



**“Makroaļģu sastāva un potenciālās izmantošanas vērtības
noteikšana”
(līgums Nr. 8-5/R097/05)**

**Pētījuma
noslēguma ziņojums**

Pasūtītājs:
Kurzemes plānošanas reģions
Reģ. Nr. 90002183562

Izpildītājs:
Latvijas Valsts Koksnes ķīmijas institūts

Rīga
31.12.2020.

*Dokuments ir izstrādāts pēc Kurzemes plānošanas reģiona pasūtījuma INTERREG Baltijas jūras reģiona programmas 2014.-2020. gadam līdzfinansētā projektā Nr. R097 „Baltijas jūras aļģu ilgtspējīga izmantošana” (GRASS) ar Eiropas Reģionālās attīstības fonda atbalstu.
Dokuments atspoguļo autora viedokli, un INTERREG Baltijas jūras reģiona transnacionālās sadarbības programmas vadošā iestāde neatbild par tajā ietvertās informācijas iespējamo izmantošanu.*

Saturs

KOPSAVILKUMS.....	4
ABSTRACT.....	5
Ievads.....	6
Literatūras apskats.....	8
Kaitīgie savienojumi alģēs.....	8
Smagie metāli alģēs.....	8
Pārējie kaitīgie savienojumi alģēs.....	11
Ekspierimentālā daļa.....	13
Rezultāti un to izvērtējums.....	16
1. Izskaloto alģu savākšana un raksturošana.....	16
2. Kaitīgie piesārņojumi savāktajās alģēs.....	18
3. Alģu ķīmiskā sastāva raksturošana.....	24
4. Alģu saturošu kompozītmateriālu izgatavošana.....	29
SECINĀJUMI.....	35
Pateicība.....	36
Literatūras saraksts:.....	37

KOPSAVILKUMS

Pētījumā veikta Baltijas jūras krastā izskalotu aļģu biomasas botāniskā sastāva izpēte, fizikāli-ķīmiskais un ķīmiskais raksturojums, un izvērtētas izskaloto furcelāriju alternatīvas izmantošanas iespējas, neapskatot tradicionālo furcelāriju izmantošanas veidus hidrokoloīda furcelarāna iegūšanai un lauksaimniecībā. Dominējošā izskaloto makroaļģu suga Liepājas un Pāvilostas pludmalē ir furcelārija (*Furcellaria lumbricalis*). Sāļums savāktajās aļģēs ir neliels, tomēr aļģes var saturēt mikrobioloģisko piesārņojumu. Ķīmiskā sastāva analīze parādīja, ka furcelāriju biomasa sastāv no ogļhidrātiem (kopējais apjoms ~80%, galvenokārt – furcelarāns), proteīniem (kopējais apjoms 15%, tajā skaitā ievērojams daudzums neaizvietojamo aminoskābju), neliela daudzuma ekstraktvielu un minerālvielām. Lai samazinātu smilšu piemaisījumu apjomu aļģu biomasā, izskalotās aļģes turpmākai pārstrādei ir lietderīgi vākt tikai, ja ir lieli aļģu sanesumi. Kaitīgie piemaisījumi - smagie metāli, metaloīdi un policikliskie aromātiskie ogļhidrāti furcelārijās atrasti pieļaujamos daudzumos un tie neietekmē furcelāriju izmantošanu. Tika izgatavoti furcelārijas – makulatūras eksperimentāli kompozītmateriāli un noteiktas to mehāniskās un gaisa caurlaidības īpašības. Inovatīvo kompozītmateriālu var lietot kā dekoratīvu vai iesaiņojuma materiālu.

Pētījuma ziņojums satur 9 attēlus, 16 tabulas, 43 literatūras atsauces. Kopā 41 lpp. Uzrakstīts latviešu valodā.

ABSTRACT

Botanical composition, physico-chemical and chemical characteristics of algal biomass, washed ashore and collected on the beaches of the Baltic Sea, were investigated. Alternative applications of furcellaria, different from traditional applications such as furcellaran production and agriculture, were assessed. The dominant species of collected macroalgae in Liepaja and Pavilosta was found to be *Furcellaria lumbricalis*. The salinity of the collected algae was low, however, the algae may contain microbiological contamination. Chemical analysis revealed that furcellaria consists of 80% carbohydrates (mainly furcellaran), 15% proteins (including significant amount of essential amino acids), small amounts of extractives and minerals. In order to reduce the amount of sand in the algal biomass it should be collected and processed, when significant amounts of algae have been washed ashore and can be collected on the beach. Heavy metals metalloids and polycyclic aromatic carbohydrates were found in furcellaria in acceptable amounts, which do not affect the application possibilities. Experimental composite materials of furcellaria and waste paper were made and their mechanical and air permeability properties were determined. The possible application of innovative composite material can be decorative or packaging material.

Report contains 9 figures, 16 tables, 43 references on 41 pages. The report is written in Latvian.

