroaļģu paraugi tika fotografēti. Attēli tika analizēti, un virsmas laukums tika mērīts, izmantojot attēlu apstrādes programmatūru "*ImageJ*" [47]. Augšanas ātrums tika aprēķināts, izmantojot 2.1. formulu.

$$\left[\left(\frac{W_t}{W_0}\right)^{\frac{1}{t}} - 1\right] 100,\ \%, \qquad (2.1.)$$

kur W_t – parauga garums eksperimenta beigās, mm;

W_0 – parauga garums eksperimenta sākumā mm;

t – eksperimenta dienu skaits, dienas.

3. REZULTĀTI UN DISKUSIJA

3.1. Izejvielas Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijai

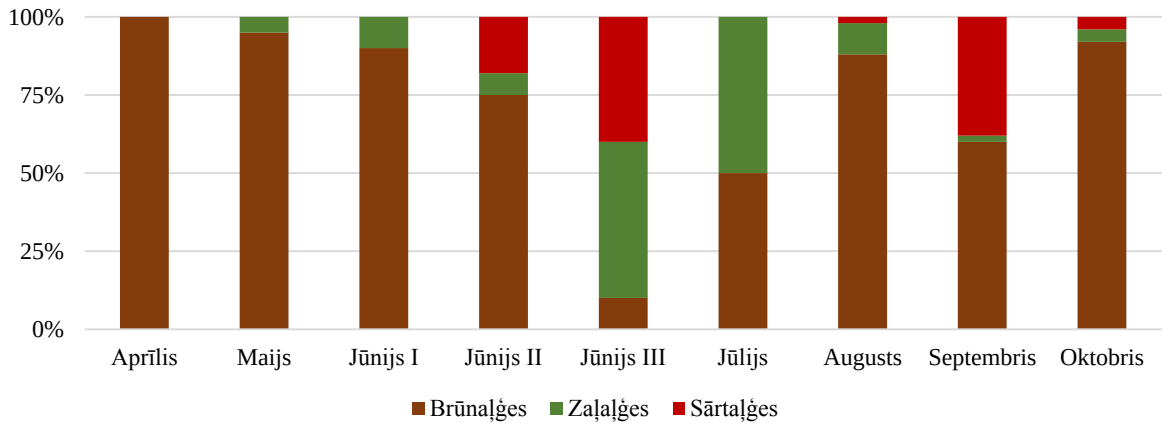
Šajā sadaļā sniegti jūras makroaļģu biomasas pieejamības novērtējuma rezultāti. Pētījuma rezultāti apkopoti 3.1. tabulā.

3.1. tabula

Baltijas jūras makroaļģu biomasas pieejamība

Indikatori		Iznākuma vienība	Avots
Kopējais jūras makroaļģu sugu skaits Latvijā	4 zaļaļģes 4 brūnaļges 9 sārtaļģes	skaits	[48]
Visvairāk pieejamās jūras aļģu sugas Latvijā	*Ulva intestinalis* *Fucus vesiculosus* *Furcellaria lumbricalis*	sugu nosaukums	[48]
Biomasas daudzums dabiskos apstākļos	3,5	t/ha	[49]
Izskalotā jūras aļģu biomasa	Vasarā <16 Rudenī <228 Vasarā <62 Rudenī <22	m^3 uz 100 m	[50]

Tabulā apkopotie rezultāti neuzrāda visu nepieciešamo informāciju par metodikas nodaļā noteiktajiem indikatoriem. Apskatītajā literatūrā nav pieejami dati par jūras makroaļģu audzēšanu Latvijā, tāpēc tiek pieņemts, ka mākslīgi audzētās makroaļģu biomasas daudzums ir 0 t gadā. Vēsturiski jūras makroaļģes Latvijā ir izmantotas agara ražošanai un arī kā mēslojums, ko izmanto vietējie lauksaimnieki [50].

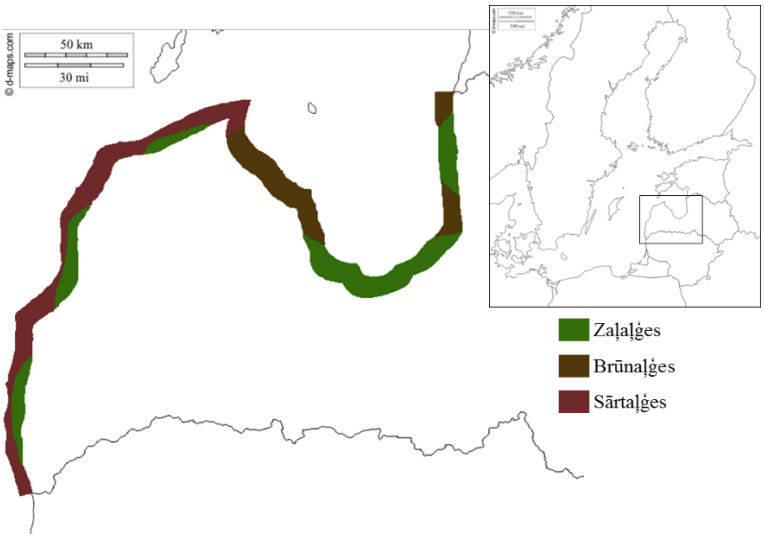


3.1. att. Mellužos izskaloto jūras makroaļģu biomasas sastāvs (2018) [50].

Ņemot vērā pieejamās jūras makroaļģu biomasas kvalitāti, nav vienmērīgas informācijas attiecībā uz iepriekš izpētīto jūras makroaļģu sugu sastāvu. Izskaloto makroaļģu sanesumu sastāvs ir atšķirīgs ne tikai dažādās atrašanās vietās, bet arī dažādos laika posmos (mēneši,

gadi). 2018. gadā veiktā pētījuma, kurā tika veikts izskaloto jūras makroaļģu monitorings, rezultāti redzami 3.1. attēlā.

Sezonālie pētījumi par Mellužu pludmalē izskaloto jūra makroaļģu biomasu parāda ievērojamu neviendabīgumu [50]. No literatūras analīzes nav iespējams noteikt precīzu sugu sastāvu, jo tas ir nepastāvīgs. Bija iespējams noteikt tikai galvenās tendences par dominējošajām jūras makroaļģu sugām starp reģioniem. Jūras makroaļģu sugu izplatība dažādās Latvijas piekrastes teritorijās redzama 3.2. attēlā.



3.2. att. Jūras makroaļģu sugu izplatība Latvijas piekrastē.

Lai arī pieejamā informācija par jūras makroaļģu izplatību ir mainīga, var secināt, ka sārtaļģes *F. lumbricalis* galvenokārt ir izplatītas Baltijas jūras piekrastē. Savukārt brūnaļģes *F. vesiculosus* ir sastopamas Rīgas jūras līča piekrastes teritorijās [51]. Zaļaļģes ir novērojamas visā piekrastes teritorijā, kur augšanas substrāts ir piemērots jūras makroaļģu augšanai [50], [52], [53]. Šāda veida izplatība ir saistīta ar ūdens sāļumu, ko uzskata par galveno faktoru, kas ietekmē jūras makroaļģu izplatību Baltijas jūrā [54].

Izskaloto jūras makroaļģu biomasas izplatība Baltijas jūras Latvijas piekrastē ir ļoti nevienmērīga un grūti prognozējama, jo to daudzumu nosaka hidrometeoroloģiskie apstākļi, kas saistīti ar vēja stiprumu, lielāku viļņu veidošanos un būtiskāku zemūdens iedarbību. Latvijā izskaloto jūras makroaļģu biomasa tiek uzskatīta par nepietiekamu apstrādei, lai tā būtu izmaksu ziņā efektīva un labvēlīga bioloģiskajai daudzveidībai [55]. Lai jūras makroaļģu apstrāde būtu izmaksu ziņā efektīva, ir nepieciešams attīstīt ilgtspējīgās jūras makroaļģu audzēšanas metodes Baltijas jūras reģionā.

Pie substrāta piestiprināto daudzgadīgo makroaļģu ieguve no dabiskajām audzēm tiek uzskatīta par neilgtspējīgu, un nav ticams, ka tā kādreiz tiks atļauta Baltijas jūrā, ņemot vērā šo makroaļģu biotopu ekoloģisko nozīmi un to lēno augšanu iesāļos ūdeņos [56]. Latvijas Republikas likums par īpaši aizsargājamām dabas teritorijām un tā pielikumi iekļauj visas Baltijas jūras (Latvijas) teritorijas Eiropas nozīmes aizsargājamo dabas teritoriju sarakstā (*Natura 2000*).

Jūras makroaļģes kā izejvielas ir biorafinērijas koncepcijas pamats. Nevienmērīga jūras makroaļģu pieejamība un sastāvs ierobežo to izmantošanu biorafinēšanas koncepcijā. Jūras makroaļģu ievākšana no dabīgajām ūdenstilpnēm nav ilgtspējīga. Lai aizstātu šāda veida jūras makroaļģu biomasas ieguvi, nepieciešams makroaļģu biomasas papildu avots. Jūras makroaļģu audzēšana varētu nodrošināt izejvielas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijai.

3.2. Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas produkti un tehnoloģijas

Lai novērtētu Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas potenciālu, tika izvēlētas visplašāk pieejamās jūras makroaļģu sugas *Ulva intestinalis*, *Fucus vesiculosus* un *Furcellaria lumbricalis* un veikta padziļināta literatūras analīze, lai noskaidrotu iespējamo jūras makroaļģu sastāvu. Zinātniskās literatūras analīzes rezultāti apkopoti 3.2. tabulā.

3.2. tabula

No Baltijas jūras makroaļģēm iegūstamie ķīmiskie savienojumi (saīsināta)

	Zaļaļģes (*Ulva intestinalis*)		Brūnaļģes (*Fucus vesiculosus*)		Sārtaļģes (*Furcellaria lumbricalis*)	
Ogļhidrāti, % (sausā masa)	31,34–92	[57]–[61]	65,7	[62]	55,4	[63]
Polisaharīdi	4,9–59	[57], [60], [64]–[66]	2,31–22	[67]		
Olbaltumvielas, % (sausā masa)	9,49–20,60	[57], [59]–[61], [65], [66], [68], [69]	1,4–11,3	[70], [71]	13,1–28	[72]–[75]
Fenola savienojumi, % masas ekstrakta ūdenī			18,4	[23], [76], [77]	2,25–4,6	[72], [74]
Lipīdi, % (sausā masa)	1,16–22,0	[61], [69], [71], [78]–[80]	3,95–4,8	[70], [81]	1	[73], [74]
Taukskābes (*FA*)		[71], [78], [79], [82]		[70], [71], [83]		[74], [75], [83]
Piesātinātās taukskābes, % no visām *FA*	25,0–60,6		24,3		38	
Mononepiesātinātās taukskābes, % no visām *FA*	21,81–24,8		47,1		28,80	
Polinepiesātinātās taukskānbes, % no visām *FA*	14,8–37,1		25,8		14,45	
Kopējais pelnu saturs, % (sausā masa)	5,42–29,4	[60], [66], [68], [69], [84]	18,74–30,30	[22], [62], [71], [77]	9–41	[74], [75], [85]

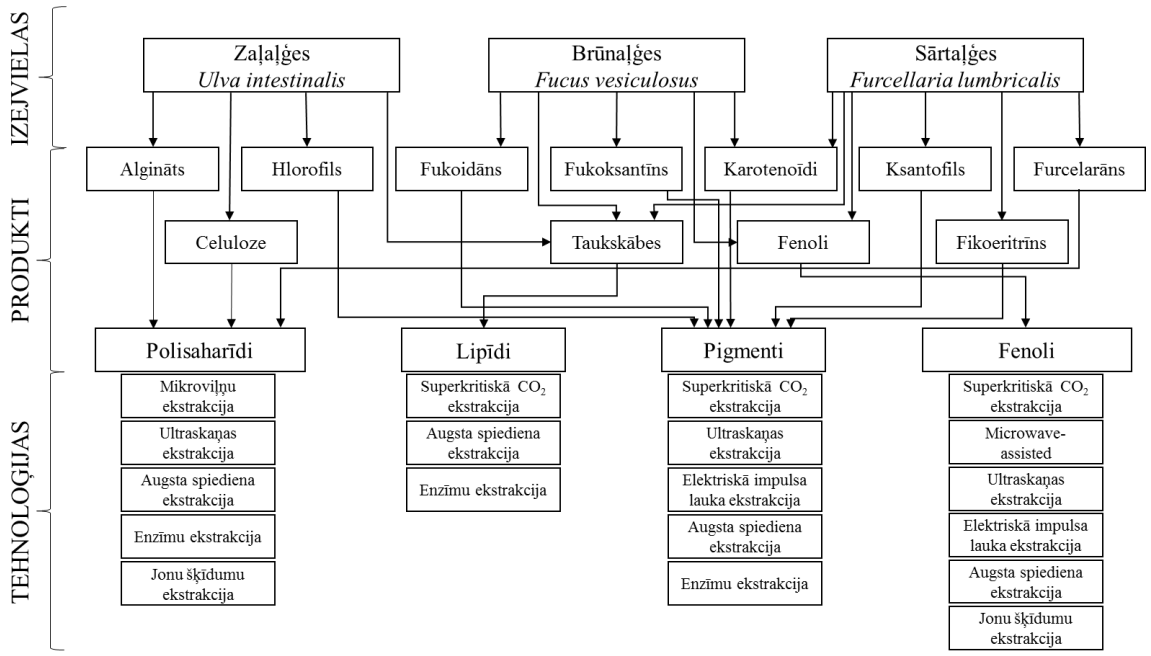
Šajā tabulā apkopoti dati ne tikai par Baltijas jūrā pieejamajām šo sugu makroaļģēm, bet arī citur sastopamām šo sugu makroaļģēm. Tādā veidā ir iespējams novērtēt visus iespējamos ķīmisko vielu daudzumus, ko varētu iegūt no šīm trim Baltijas jūras makroaļģu sugām. Kā minēts iepriekš, jūras makroaļģu sastāvu ietekmē sezona, atrašanās vieta, jūras dziļums, kā arī citi biotiski un abiotiski faktori. Šī tabula parāda visas vielu koncentrācijas, ko ir iespējams iegūt no šo alģu sugām. Pirms jebkāda veida ražošanas sākšanas ir nepieciešams veikt padziļinātu makroaļģu sastāva analīzi vietēji pieejamajām jūras makroaļģu sugām un atkārtot šīs analīzes 2–4 reizes gadā, lai novērotu sezonas ietekmi uz sastāvu.