Ievads

Izskalojās jūras aļģes ir viens no nepilnīgi izmantotiem Latvijas dabas resursiem. Aļģēm ir plašs pielietojums dažādās tautsaimniecības nozarēs. Aļģes izmanto lauksaimniecībā, pārtikas ražošanā, dzīvnieku barībā, kosmētikā (talasterapija), farmācijā, tiek pētīta aļģu izmantošana biodegvielas (bioetanolā, biodīzeļā, biogāzes) un bioķīmikāliju (pigmentu, bioloģiski aktīvu savienojumu utt.) iegūšanai. No vairāk nekā 10000 piekrastes aļģu sugām apmēram 200 tiek saimnieciski izmantotas, bet intensīvi audzē apmēram 10 (Syrpas & Venskutonis, 2020). Pašlaik tiek intensīvi pētītas iespējas audzēt makroaļģes arī Baltijas jūrā (Thomas *et al.*, 2019; Weinberger *et al.*, 2020). No Latvijas piekrastē sastopamām aļģu sugām saimnieciski nozīmīgākās ir sārtaļģe furcelārija (*Furcellaria lumbricalis*) un brūnaļģe pūšļu fuks (*Fucus vesiculosus*). Furcelārija jau kopš 1940.-iem gadiem ir pazīstama kā izejviela hidrocoloīda furcelarāna (pārtikas piedeva E407) iegūšanai. Pūšļu fuks ir uzturā lietojama aļģe (Morrissey *et al.*, 2001), no tās var iegūt hidrocoloīdus alginātus un bioloģiski aktīvu sulfūrēto polisaharīdu fukoidānu (Bikovens, 2019). Jāatzīmē, ka vecākā literatūrā vēl 20. gs. septiņdesmitajos gados furcelārija *Furcellaria lumbricalis* tika apzīmēta ar nosaukumu *Furcellaria fastigiata* L. (Bird, 1991) un no tās iegūstamo hidrocoloīdu sauca par agaru (t.s. “dāņu agars”).

Kurzemes atklātās jūras piekrastē izskaloto aļģu daudzums un sastāvs mainās plašās robežās, tomēr pārliecinoši dominē sārtaļģes un konkrēti - furcelārijas (Baltijas krasti, 2018). Izskalotā aļģu biomasa parasti satur jauktas aļģu sugas un piemaisījumus, kas būtiski samazina to komerciālo vērtību (Mooney-McAuley *et al.*, 2016), tomēr pēdējā laikā pieaug interese par to saimniecisko izmantošanu (Weinberger *et al.*, 2020). Vienlaicīgi izskaloto aļģu izmantošana palīdz samazināt piekrastes ūdeņu eitrofikāciju, īpaši, ar slāpekli un fosforu (Michalak, 2020). Līdz 20. gs. deviņdesmitajiem gadiem Latvijā no izskalotām furcelārijām ieguva hidrocoloīdu “agaru” (furcelarānu) kolhozā “Nākotne”, Glūdā, Dobeles rajonā. Igaunija ir viena no dažām valstīm, kas kopš 20. gs. sešdesmitajiem gadiem joprojām izmanto furcelārijas hidrocoloīdu iegūšanai (Weinberger *et al.*, 2019).

Pētījuma mērķis. Izvērtēt Kurzemes atklātās jūras piekrastē izskaloto aļģu furcelāriju alternatīvas izmantošanas iespējas.

Darba uzdevumi.

- Apsekot Liepājas un Pāvilostas pludmales un veikt paraugu ievākšanu vasaras un rudens sezonā. Noteikt savāktu jūras aļģu botānisko sastāvu, raksturot savāktās biomasas ķīmiskās, fizikāli-ķīmiskās īpašības un mikrobioloģisko piesārņojumu.

- Noteikt kaitīgo smago metālu, metaloīdu un organisko piesārņojumu saturu savāktajās aļģēs un novērtēt to ietekmi uz aļģu turpmākās izmantošanas iespējām.
- Izpētīt aļģu ķīmisko sastāvu. Noteikt elementsastāvu, pelnu, ekstraktvielu, ogļhidrātu un proteīnu sastāvu. Veikt furcelāriju proteīnu ekstrakciju. Izvērtēt aļģu alternatīvas izmantošanas iespējas.
- Izgatavot eksperimentālus aļģes saturošus kompozītmateriālus. Noteikt iegūto kompozītmateriālu mehāniskās īpašības un izvērtēt šādu produktu izmantošanas iespējas.

Literatūras apskats

Kaitīgie savienojumi aļģēs

Baltijas jūra ir iekšējā jūra ar ierobežotu ūdens apmaiņu ar pārējo Pasaules okeānu un lielu saldūdens pieplūdi no upēm un nokrišņiem. Tas nosaka zemu sāļu koncentrāciju ūdenī (iesāļūdens) un palielinātu ūdens antropogēno piesārņojumu. Aļģēm, tāpat kā citiem ūdens organismiem, piemīt spēja koncentrēt dažādus piesārņojumus no ūdens bioakumulācijas ceļā, tāpēc ir nepieciešams izvērtēt kaitīgo savienojumu saturu, kas potenciāli varētu ietekmēt to izmantošanu. Biežāk pētītie kaitīgie piesārņojumi aļģēs ir smagie metāli, kā arī ogļūdeņraži.