Zaļaļģes *Ulva intestinalis* uzrāda vislielāko ogļhidrātu daudzumu ar 31–92 % ogļhidrātu saturu to sausajā masā.

Jūras makroaļģes ir vērtīgs olbaltumvielu avots. Olbaltumvielu saturs sārtaļģēs (*F. lumbricalis)* var sasniegt pat 28 % sausās masas. Par visvērtīgākajām olbaltumvielām jūras makroaļģēs tiek uzskatīti pigmenti un aminoskābes. Zaļaļģes raksturo to pigments hlorofils, kas nodrošina zaļaļģu fotosintēzi. Fotosintēzes metabolisms brūnaļģēs un sārtaļģēs ir daudz sarežģītāks. Šīs makroaļģes aug dziļākos ūdens slāņos, tāpēc tām ir jāpielāgojas zemākiem gaismas apstākļiem, tādēļ šajās makroaļģēs sastopamais pigmentu sastāvs ir komplicētāks. Brūnaļģe *F. vesiculosus* satur karotenoīdus un fukoksantīnu, savukārt sārtaļģes *F. lumbricalis* satur ksantofilu un fikoeritrīnu. Visi šie pigmenti ir spēcīgi antioksidanti, kas pozitīvi ietekmē veselību. Olbaltumvielu saturu jūras makroaļģēs ietekmē dažādi apstākļi, piemēram, sezona, temperatūra un atrašanās vieta. Ir secināts, ka augstākais olbaltumvielu saturs jūras makroaļģēs ir novērojams ziemas un pavasara mēnešos, savukārt augstākā olbaltumvielu koncentrācija ir novērojama maijā [86].

Literatūras analīze parāda, ka lipīdu sastāvs zaļaļģēs *U. intestinalis* ir līdz pat 22 %, brūnaļģēs *F. vesiculosus* līdz 4,4 %, sārtaļģēs *F. lumbricalis* to koncentrācija ir ne lielāka par 1 % no to sausās masas. Analizēto jūras makroaļģu taukskābju sastāvs ir ievērojami atšķirīgs: 24–60 % piesātināto taukskābju, 21– 47,1 % mononepiesātināto taukskābju un 14,45–37,1 % polinepiesātināto taukskābju. Starp piesātinātajām taukskābēm, miristīnskābe (C14:0; 1,8–13,9 %) un palmitīnskābe (C16:0; 17,9–29,36 %) ir dominējošās taukskābes. Starp mononepiesātinātajām taukskābēm palmitoleīnskābe (C16:1 n-7; 1,8–46,9 %) un oleīnskābe (C18:1 n-9; 1,5–46 %) ir dominējošās taukskābes, starp polinepiesātinātajām taukskābēm visizplatītākā ir linolēnskābe (C18:3 n-3; 2,05–24,1 %).

Lai izraudzītos pievienotās vērtības produktus, tiem jābūt tādiem produktiem, kas raksturīgi tikai makroaļģu sastāvā, vai arī no makroaļģēm tie iegūstami krietni lielākā apjomā nekā no sauszemes augiem. Piemēram, zaļaļģes *Ulva intestinalis* satur daudz ogļhidrātu un lipīdu, tādējādi tās var izmantot kā izejvielu alginātu un vērtīgo taukskābju ieguvei. Sārtaļģes, ieskaitot *Furcellaria lumbricalis,* satur daudz pigmentu, kas ir vērtīgi antioksidanti, tādēļ tās var izmantot uztura un farmācijas vajadzībām. Minerālu un fenolu daudzums brūnaļģēs *Fucus vesiculosus* norāda, ka šīs makroaļģes varētu izmantot tieši šo vielu ieguvei (3.3. att.).

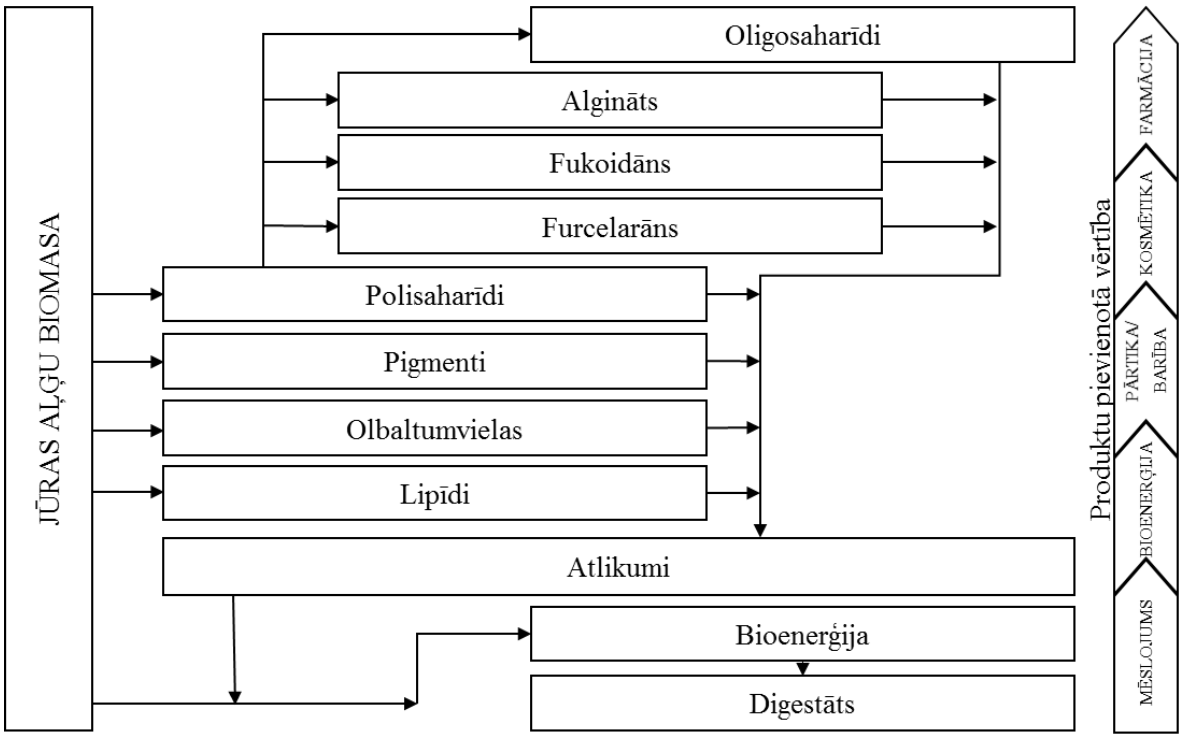


3.3. att. Baltijas jūras makroaļģu pārveides ceļi.

3.3. Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepts

Šajā nodaļā tiek analizēts jūras makroaļģu biorafinērijas koncepts, ņemot vērā bioekonomikas principus. Kā jau minēts iepriekšējās nodaļās, jūras makroaļģu produkti kā polisaharīdu avots pārtikā un farmācijā gūst arvien lielāku popularitāti Eiropā [62], [87]. Minerālvielu saturs jūras makroaļģēs ir daudz lielāks nekā sauszemes augos un dzīvnieku produktos [22], [71]. Augstais minerālvielu saturs un zemais tauku saturs padara jūras makroaļģes par piemērotu izejvielu pārtikai un barībai. Makroaļģes satur unikāla satura ogļhidrātus, kam piemīt sauszemes augiem neraksturīgas īpašības. Polisaharīdi padara tās par piemērotu izejvielu ne tikai pārtikas industrijā, bet arī farmācijas nozarē. Brūnaļģēs esošie fukoidāni uzrāda bioloģisku aktivitāti ar iespējamu labvēlīgu ietekmi uz veselību [71], [88]. Jūras makroaļģu biomasa var tikt izmantota arī enerģētikā. Jūras makroaļģes var pārstrādāt biodegvielā, piemēram, biogāzē, bioetanolā, biodīzeļdegvielā, tādējādi aizstājot fosilo degvielu [8].

Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas mērķis ir izveidot efektīvu biorafinērijas procesu kopumu, maksimāli izmantojot biomasu, kā arī iegūt enerģiju no radītajiem atlikumproduktiem. Dažādi biomasas pārveidošanas procesi (fizikālie, ķīmiskie, bioloģiskie un termiskie) tiek izmantoti atsevišķi vai kopā, lai nodrošinātu produktus ekonomiskiem mērķiem [8]. Produkti, kas iegūti pēc pārveidošanas, var tikt izmantoti tālākai produktu iegūšanai vai arī pārstrādāti, lai iegūtu produktus ar pievienoto vērtību. Atkritumproduktus un pārpalikumus, kas iegūti pēc katra apstrādes posma, izmanto kā izejvielas citu produktu ražošanā, ievērojot kaskādes principu (3.4. att.). Tikai pārpalikumus, ko nav iespējams izmantot turpmākos ražošanas posmos, un zemas kvalitātes biomasu izmanto enerģijas iegūšanai. Šāda veida pieeja ļauj samazināt biorafinērijas koncepcija radušos atkritumu daudzumu līdz gandrīz bezatkritumu konceptam.



3.4. att. Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepts.

Bioekonomikā izmantotajai biorafinērijas koncepcijai ir potenciāls stiprināt dažādu nozaru industriju konkurētspēju. Tas attiecas uz tādām nozarēm kā lauksaimniecība, mežsaimniecība un zivsaimniecība, kā arī var spēcināt bioloģiskās ražošanas, "zaļo" ķimikāliju, materiālu un biopolimēru, kā arī jaunu un jau esošu pārtikas un dzīvnieku barības ražošanas industriju konkurētspēju [89].

Bioekonomikas ilgtspējīga attīstība ir atkarīga ne tikai no tautsaimniecības sektora un biorafinērijas gala produktu īpašībām, bet arī no dažādiem ārējiem faktoriem, piemēram, finanšu resursiem, cilvēkresursiem, klimatiskajiem, vides, tehnoloģiskajiem, ekonomiskajiem un sociāli ekonomiskajiem aspektiem [43]. Eiropas Savienība ir izstrādājusi Bioekonomikas pamatprincipus, lai atbalstītu galvenos bioekonomikas mērķus – pārtikas drošība, ilgtspējīga resursu izmantošana, ietekmes uz klimatu samazināšana, darbavietu un konkurences nodrošināšana [44].

3.4. Jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas priekšrocības un trūkumi: SVID analīze

Šajā sadaļā aplūkotas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas stiprās un vājās puses, iespējas un draudi (SVID), kā arī norādīta biorafinērijas koncepcijas nozīme. Baltiju jūras makroaļģu biorafinērijas konceptam var būt būtiska loma ilgtspējīgas bioekonomikas attīstības veicināšanā. SVID analīze ir stratēģisks plānošanas rīks, kas tradicionāli tiek izmantots, lai novērtētu uzņēmumu vai produktu un vērtētu tirgus stratēģiju. Šajā gadījumā Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcija tiek definēta kā platforma, kas konkurē ar citiem iespējamajiem jūras makroaļģu izmantošanas veidiem.

Jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcija, izmantojot jaunus tehnoloģiskos paņēmienus, var palielināt produkta vērtību. Pašlaik Latvijā jūras makroaļģu biomasu lauksaimnieki izmanto kā mēslojumu, vai arī makroaļģes tiek savāktas kā sadzīves atkritumi un nogādātas atkritumu poligonos. Jaunas tehnoloģijas ļautu palielināt šīs izejvielas vērtību. Lai arī vēl nav skaidrs, kādi tehnoloģiskie procesi būtu jālieto, padziļināta izpēte un gadījuma pētījums ļautu atrisināt šo problēmu. Jūras makroaļģu biomasa ir videi draudzīgs resurss, kura ražošanai nav nepieciešams dzeramais ūdens un barības vielas. Savācot jūras makroaļģu biomasu, būtu iespējams savākt arī jūras makroaļģu absorbētas piesārņojošās viela, taču biomasas kvalitāte un pieejamība nav prognozējama un neatbilst ilgtspējas principiem. Jūras makroaļģu audzēšana varētu būt veids, kā nodrošināt ilgtspējīgu izejvielu avotu biorafinērijas rūpnīcām. Tomēr pašlaik Latvijā jūras makroaļģu audzēšanas industrija nepastāv. Kaskādes principa lietošana, ko izmanto jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijā, ļauj efektīvi izmantot biomasu un samazināt prasības attiecībā uz izejvielām. Savukārt cikliskuma principa piemērošana ļauj izvairīties no atkritumu radīšanas. Zinātniskie un tehnoloģiskie trūkumi ir tehnoloģijas, kas vēl nav līdz galam attīstītas, bet pieprasījums pēc biorafinērijas industrializācijas varētu veicināt tehnoloģiju attīstību.

Jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijas izmantošanas iespējas un draudi ir līdzīgi jebkuram citam biorafinērijas konceptam. Draudi ir saistīti ar vispārēju nedrošību attiecībā uz politiskajiem virzītājspēkiem, likumisko īstenošanu, tirgus attīstību, konkurējošās fosilās industrijas attīstību nākotnē u. c. faktoriem, kas kavē biorafinērijas attīstību.

Ņemot vērā SVID analīzi, var secināt, ka jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcijai ir lieliska perspektīva Latvijā. Tomēr nozares attīstībai ir jāvirzās virzienā no vispārējas jūras makroaļģu audzēšanas uz konkrētu jūras makroaļģu pārstrādes paņēmienu īstenošanu. Biorafinērijas koncepta izmantošana jūras makroaļģu audzēšanā un pārstrādē ļauj samazināt radīto atkritumu daudzumu un izmaksas, kā arī iegūt dažādus produktus no makroaļģēm. Turklāt biorafinērijas koncepcija ir pieņemama, ja tiek ņemta vērā no jūras makroaļģēm iegūto produktu vērtību piramīda un gala tirgus, kur iegūtā enerģija ir zemas vērtības produkts, bet ķīmiskās vielas, pārtika, barība un farmācijas produkti attiecīgi ir produkti ar augstāku pievienoto vērtību [5].