Smagie metāli aļģēs

Smago metālu saturs Baltijas jūras ūdenī un Baltijas jūras biocenozē tiek intensīvi pētīts pasaulē un Latvijā. Baltijas jūras ūdenī smago metālu koncentrācija ir ļoti zema (skat. 1. tabulu), tāpēc smago metālu noteikšanai izmanto planktonu vai zivju audus, kuri akumulē smagos metālus (Aigars *et al.*, 2016).

1. tabula. Smago metālu saturs Baltijas jūrā (pēc Aigars *et al.* 2016)

Autors		Hg (ng/L)	Pb (ng/L)	Cd (ng/L)	Cu (ng/L)	Zn (ng/L)	Ni (ng/L)
Dippner (2004)	Minimums	0,28	1,65	6,07	268	382	
	Maksimums	47,1	185	22,0	1043	2314	
	Mediāna	39,5	14,4	12,9	587	659	
Walve (2014)	Minimums			10,1	521	288	511
	Maksimums			20,2	591	366	599
	Mediāna			13,5	540	327	546

Smago metālu saturs aļģu biomasā ir viens no svarīgākajiem ierobežojošiem faktoriem to izmantošanā. Dažādiem produktiem ir atšķirīgas maksimālās pieļaujamās smago metālu koncentrācijas. Augsnes ielabošanas līdzekļos pieļaujamās koncentrācijas ir vairākas reizes lielākas nekā pārtikā lietojamos produktos. Tas saistīts ar produkta potenciālu tiešu vai netiešu saskarsmi ar cilvēka organismu, no kā ir atkarīga iespējamās ietekmes stiprība un smago metālu nonākšana organismā. Pastāv maksimālās pieļaujamās smago metālu koncentrācijas ierobežojumi citos produktos, piemēram, Eiropas Savienības noteiktā (EFSA 2009) pusmetāla arsēna maksimālā koncentrācija “kaļķainās” jūras aļģēs (*calcareous marine algae* – angļu val.),

kas paredzētas dzīvnieku pārtikai, ir 10 mg/kg produkta (ar mitrumu 12%), bet dzīvnieku barībai paredzētajās jūraszālēs 40 mg/kg produkta (ar mitrumu 12%).

Ar smago metālu klātbūtni aļģēs, aļģu produktos un jūraszālēs ir jāreķinās. To dara, izvērtējot maksimāli pieļaujamās koncentrācijas un ieviešot izņēmumus normatīvajos aktos un prasībās. Piemēram, kadmiņa ierobežojums uztura bagātinātājos tiek paaugstināts trīs reizes no 1 mg/kg uz 3 mg/kg, ja uztura bagātinātājs sastāv tikai no kaltētām jūraszālēm vai kuru sastāvā tās ir pārsvarā, vai kas sastāv no produktiem, kuri iegūti no jūraszālēm (Eiropas Komisija 2006).

2. tabula. Smago metālu maksimāli pieļaujamā koncentrācija produktā, izsakot uz absolūti sausu testējamā materiāla paraugu

	Organiski un organominerāli mēslošanas līdzekļi un augu augšanas veicinātāji ^a , mg/kg	Substrāts ^a , mg/kg	Notekūdeņu dūņas vai komposts ^b , mg/kg	Pārtikas sāļš ^c , mg/kg	Uztura bagātinātāji (EK 2006) mg/kg
Dzīvsudrabs (Hg)	2,0	1,0	10	0,1	0,1
Kadmijs (Cd)	3,0	2,0	20	0,5	1,0 - 3,0*
Arsēns (As)	50	20	-	0,5	-
Niķelis (Ni)	100	50	200	-	-
Svins (Pb)	150	100	500	2,0	3,0
Varš (Cu)	-	100	800	2,0	-
Cinks (Zn)	-	300	2500	-	-
Hroms (Cr)	-	100	600	-	-

^asaskaņā ar MK noteikumiem Nr.506 "Mēslošanas līdzekļu un substrātu identifikācijas, kvalitātes atbilstības novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi"

^bsaskaņā ar MK noteikumiem Nr.362 "Noteikumi par notekūdeņu dūņu un to komposta izmantošanu, monitoringu un kontroli"

^csaskaņā ar MK noteikumiem Nr.696 "Noteikumi par pārtikā lietojamu sāli"

*uztura bagātinātāji, kas sastāv tikai no kaltētām jūraszālēm vai kuru sastāvā tās ir pārsvarā, vai kas sastāv no produktiem, kuri iegūti no jūraszālēm

No aļģēm gatavotos vai aļģes saturošos uztura bagātinātājos Eiropā konstatēts arsēna daudzums 2-42 mg/kg (EFSA 2009), komerciāli pieejamās jūraszālēs arsēna koncentrācija no 17 līdz 88 mg/kg. Arsēns tika konstatēts arī jūraszāļu tabletēs un koncentrātos, kas ražoti no *Spirulinas* vai *Fucus* ģints aļģēm koncentrācijās starp 0,231 un 37,4 mg/kg, izpētot, ka neorganiskā arsēna forma sastādīja 60% no kopējā arsēna *Spirulinas* tabletēs un 5% *Fucus* tabletēs (Almela et al.,

2006). Lielas arsēna koncentrācijas uzrādīja pārtikas produkts aļģu milti – 236 mg/kg un uztura bagātinātājs, kas ražots no *Fucus lyophilis* - 116 mg/kg (EFSA 2009).

Dažādās ģeogrāfiskās vietās un augšanas apstākļos augušas aļģes var saturēt atšķirīgu smago metālu daudzumu. 2018. gadā Baltijas jūras līča piekrastē savāktas brūnaļģes saturēja 8,2 mg/kg cinka, 7,8 mg/kg vara, 0,5 mg/kg svina, 0,3 mg/kg kadmija un 0,007 mg/kg dzīvsudraba, savukārt zaļāļģes – 11,5 mg/kg cinka, 8,9 mg/kg vara, 1,0 mg/kg svina, 0,3 mg/kg kadmija un 0,008 mg/kg dzīvsudraba. Cinks (Zn) ar koncentrāciju 14-80 mg/kg tika konstatēts Īrijā savāktās pūšļu fuka aļģēs (Morrissey *et al.*, 2001).

Norvēģijas piekrastē ievākts pūšļu fuks saturēja 28 mg/kg cinka, 37 mg/kg mangāna, 3,7 mg/kg vara, bet *Furcellaria lumbricalis* 23 mg/kg cinka, 7,5 mg/kg mangāna, 6,2 mg/kg vara. Brūnaļģes kopumā saturēja 0,03 – 2,6 mg/kg, bet sārtaļģes – 0,07 – 3,1 mg/kg kadmija. Svina saturs gan brūnajās, gan sārtaļģēs bija zem 0,58 mg/kg savukārt arsēns brūnaļģēs konstatēts 21-120 mg/kg koncentrācijā, bet sārtaļģēs 6,4-24 mg/kg (Biancarosa *et al.*, 2018).

Polijas piekrastē ievāktām *Furcellaria lumbricalis* konstatēja 1,6 mg/kg svina, 2,4 mg/kg kadmija, 9,2 mg/kg niķeļa un 0,016 mg/kg dzīvsudraba koncentrāciju (Zalewska and Danowska, 2017), bet Zviedrijā ievāktām tās pašas sugas aļģēm kadmija saturs bija 1,1-3,2 mg/kg, vara saturs 7,1-11,1 mg/kg (Greger *et al.*, 2007).

Gotlandes piekrastē ievāktā sajauktā aļģu masā, kas saturēja arī *Furcellaria lumbricalis*, vidējais kadmija līmenis bija 0,1 - 2,2 mg/kg, bet atsevišķi analizēta *Furcellaria lumbricalis* uzrādīja zemāku - 0,25 mg/kg kadmija koncentrāciju (Franzén *et al.*, 2019).

Baltijas jūras Gdaņskas līcī ievāktās aļģes saturēja 15 – 130 ng/g dzīvsudraba (Falandysz, 1994).

2004.-2006. gadā Baltijas jūras Sopotas pludmalē Polijā ievāktās makroaļģes saturēja dzīvsudrabu koncentrācijā zem 0,014 µg/g, kadmiju 0,3 – 1,49 µg/g, svinu 0,95 – 10,5 µg/g, niķeli 1,55 – 5,13 µg/g, cinku 39,4 – 223 µg/g, varu 3,31 – 14,4 µg/g, hromu 1,6 – 4,38. Smago metālu koncentrācija bija atkarīga no aļģu ievākšanas datuma (Filipkowska *et al.*, 2008).

Fuku ģints aļģu smago metālu saturs atkarīgs no to augšanas un ievākšanas vietas un apstākļiem. Japāņu jūrā ievāktās saturēja 50 mg/kg arsēna, 0,55 mg/kg kadmija, 0,036 mg/kg dzīvsudraba, 0,51 mg/kg svina, bet Vācijā Baltijas jūras piekrastē tās pašas sugas aļģes saturēja 21,73 mg/kg arsēna, 0,79 mg/kg kadmija, 0,002 mg/kg dzīvsudraba un 1,04 mg/kg svina. Ziemeļjūrā ievāktas fuka aļģes saturēja 46,45 mg/kg arsēna, 0,22 – 10,03 mg/kg kadmija, 0,01 mg/kg dzīvsudraba, 1,86 mg/kg svina. Īru jūrā augušām aļģēm šie rādītāji bija 44 mg/kg arsēna, 0,4 mg/kg kadmija un 0,7 mg/kg svina, savukārt Adrijas jūrā 44-73 mg/kg arsēna, 0,6-0,8 mg/kg kadmija un 1,6 – 2,0 mg/kg svina. Labradoras jūrā augušas fuka aļģes satur 25,1-30,7

mg/kg arsēna, 0,5 – 2,1 mg/kg kadmija, 0,4 mg/kg svina. Fuku ģints aļģes sastopamas arī Atlantijas okeānā un to smago metālu saturs ļoti atkarīgs no ģeogrāfiskās lokācijas, kopumā nevēlamo piemaisījumu diapazons bija 16,13 – 31,6 mg/kg arsēna, 0,6 – 1,4 mg/kg kadmija, 0,09 – 3,9 mg/kg svina (Shchukin *et al.*, 2018).