3.5. Jūras makroaļģu audzēšanas laboratorija

Tika izveidots makroaļģu kultivēšanai piemērots laboratorijas stends, kurā var tikt nodrošināti nepieciešamie vides apstākļi jūras makroaļģu audzēšanai. Tika veikti četri testi barības vielu ietekmes noteikšanai un viens tests, lai noteiktu apgaismojuma ietekmi. Konkrēta informācija par Baltijas jūras makroaļģu audzēšanai nepieciešamo barības vielu daudzumu nav pieejama. Tādējādi barības vielu noteikšana bija viens no būtiskākajiem posmiem. Literatūrā pieejamā informācija par audzēšanai nepieciešamajām barības vielām ir dažāda, turklāt pētījumos tiek izmantotas arī dažādas makroaļģu audzēšanas vides [90]. Bagātināta dabiskā jūras ūdens (*Provasoli*) vide tiek plaši izmantota kā barības vielu avots jūras makroaļģu audzēšanai [46]. Ieteicamais bāzes šķīduma daudzums, kas jāpievieno filtrētam dabīgajam jūras ūdenim, ir 20 mL/L. Lai pārbaudītu, vai konkrētā barības vielu

koncentrācija ir piemērota un labvēlīga Baltijas jūras makroaļģēm, barības vielu noteikšanas testos tika izmantotas dažādas barības vielu koncentrācijas. Pirmie testi tika veikti, izmantojot universālo augu mēslojumu, kas bija atšķaidīts, lai slāpekļa jonu koncentrācija bāzes šķīdumā būtu tādā pašā daudzumā, kāda tā ir *Provasoli* bāzes šķīdumā. Visi barības vielu eksperimenti uzrādīja, ka vislielākā jūras makroaļģu augšana ir koncentrācijā 2 mL/L, kas pierāda, ka ieteiktā bāzes šķīduma koncentrācija ir pārāk augsta Baltijas jūras makroaļģu augšanai. Pie barības vielu koncentrācijas (30 mL/L) tika izraisīts jūras makroaļģu dzīvotspējas zudums.

Apgaismojums un barības vielas ir būtiski faktori, kas ietekmē jūras makroaļģu fotosintēzes procesus [91]. Barības vielu 1. tests un barības vielu 2. tests tika veikts istabas temperatūrā. Tomēr, salīdzinot rezultātus ar citu pētījumu rezultātiem, jānorāda, ka optimālā temperatūra ir 10 °C [92]. Tādēļ turpmākajiem eksperimentiem tika nodrošināta attiecīgā temperatūra. Zemāka temperatūra nodrošināja labāku jūras makroaļģu dzīvotspēju.

Visos eksperimentos gāzu apmaiņu nodrošināja ar burbuļošanu. Šī metode ir efektīvs veids, kā nodrošināt veiksmīgu fotosintēzi un barības vielu uzņemšanu [91], [93]. Taču šī ūdens kustības nodrošināšanas sistēma izraisīja iztvaikošanu un no tās izrietošo ūdens sāļuma pieaugumu. Lai izvairītos no iztvaikošanas, jāizmanto citas ūdens kustības nodrošināšanas metodes, piemēram, izmantojot magnētisko maisītāju. Šis aspekts ir būtisks, pētot Baltijas jūras makroaļģes, kas parasti aug zema sāļuma apstākļos [94].

Testi ar *U. intestinalis* var tikt veikti laboratorijas apstākļos, un izveidotā laboratorija var tikt izmantota makroaļģu kultūras uzturēšanai. *U. intestinalis* ir piemērota izmantošanai, jo to salīdzinoši viegli var savākt jūras piekrastē. Lai ievāktu citas Baltijas jūras makroaļģu sugas, *F. vesiculosus* un *F. lumbricalis* tieši no substrāta, ir nepieciešamas papildu iekārtas, piemēram, niršanas ekipējums vai grunts smēlējs, lai veiktu ievākšanu no laivas. Papildu pieejamības faktoram *Ulva* audzēšanu laboratorijas apstākļos var veikt kolbās, savukārt lielāka izmēra jūras makroaļģes ir jāaudzē akvārijos.

Izveidotā laboratorijas stenda uzdevums ir palielināt pētniecības kapacitāti Latvijā un ļaut veikt jūras makroaļģu audzēšanas, pavairošanas un uzturēšanas testus. Veiktie laboratorijas testi nodrošināja Baltijas jūras makroaļģu *U. intestinalis* maksimālo augšanas ātrumu 10 % dienā. Nākamais solis, lai palielinātu ražošanas apjomu, būtu audzēšanas pilotiekārtas izveide dabiskajā vidē ar mērķi sasniegt līdzīgu pieaugumu.

SECINĀJUMI

- Šajā pētījumā definētā Baltijas jūras makroaļģu biorafinērija ļauj realizēt Baltijas jūras makroaļģu potenciālu, izmantojot biorafinērijas koncepciju, kuras pamatā ir trīs platformas (izejvielas, produkti un tehnoloģijas) un kuru ietver bioekonomikas principi. Jūras makroaļģu biorafinērijas koncepcija var ievērojami veicināt ilgtspējīgu attīstību, pievienojot vērtību jūras makroaļģu izejvielām. Šī koncepcija ļauj maksimāli palielināt biomasas pārveidošanas efektivitāti un samazināt izejvielu daudzumu, kas nepieciešams, izmantojot gandrīz bezatkritumu pieeju.
- Baltijas jūras makroaļģes ir vērts izpētīt kā izejvielas Baltijas jūras makroaļģu biorafinērijā. Tomēr ir grūti noteikt precīzu pieejamās biomasas apjomu. Baltijas jūras makroaļģu biomasa ir neviendabīga pēc sugu sastāva, pieejamības un sezonalitātes. Lielākais izskaloto makroaļģu apjoms ir pieejams Latvijas atklātajā jūras piekrastē 228 m^3 uz 100 m rudens sezonā, savukārt Rīgas jūras līcī maksimālais izskaloto makroaļģu daudzums ir 112 m^3 uz 100 m.
- Salīdzinot ar citām Latvijas piekrastē sastopamajām makroaļģēm, *F. vesiculosus* ir visaugstākais ogļhidrātu saturs (65,7 %), *U. intestinalis* satur visaugstāko olbaltumvielu un lipīdu saturu, savukārt *F. lumbricalis* ir visaugstākais minerālvielu saturs.
- Karaginīns, celuloze un R-fikoeritrīns ir produkti, ko varētu iegūt no *F. lumbricalis*. *F. vesiculosus* var izmantot fenolisko savienojumu ieguvei un kā Omega 7 un Omega 9 taukskābju avotu. *U. intestinalis* var tikt izmantots algināta un Omega 3 taukskābju ekstrakcijai. Šos ķīmiskos savienojumus varētu izmantot veselības uzlabošanas un funkcionālajiem produktiem, tādā veidā ražojot produktus ar pievienoto vērtību. Tas apstiprina pirmo hipotēzi.
- Pašreiz Baltijas makroaļģes tiek izmantots kā mēslojums, lai bagātinātu augsnes. Baltijas jūras makroaļģu biomasas transformācijas ceļi atklāj iespēju uzlabot jūras makroaļģu pārstrādes praksi un paplašināt iegūto produktu klāstu. Tas apstiprina otro hipotēzi.
- Jūras makroaļģu audzēšanas laboratorijas stends pierāda spēju veikt vienkāršus testus, lai saglabātu jūras makroaļģu kultūras īstermiņā. Galvenie trūkumi, kas konstatēti eksperimentālajā procesā, ir ūdens temperatūras pielāgošana, gaisa padeves sistēmas izraisītā iztvaikošana un mikroaļģu piesārņojums.
- Veicot eksperimentus ar dažādu gaismas spektru ietekmi uz makroaļģēm, augstākos gaismas apstākļos notiek makroaļģu augšana un attīstība, apstākļos bez gaismas, sarkanās un zilās gaismas ietekmē notiek makroaļģu bojāeja.
- Barības vielu koncentrācija augšanas vidē ietekmē jūras makroaļģu *U. intestinalis* augšanas ātrumu. Barības vielu koncentrācijai palielinoties virs 2 mL/L, *U. intestinalis* augšanas ātrums samazinās. Pārāk augsts barības vielu saturs ir toksisks un ievērojami palēnina augšanu un izraisa makroaļģu bojāeju. Maksimālais makroaļģu pieauguma rādītājs bija 10 % dienā septiņu dienu periodā. 3. hipotēzi var apstiprināt tikai daļēji – bija iespējams panākt jūras makroaļģu audzēšanu, bet tikai īslaicīgu.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

[1] Wei N., Quarterman J., Jin Y.-S. S. Marine macroalgae: An untapped resource for producing fuels and chemicals. *Trends in Biotechnology* 2013:**31**(2):70–77. doi:10.1016/j.tibtech.2012.10.009.