No otras puses, ņemot vērā aļģu spēju akumulēt smagos metālus, tiek pētīta iespēja izmantot aļģes kā biosorbentus smago metālu sorbcijai (Cheng *et al.*, 2019).

Dotais literatūras apskats parāda, ka smago metālu saturs aļģēs ir atkarīgs no daudziem faktoriem, ieskaitot aļģu sugu un to augšanas apstākļus. Salīdzinot normatīvajos aktos minētās smago metālu maksimāli pieļaujamās koncentrācijas (MPK) (2. Tabula) ar literatūrā atrastiem datiem, var secināt, ka vairums gadījumu smago metālu koncentrācijas ir ievērojami zemākas par MPK, izņemot kadmiju, kur šie lielumi atsevišķos gadījumos pat pārsniedz organiskiem mēslošanas līdzekļiem noteikto 3 mg/kg koncentrāciju (Biancarosa *et al.*, 2018; Greger *et al.*, 2007). Šādos gadījumos aļģes varētu izmantot vienīgi nepārtikas augu audzēšanai, jo var notikt smago metālu migrācija (Greger *et al.*, 2007).

Pārējie kaitīgie savienojumi aļģēs

Biežāk minētie izskalotās aļģu biomasas trūkumi ir lielais piesārņojums ar smiltīm un aļģu sāļums, kas var negatīvi ietekmēt augu attīstību, ja šādas aļģes paredzēts izmantot lauksaimniecībā. Iepriekš veiktie pētījumi parādīja, ka Rīgas līcī savākto izskaloto aļģu biomasa var saturēt vairāk nekā 70% neorganisko savienojumu jeb smiltis no savākto aļģu masas (Bikovens, 2019). Elektrovadītspēja parāda aļģu sāļumu, kas ir svarīgs izskaloto jūras aļģu rādītājs. Elektrovadītspēja, lielāka par 8 mS/cm, var negatīvi ietekmēt atsevišķus augsnes mikroorganismus un sliēkas (Santamaria-Romero *et al.*, 2001). Rīgas līcī izskaloto aļģu sāļums nepārsniedz šo lielumu (Bikovens, 2019), taču atklātās jūras sāļums ir apmēram pusotras reizes lielāks un tas var negatīvi ietekmēt augsnes mikro/makrofloru, tāpēc ir nepieciešams noteikt aļģu sāļumu.

Izskalotas aļģes tradicionāli izmanto kā organisko mēslošanas līdzekli. Spēkā esošais Eiropas Komisijas Lēmums 2015/2099 (2015. gada 18. novembris) nosaka ekoloģiskos kritērijus ES ekomarkējuma piešķiršanai augšanas substrātiem un augsnes ielabotājiem. Šis lēmums nosaka smago metālu maksimāli pieļaujamās koncentrācijas (2. Tabula), policiklisko aromātisko oglekļa ogļūdeņražu (PAO) limitu un mikrobioloģisko piesārņojumu. Maksimāli pieļaujamais PAO daudzums ir 6 mg/kg. Nosaka kopējo naftalīna, acenaftilēna, acenaftēna, fluorēna, fenantrēna, antracēna, fluorantēna, pirēna, benz[a]antracēna, hrizēna, benz[b]

fluorantēna, benz[k]fluorantēna, benz[a]pirēna, inden[1,2,3-cd]pirēna, dibenz[a,h]antracēna un benz[ghi]perilēna daudzumu un izsaka kā PAO₁₆. Dažādām aļģēm piemīt atšķirīga spēja akumulēt PAO. Brūnaļģes (*Fucus vesiculosus* un *Chorda filum*) akumulēja 89-99% no šķīdumā esošā benzo[a]pirēna, savukārt sārtaļģes (*Furcellaria lumbricalis*) un zaļaļģes ievērojami mazāk 42-49% līdzīgos apstākļos. Daļa no akumulētā benzo[a]pirēna (4%) aļģēs tika metabolizēta (Kirso & Irha, 1998). PAO saturs Sopotas līča (Polija) aļģēs svārstījās plašās robežās no 14 līdz 5418 mkg/kg (Filipkowska *et al.*, 2008), kas atsevišķos gadījumos ir tuvs noteiktajām normām augsnes ielabotājiem. PAO koncentrācija var būtiski pieaugt jūras velšu un aļģu termiskās apstrādes gadījumā (dos Santos Fagoca *et al.*, 2018) un šajā gadījumā būtu jānosaka PAO gala produktā, taču furcelārijas netiek izmantotas pārtikā.

Polihlorēto bifenolu (PHB) saturs aļģēs ir mazāk pētīts. Sopotas līča (Polija) aļģēs PHB saturs bija no 0,09 līdz 1,24 ng/g, kas ir ievērojami zemāks saturs par MPK augsnē un ir salīdzināms ar PHB saturu parka zālē (Filipkowska *et al.*, 2008).

Pēdējā laikā pieaug interese par dažādu antropogēno vielu - antibiotiku, pesticīdu utt. - bioakumulāciju jūras biocenozē. Ņemot vērā šo vielu niecīgās koncentrācijas, pētījumu par šo vielu saturu furcelārijās pēc autora ziņām zinātniskajā literatūrā pagaidām vēl nav, un var pieņemt, ka šo vielu iespējamā klātbūtne neietekmē aļģu biomasas izmantošanu. Aļģes atrodas barības ķēdes apakšā un furcelārijas satur maz lipofīlās vielas, kur šie savienojumi varētu akumulēties.

3. tabula. *E.coli* un *Salmonella* spp. limiti augsnes substrātos un ielabotājos

Patogēns	Limits
<i>E.coli</i>	1000 KVV/g svaigmasas
<i>Salmonella</i> spp.	Nav sastopama 25 g svaigmasas

Izskatās aļģes var saturēt mikrobioloģisko piesārņojumu. EK lēmums 2015/2099 nosaka *E.coli* un *Salmonella* spp. limitu augsnes substrātiem un ielabotājiem (3. Tabula).

Eksperimentālā daļa

Paraugu savākšana. Saskaņā ar pētījuma tehnisko specifikāciju tika apsekotas Liepājas un Pāvilostas pludmales 2020. gada 07. augustā un 10. oktobrī. Izskaloto aļģu paraugi tika savākti manuāli. Paraugi tika glabāti saldētavā $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrā līdz turpmākai analīžu veikšanai.

Paraugu botāniskā sastāva noteikšana. Aļģu sugu identifikāciju tika veikta pēc to morfoloģiskām īpašībām. Rezultāti izteikti uz aļģu sausni.

Mikrobioloģiskās pārbaudes. Mikroorganismu *Escherichia coli* un *Salmonella* spp. koloniju veidojošās vienības (KVV) uz gramu savākto aļģu (*Salmonella* spp. uz 25 g savākto aļģu) noteiktas saskaņā ar LVS ISO 16649-2:2007 un LVS EN 6579-1:2017 standartiem svaigi savāktiem aļģu paraugiem. Analīzes veiktas SIA "Vides Audits" laboratorijā.

Mitruma noteikšana. Gravimetriski pēc žāvēšanas pie $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, izmantojot mitruma noteicēju KERN DBS.

Paraugu liofila žāvēšana tika veikta, izmantojot Heto PowerDry PL3000 (Dānija) iekārtu (aļģes, ekstrakti).

Pelnu noteikšana. Gravimetriski pēc parauga pārpelnošanas pie $575\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 3 h mufelkrāsnī Carbolite.

Elektrovadītspējas noteikšana. Analīzes veiktas atbilstoši LV standartam LVS ISO 11265:1994.

Kopējā fosfora (P) noteikšana. Analīzes veiktas atbilstoši LV standartam LVS 398:2002.

Kālija (K) noteikšana. Analīzes veiktas atbilstoši LV standartam LVS ISO 9964-3:2000. Pirms K noteikšanas paraugi mineralizēti atbilstoši LV standartam LVS ISO 11466:1995.

Elementu sastāva noteikšana. Paraugu (aļģu, komposta izejvielu un komposta) elementu analīze veikta ar Vario MACRO CHNS aparātu (Elementar Analysen-systeme, GmbH).

Policiklisko aromātisko ogļūdeņražu noteikšana. Analīzes veiktas atbilstoši BIOR-T-012-030-2006 standartam.

Makro un mikroelementu noteikšana. Pirms analīzēm aļģes tika mineralizētas, izmantojot mikroviļņu enerģiju. Liofili izžāvēti paraugi ($\sim 0,100\text{ g}$) tika kvantitatīvi pārnesti teflona trauciņos un atšķaidīti ar 8 mL koncentrētas HNO_3 . Trauki tika ievietoti mikroviļņu iekārtā un sildīti 10 minūtes līdz $160\text{ }^{\circ}\text{C}$, izturēti 20 minūtes $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ temperatūrā, atdzesēti līdz istabas temperatūrai un atšķaidīti ar dejonizētu ūdeni.

Makro un mikroelementu noteikšana aļģēs, ieskaitot potenciāli toksiskus metālus un metalloīdus, tika veikta izmantojot induktīvi saistītās plazmas masspektrometru Agilent 8900 Triple Quadrupole ICP-MS (ASV). Lai noteiktu elementu saturu šķīdumos, masas

koncentrācijas noteikšanai izmantoja daudzelementu standartšķīdumu TraceCERT for ICP (Sigma Aldrich) ar izejas koncentrāciju 10 mg/L.