[2] Tiwari B. K., Troy D. J. *Seaweed Sustainability: Food and Non-Food Applications*. Seaweed Sustainability: Food and Non-Food Applications. Elsevier; 2015.

[3] Harmsen P., Blaauw R., Haveren J. Van. Seaweed Biorefinery Wageningen UR Food & Biobased Research. 2013:25–26.

[4] Bixler H. J., Porse H. A decade of change in the seaweed hydrocolloids industry. *Journal of Applied Phycology* 2011:**23**(3):321–335. doi:10.1007/s10811-010-9529-3.

[5] Milledge J. J., Smith B., Dyer P. W., Harvey P. Macroalgae-derived biofuel: A review of methods of energy extraction from seaweed biomass. *Energies* 2014:**7**(11):7194–7222. doi:10.3390/en7117194.

[6] European Commission. *The EU Blue Economy Report. 2020*. The EU Blue Economy Report. 2020.; 2020.

[7] Bechtold T., Mussak R. *Biorefinery Co-Products*. Biorefinery Co-Products.; 2012.

[8] Laurens L. M. L., McMillan J. D., Baxter D., et al. *State of Technology Review – Algae Bioenergy*. State of Technology Review – Algae Bioenergy.; 2017.

[9] Stuart P. R. *Integrated Biorefineries*. Integrated Biorefineries.; 2012.

[10] Rajak R. C., Jacob S., Kim B. S. A holistic zero waste biorefinery approach for macroalgal biomass utilization: A review. *Science of the Total Environment* 2020:**716**:137067. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137067.

[11] Julio R., Albet J., Vialle C., Vaca-Garcia C., Sablayrolles C. Sustainable design of biorefinery processes: existing practices and new methodology. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 2017:**11**(2):373–395. doi:10.1002/bbb.1749.

[12] Andersson V., Broberg S., Hackl R. *Integrated Algae Cultivation for Biofuels Production in Industrial Clusters*. Integrated Algae Cultivation for Biofuels Production in Industrial Clusters.; 2011.

[13] Lakshmi D. S., Sankaranarayanan S., Gajaria T. K., et al. A short review on the valorization of green seaweeds and ulvan: Feedstock for chemicals and biomaterials. *Biomolecules* 2020:**10**(7):1–20. doi:10.3390/biom10070991.

[14] Suursaar Ü., Torn K., Martin G., Herkül K., Kullas T. Formation and species composition of stormcast beach wrack in the Gulf of Riga, Baltic Sea. *Oceanologia* 2014:**56**(4):673–695. doi:10.5697/oc.56-4.673.

[15] Peng Y., Hu J., Yang B., et al. *Chemical composition of seaweeds*. Chemical composition of seaweeds. Elsevier Inc.; 2015.

[16] Bruton T. (BioXL), Lyons H., Lerat Y., Stanley M., Rasmussen M. B. A Review of the Potential of Marine Algae as a Source of Biofuel in Ireland. *Sustainable Energy Ireland* 2009:92.

[17] Burtin P. Nutritional Value of Seaweeds. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry* 2003:**2**(4):1579–4377.

[18] Fleurence J., Morançais M., Dumay J. *Seaweed proteins*. Seaweed proteins 10 Second Edi. Elsevier Ltd.; 2018.

[19] Venkatesan J, S A. Sk., Venkatesan J., Anil S., Kim S. K. *Seaweed Polysaccharides Isolation, Biological and Biomedical Applications*. Seaweed Polysaccharides Isolation, Biological and Biomedical Applications 1.; 2017.

[20] Holdt S. L., Kraan S. Bioactive compounds in seaweed: Functional food applications and legislation. *Journal of Applied Phycology* 2011; **23**(3):543–597.

[21] Sánchez-Machado D. I., López-Cervantes J., López-Hernández J., Paseiro-Losada P. Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food Chemistry* 2004: doi:10.1016/j.foodchem.2003.08.001.

[22] Ruperez P. Mineral content of edible marine seaweeds. *Food Chemistry* 2002:**79**(1):23–26. doi:10.1016/S0308-8146(02)00171-1.

[23] Spurr H. I. Extraction, separation and purification of polyphenols, polysaccharides and pigments from British seaweed for high-value applications. 2014:102–108.
[24] Yanik J., Stahl R., Troeger N., Sinag A. Pyrolysis of algal biomass. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2013:**103**(September):134–141. doi:10.1016/j.jaap.2012.08.016.
[25] Duan X. J., Zhang W. W., Li X. M., Wang B. G. Evaluation of antioxidant property of extract and fractions obtained from a red alga, Polysiphonia urceolata. *Food Chemistry* 2006: doi:10.1016/j.foodchem.2004.12.015.
[26] Gomez-Zavaglia A., Prieto Lage M. A., Jimenez-Lopez C., Mejuto J. C., Simal-Gandara J. The potential of seaweeds as a source of functional ingredients of prebiotic and antioxidant value. *Antioxidants* 2019:**8**(9). doi:10.3390/antiox8090406.
[27] Balina K., Romagnoli F., Blumberga D. Seaweed biorefinery concept for sustainable use of marine resources. In: *Energy Procedia*, vol 128. Elsevier B.V.; 2017:504–511.
[28] Michalak I., Chojnacka K. Algal extracts: Technology and advances. *Engineering in Life Sciences* 2014:**14**(6):581–591. doi:10.1002/elsc.201400139.
[29] Sosa-Hernández J. E., Escobedo-Avellaneda Z., Iqbal H. M. N., Welti-Chanes J. State-of-the-art extraction methodologies for bioactive compounds from algal biome to meet bio-economy challenges and opportunities. *Molecules* 2018:**23**(11). doi:10.3390/molecules23112953.
[30] Chemat F., Vian M. A., Cravotto G. Green extraction of natural products: Concept and principles. *International Journal of Molecular Sciences* 2012:**13**(7):8615–8627. doi:10.3390/ ijms13078615.
[31] Allaf T., Allaf K. Fundamentals of Process-Intensification Strategy for Green Extraction Operations. *Green Extraction of Natural Products: Theory and Practice* 2014:145–172. doi:10.1002/9783527676828.ch5.
[32] Azmir J., Zaidul I. S. M., Rahman M. M., et al. Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering* 2013:**117**(4):426–436. doi:10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014.
[33] Grosso C., Valentão P., Ferreres F., Andrade P. B. Alternative and efficient extraction methods for marine-derived compounds. *Marine Drugs* 2015:**13**(5):3182–3230. doi:10.3390/ md13053182.
[34] Kadam S. U., Álvarez C., Tiwari B. K., O'Donnell C. P. *Extraction of biomolecules from seaweeds*. Extraction of biomolecules from seaweeds. Elsevier Inc.; 2015.
[35] Sabeena S. F., Alagarsamy S., Sattari Z., et al. Enzyme-assisted extraction of bioactive compounds from brown seaweeds and characterization. *Journal of Applied Phycology* 2019: doi:10.1007/s10811-019-01906-6.
[36] Ciko A. M., Jokić S., Šubarić D., Jerković I. Overview on the application of modern methods for the extraction of bioactive compounds from marine macroalgae. *Marine Drugs* 2018:**16**(10). doi:10.3390/md16100348.
[37] Rebours C., Marinho-Soriano E., Zertuche-González J. A., et al. Seaweeds: An opportunity for wealth and sustainable livelihood for coastal communities. *Journal of Applied Phycology* 2014:**26**(5):1939–1951. doi:10.1007/s10811-014-0304-8.
[38] Gutow L., Beermann J., Buschbaum C., M. Rivadeneira M., Thiel M. Castaways can't be choosers — Homogenization of rafting assemblages on floating seaweeds. *Journal of Sea Research* 2015:**95**:161–171. doi:10.1016/j.seares.2014.07.005.
[39] Ugarte R. A., Sharp G. A new approach to seaweed management in Eastern Canada: The case of Ascophyllum nodosum. *Cahiers de Biologie Marine* 2001:
[40] Kim J. K., Yarish C., Hwang E. K., Park M., Kim Y. Seaweed aquaculture: Cultivation technologies, challenges and its ecosystem services. *Algae* 2017; **32**(1):1–13.
[41] Özdenkçi K., De Blasio C., Muddassar H. R., et al. A novel biorefinery integration concept for lignocellulosic biomass. *Energy Conversion and Management* 2017: doi:10.1016/j. enconman.2017.04.034.
[42] Paré G., Trudel M. C., Jaana M., Kitsiou S. Synthesizing information systems knowledge: A typology of literature reviews. *Information and Management* 2015: doi:10.1016/j.im. 2014.08.008.
[43] Muizniece I., Timma L., Blumberga A., Blumberga D. The Methodology for Assessment of Bioeconomy Efficiency. In: *Energy Procedia*, vol 95; 2016:482–486.