Paraugu ekstrakcija ar organiskiem šķīdinātājiem. Gaisa-sausi aļģu paraugi tika ekstrahēti ar organiskajiem šķīdinātājiem (ekstrahentiem) ar pieaugošu polaritāti, izmantojot Soksleta ekstraktorus. Ekstrahenti – dietilēteris, etilacetāts, etanols. Ekstrakcijas laiks 7-8 h.

Aļģu aminoskābju sastāvs. Analīzes veiktas atbilstoši standartam ISO 13903:2005 (aminoskābju sastāva noteikšana dzīvnieku barībā). Aminoskābes triptofāns (Trp) noteikšana veikta atbilstoši ES standartam EU 152/2009, izmantojot augstas izšķirtspējas šķidrums hromatogrāfija ar fluorescences noteikšanu.

Aļģu ogļhidrātu monomēru sastāvs. Analīzes veiktas, izmantojot aldolu acetātu gāzes hromatogrāfisko (hromatogrāfs Agilent 6850 Series GC System ar TC17 kolonnu) metodi pēc aļģu hidrolīzes ar atšķaidītu 3-4% sērskābi 3 h pie 102 °C (Blakeney *et al.*, 1983). Kā standarti tika izmantoti - ramnoze, fukoze, arabinoze, ksiloze, galaktoze, mannoze un glikoze, iekšējais standarts metil α -D-glikopiranoze.

FTIR spektru uzņemšana. Pētāmo paraugu spektri uzņemti KBr tabletēs (1-2 mg parauga, 200 mg KBr), izmantojot “*SpektrumOne*” (Perkin Elmer Ltd.) spektrometru. Spektru uzņemšanas apstākļi: uzņemšanas diapazons no 4000 cm^{-1} līdz 450 cm^{-1} , izšķirtspēja 4 cm^{-1} , skanēšanas reižu skaits 64.

Aļģu saturošu kompozītmateriālu izgatavošanu un raksturošana. Savāktās furcelārijas 6 – 7 reizes tika skalotas ar krāna ūdeni (SIA “Rīgas Ūdens”), lai atbrīvotos no smilšu piejaukumiem. Manuāli atdalīti citi piejaukumi (koksnes gabali, gliemežvāki u.c.). Skalotās furcelārijas ar mitrumu 82% bez papildu žāvēšanas izmantotas kompozītmateriāla – aļģu un makulatūras kartona - atlējumu veidošanas pētījumā. Lai iegūtu kartona atlējumu veidošanai piemērotu homogēnu masu, furcelārijas tika sagrieztas < 1 cm garos gabalos. Pētījumā izmantoto makulatūras masu piegādāja SIA “VLT” (šķiedru masa gaiši pelēkā krāsā, piegādāta un uzglabāta ar mitrumu 7%). Paraugu mitrums noteikts ar automātisko mitruma noteicēju FMS65 (Fisherbrand, Vācija). Lai pagatavotu kartona atlējumus, tika ņemts nepieciešamais daudzums (rēķinot uz absolūti sausu (a.s.) izejvielas svaru, gramos) makulatūras un aļģu masas (4. tabula), tā aplieta ar ūdeni un izturēta 4 h, pēc tam suspendēta 1,5 L ūdens, izmantojot iekārtu Disintegrator (Frank PTI, Austrija) līdz 70 000 apgriezieniem.

4. tabula. Aļģu (A) un makulatūras (M) kartona atlējumu paraugu sastāvs

Nr.p.k.	Paraugs	Aļģes (A)		Makulatūra (M)	
		g (a.s.)	%	g (a.s.)	%
1	A/M 100/0	6,4	100	0	0
2	A/M 10/90	5,8	90	0,6	10
3	A/M 25/75	4,8	75	1,6	25
4	A/M 50/50	3,2	50	3,2	50
5	A/M 75/25	1,6	25	4,8	75
6	A/M 90/10	0,6	10	5,8	90
7	A/M 100/0	0	0	6,4	100

Kartona kompozītmateriāla atlējumi iegūti, izmantojot laboratorijas papīra iegūšanas mašīnas tipa iekārtu Rapid Köthen (PTI, Austrija) saskaņā ar standartu ISO 5269-2:2004. Tika sagatavoti 5 paralēli atlējumu paraugi katrai kompozīcijai. Parauga biezums noteikts saskaņā ar LVS EN ISO 534:2012 (“Papīrs un kartons. Lokšņu biezuma, blīvuma un īpatnējā tilpuma noteikšana”) ar automātisko mikrometru F16502 (Frank-PTI, Austrija). Paraugu masa uz laukuma vienību (nozārē lieto terminu “gramāža”) tika aprēķināta saskaņā ar LVS EN ISO 536:2020 (“Papīrs un kartons. Masas noteikšana uz laukuma vienību”). Paraugu gaisa caurlaidība noteikta saskaņā ar ISO 5636-3:2013 ar iekārtu Air Permeability Tester 266 (Lorentzen & Wettre, Zviedrija). Stiepes stiprība noteikta ar Tensile Tester Vertical F81838 (Frank-PTI, Austrija) saskaņā ar LVS EN ISO 1924-2:2009 (“Papīrs un kartons. Stiepes īpašību noteikšana. 2. daļa”), bet caurspiešanas jeb pārraušanas stiprība ar Burst Tester (Frank-PTI, Austrija) saskaņā ar LVS EN ISO 2758:2014 (“Papīrs. Pārraušanas spēka noteikšana”).