[44] Mathijs E., Brunori G., Carus M., Griffon M., Last L. *Sustainable Agriculture, Forestry and Fisheries in the Bioeconomy -A Challenge for Europe*. Sustainable Agriculture, Forestry and Fisheries in the Bioeconomy -A Challenge for Europe.; 2015.
[45] Andersen R. A. *Algal Culturing Techniques*. Algal Culturing Techniques. Elsevier; 2005.
[46] Anderson R. A., Berges R. A., Harrison P. J., Watanabe M. M. Recipes for Freshwater and Seawater Media; Enriched Natural Seawater Media. In: *Algal Culturing Techniques*; 2005:596.
[47] ImageJ. https://imagej.nih.gov/ij/. Accessed May 9, 2018.
[48] Riekstiņš N. *Latvijas zivsaimniecības gadagrāmata2014*. Latvijas zivsaimniecības gadagrāmata2014. The Latvian Rural Advisory and Training Centre; 2014.
[49] Alberte M. Makrobentosa sugu izplatību un daudzveidību regulējoši faktori Baltijas jūras austrumu daļas akmeņainajā piekrastē. 2012.
[50] Biedrība "Baltijas krasti." Jūras aļģu sanesumu izvērtēšanas un apsaimniekošanas plāns Latvijas piekrastē. 2018:
[51] Strunga A. Mikro un makro aļģu audzēšanas un pārstrādes iespējas Baltijas jūras reģionā. In: *SUBMARINER*. Liepāja; 2013:7.
[52] Torn K., Krause-Jensen D., Martin G. Present and past depth distribution of bladderwrack (Fucus vesiculosus) in the Baltic Sea. *Aquatic Botany* 2006:**84**(1):53–62. doi:10.1016/j.aquabot.2005.07.011.
[53] Kersen P. Red seaweeds Furcellaria lumbricalis and Coccotylus truncatus: community structure, dynamics and growth in the Northern Baltic sea. 2013; (January).
[54] Schramm W. The Baltic Sea and Its Transition Zones. In: 1996.
[55] Kautsky L., Svensson S. Life in the Baltic Sea. *Environmental Science: Understanding, Protecting and Managing the Environment in the Baltic Sea Region* 2003:148–181.
[56] SUBMARINER. *Compendium An Assessment of Innovative and Sustainable Uses of Baltic Marine Resources*. Compendium An Assessment of Innovative and Sustainable Uses of Baltic Marine Resources.; 2012.
[57] Li X., Xiong F., Liu Y., Liu F., Hao Z., Chen H. Total fractionation and characterization of the water-soluble polysaccharides isolated from Enteromorpha intestinalis. *International Journal of Biological Macromolecules* 2018:**111**:319–325. doi:10.1016/j.ijbiomac.2018.01.018.
[58] Wright R. T., Boorse D. F. *Environmental Science: Toward a Sustainable Future, 12th Edition*. Environmental Science: Toward a Sustainable Future, 12th Edition. Upper Saddle River: Pearson Education Inc.; 2014.
[59] Peasura N., Laohakunjit N., Kerdchoechuen O., Wanlapa S. Characteristics and antioxidant of Ulva intestinalis sulphated polysaccharides extracted with different solvents. *International Journal of Biological Macromolecules* 2015:**81**:912–919. doi:10.1016/j.ijbiomac.2015.09.030.
[60] Kidgell J. T., Magnusson M., de Nys R., Glasson C. R. K. Ulvan: A systematic review of extraction, composition and function. *Algal Research* 2019:**39**(January):101422. doi:10.1016/j.algal.2019.101422.
[61] Szaniawska A., Normant M. Szaniawska, Normant - 2000 - The biochemical composition of Enteromorpha spp . from the Gulf of Gdańsk coast on the southern Balt.pdf. 2000:
[62] Rioux L.-E., Turgeon S. L., Beaulieu M. Characterization of polysaccharides extracted from brown seaweeds. *Carbohydrate Polymers* 2007:**69**(3):530–537. doi:10.1016/j.carbpol.2007.01.009.
[63] Stiger-Pouvreau V., Bourgougnon N., Deslandes E. *Carbohydrates from Seaweeds*. Carbohydrates from Seaweeds. Elsevier Inc.; 2016.
[64] de Reviers B., Leproux A. Characterization of polysaccharides from Enteromorpha intestinalis (L.) link, chlorophyta. *Carbohydrate Polymers* 1993:**22**(4):253–259. doi:10.1016/0144-8617(93)90128-Q.
[65] Tabarsa M., Han J. H., Kim C. Y., You S. G. Molecular characteristics and immunomodulatory activities of water-soluble sulfated polysaccharides from ulva pertusa. *Journal of Medicinal Food* 2012:**15**(2):135–144. doi:10.1089/jmf.2011.1716.
[66] Tabarsa M., You S. G., Dabaghian E. H., Surayot U. Water-soluble polysaccharides from Ulva intestinalis: Molecular properties, structural elucidation and immunomodulatory activities. *Journal of Food and Drug Analysis* 2018:**26**(2):599–608. doi:10.1016/j.jfda.2017.07.016.

[67] Graiff A., Liesner D., Karsten U., Bartsch I. Temperature tolerance of western Baltic Sea Fucus vesiculosus – growth, photosynthesis and survival. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 2015:**471**:8–16. doi:10.1016/j.jembe.2015.05.009.
[68] Rahimi F., Tabarsa M., Rezaei M. Ulvan from green algae Ulva intestinalis: optimization of ultrasound-assisted extraction and antioxidant activity. *Journal of Applied Phycology* 2016:**28**(5):2979–2990. doi:10.1007/s10811-016-0824-5.
[69] Benjama O., Masniyom P. Nutritional composition and physicochemical properties of two green seaweeds (Ulva pertusa and U. intestinalis) from the Pattani Bay in Southern Thailand. *Songklanakarin Journal of Science and Technology* 2011:**33**(5):575–583.
[70] Kersen P., Paalme T., Pajusalu L., Martin G. Biotechnological applications of the red alga Furcellaria lumbricalis and its cultivation potential in the Baltic Sea. *Botanica Marina* 2017:**60**(2):207–218. doi:10.1515/bot-2016-0062.
[71] Cherry P., O'hara C., Magee P. J., Mcsorley E. M., Allsopp P. J. Risks and benefits of consuming edible seaweeds. *Nutrition Reviews* 2019:**77**(5):307–329. doi:10.1093/nutrit/nuy066.
[72] Parjikolaei B. R., Bruhn A., Eybye K. L., et al. Valuable Biomolecules from Nine North Atlantic Red Macroalgae: Amino Acids, Fatty Acids, Carotenoids, Minerals and Metals. *Natural Resources* 2016:**07**(04):157–183. doi:10.4236/nr.2016.74016.
[73] Naseri A., Holdt S. L., Jacobsen C. Biochemical and Nutritional Composition of Industrial Red Seaweed Used in Carrageenan Production. *Journal of Aquatic Food Product Technology* 2019:**28**(9):967–973. doi:10.1080/10498850.2019.1664693.
[74] Hermund D. B. Extraction, characterization and application of antioxidants from the Nordic brown alga Fucus vesiculosus. 2016:(February):312.
[75] Truus K., Vaher M., Koel M., Mähar A., Taure I. Analysis of bioactive ingredients in the brown alga Fucus vesiculosus by capillary electrophoresis and neutron activation analysis. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 2004:**379**(5–6):849–852. doi:10.1007/s00216-004-2666-2.
[76] Rozentsvet O. A., Nesterov V. N. Lipids and fatty acids from ulva intestinalis from estuaries of the caspian basin (elton region). *Chemistry of Natural Compounds* 2012:**48**(4):544–547. doi:10.1007/s10600-012-0305-2.
[77] Ragonese C., Tedone L., Beccaria M., et al. Characterisation of lipid fraction of marine macroalgae by means of chromatography techniques coupled to mass spectrometry. *Food Chemistry* 2014:**145**:932–940. doi:10.1016/j.foodchem.2013.08.130.
[78] Jeong G. T., Park D. H. Optimization of lipid extraction from marine green macro-algae as biofuel resources. *Korean Journal of Chemical Engineering* 2015:**32**(12):2463–2467. doi:10.1007/s11814-015-0083-1.
[79] Maehre H. K., Malde M. K., Eilertsen K.-E., Elvevoll E. O. Characterization of protein, lipid and mineral contents in common Norwegian seaweeds and evaluation of their potential as food and feed. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2014:**94**(15):3281–3290. doi:10.1002/jsfa.6681.
[80] Peinado I., Girón J., Koutsidis G., Ames J. M. Chemical composition, antioxidant activity and sensory evaluation of five different species of brown edible seaweeds. *Food Research International* 2014:**66**:36–44. doi:10.1016/j.foodres.2014.08.035.
[81] Alam M., Chakravarti A., Ikawa M. Lipid composition of the brown alga Fucus vesiculosus. *Journal of Phycology* 1971:**7**(3):267–268. doi:10.1111/j.1529-8817.1971.tb01515.x.
[82] Rohani-Ghadikolaei K., Abdulalian E., Ng W. K. Evaluation of the proximate, fatty acid and mineral composition of representative green, brown and red seaweeds from the Persian Gulf of Iran as potential food and feed resources. *Journal of Food Science and Technology* 2012:**49**(6):774–780. doi:10.1007/s13197-010-0220-0.
[83] Biancarosa I., Belghit I., Bruckner C. G., et al. Chemical characterization of 21 species of marine macroalgae common in Norwegian waters: benefits of and limitations to their potential use in food and feed. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 2018:**98**(5):2035–2042. doi:10.1002/jsfa.8798.
[84] Yin-Hu W., Yin Y., Xin L., Hong-Ying H., Zhen-Feng S. Biomass production of a Scenedesmus sp. under phosphorous-starvation cultivation condition. *Bioresource technology* 2012:**112**:193–8. doi:10.1016/j.biortech.2012.02.037.

[85] Bird C. J., Saunders G. W., McLachlan J. Biology of Furcellaria lumbricalis (Hudson) Lamouroux (Rhodophyta: Gigartinales), a commercial carrageenophyte. *Journal of Applied Phycology* 1991:**3**(1):61–82.
[86] Bleakley S., Hayes M. Algal Proteins: Extraction, Application, and Challenges Concerning Production. *Foods* 2017:**6**(5):33. doi:10.3390/foods6050033.
[87] Li Y., Cui J., Zhang G., et al. Optimization study on the hydrogen peroxide pretreatment and production of bioethanol from seaweed Ulva prolifera biomass. *Bioresource Technology* 2016:**214**:144–149. doi:10.1016/j.biortech.2016.04.090.
[88] Rioux L. E., Turgeon S. L., Beaulieu M. Structural characterization of laminaran and galactofucan extracted from the brown seaweed Saccharina longicruris. *Phytochemistry* 2010:**71**(13):1586–1595. doi:10.1016/j.phytochem.2010.05.021.
[89] Xuan T. D., Sakanishi K., Nakagoshi N., et al. Biorefinery : Concepts , Current Status , and Development Trends. 2012:(January 2015).
[90] Hurd C. L., Harrison P. J., Bischof K., Lobban C. S. *Seaweed Ecology and Physiology*. Seaweed Ecology and Physiology.; 2014.
[91] Yang Y., Chai Z., Wang Q., Chen W., He Z., Jiang S. Cultivation of seaweed Gracilaria in Chinese coastal waters and its contribution to environmental improvements. *Algal Research* 2015:**9**:236–244. doi:10.1016/j.algal.2015.03.017.
[92] Kim K. Y., Lee I. K. The germling growth of Enteromorpha intestinalis (Chlorophyta) in laboratory culture under different combinations of irradiance and salinity and temperature and salinity. *Phycologia* 1996:**35**(4):327–331. https://www.researchgate.net/publication/240794250_The_germling_growth_of_Enteromorpha_intestinalis_Chlorophyta_in_laboratory_culture_under_different_combinations_of_irradiance_and_salinity_and_temperature_and_salinityAccessedMay 3, 2016.
[93] Kerrison P. D., Stanley M. S., Edwards M. D., Black K. D., Hughes A. D. The cultivation of European kelp for bioenergy: Site and species selection. *Biomass and Bioenergy* 2015:**80**:229–242.http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953415001725AccessedOctober 21, 2015.
[94] Eriksson B. K., Bergström L. Local distribution patterns of macroalgae in relation to environmental variables in the northern Baltic Proper. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 2005:**62**(1–2):109–117. doi:10.1016/j.ecss.2004.08.009.