Rezultāti un to izvērtējums

1. Izskaloto aļģu savākšana un raksturošana

Izskaloto aļģu paraugi manuāli tika savākti 2020. gada augustā un oktobrī Liepājas un Pāvilostas pludmalēs. Aļģu sanesumi augustā bija nelieli/mazi Liepājas pludmalē un ļoti mazi Pāvilostas pludmalē, savukārt oktobrī abas pludmalēs bija lieli izskaloto aļģu sanesumi. Sanesumu daudzums būtiski ietekmēja minerālvielu, galvenokārt, smilšu piemaisījumu daudzumu savāktajā aļģu biomasā un tās beramo svaru, kas ir svarīgs tehnoloģiskais parametrs (skat 5. tabulu).

5. Tabula. Izskaloto aļģu pelnu saturs un beramais svars Liepājas un Pāvilostas pludmalēs

Vieta, laiks	Pelnu saturs, %	Beramais svars, kg/m ³
Liepāja, augusts	64,5 ± 0,9	1226
Pāvilosta, augusts	93,0 ± 0,5	1601
Liepāja, oktobris	45,9 ± 0,5	507
Pāvilosta, oktobris	62,5 ± 0,5	541

Pie nelieliem izskaloto aļģu sanesumiem minerālvielu jeb pelnu saturs un biomasas beramais svars ir lielāki. Rudenī savāktu aļģu beramais svars bija 2-2,5 reizes mazāks, salīdzinot ar vasarā savāktām aļģēm. Tik lielu starpību nevar izskaidrot tikai ar smilšu piemaisījumu. Iespējams, ka rudenī aļģu biomasā bija sausāka, pateicoties sausam un saulainam laikam.

Elektrovadītspēja parāda aļģu sāļumu, kas var būt viens no ierobežojošiem faktoriem aļģu izmantošanai lauksaimniecībā. Aļģu sāļums lielāks par 8 mS/cm var negatīvi ietekmēt augsnes mikroorganismus (Santamaria-Romero *et al.*, 2001). Savāktu aļģu elektrovadītspēja bija no 2,3 līdz 3,8 mS/cm Liepājas un Pāvilostas pludmalēs, kam nevajadzētu ietekmēt augsnes mikroorganismus un ierobežot aļģu izmantošanu (skat. 6. tabula). Augu barības vielu saturs savāktajā biomasā ir atkarīgs no piemaisījuma daudzuma un ir ievērojami mazāks, salīdzinot ar barības vielu saturu attīrītajās (mazgātajās) aļģēs.

6. tabula. Izskaloto aļģu elektrovadītspēja, barības elementu saturs un mikrobioloģiskais piesārņojums

Vieta, laiks	Sāļums, mS/cm	Kopējais fosfors, % (P ₂ O ₅)	Kopējais kālijs, % (K ₂ O)	Kopējais slāpeklis, % (N)	<i>E.coli</i> , KVV/g	<i>Salmonella</i> spp. (25 g)
Liepāja, oktobris	3,84	0,093	0,13	1,40	1794	+ (ir)
Pāvilosta, oktobris	2,32	0,028	0,03	0,28	< 10	- (nav)

Mikrobioloģiskais piesārņojums var ierobežot aļģu biomasas izmantošanu ne tikai pārtikā, bet arī lauksaimniecībā. Spēkā esošie normatīvie akti nosaka, ka augsnes ielabotajos *E.coli* saturs nedrīkst pārsniegt 1000 KVV/g un testam uz *Salmonella* sugām jābūt negatīvam. Oktobrī Liepājas pludmalēs savāktajās izskalotajās aļģēs šie rādītāji tika pārsniegti. Dotie rezultāti neļauj secināt, vai tas ir saistīts ar ūdens piesārņojumu Liepājas pludmalē pie dienvidu mola, kur tika savāktas aļģes, vai arī aļģu piesārņošana ar patogēniem mikroorganismiem notikusi pludmalē. Acīmredzot katrai pludmalē savākto aļģu biomasas partijas iespējamam mikrobioloģiskam piesārņojumam ir jāpievērš pastiprināta uzmanība un tas katru reizi jākontrolē.

Savāktās aļģes tika sadalītas pēc to anatomiskām pazīmēm pa sugām: sārtaļģes – furcelārijas (*Furcellaria lumbricallis*) un kokotilus (*Coccotylus truncata*), brūnaļģes – pūšļu fuks (*Fucus vesiculossus*), citas aļģes – galvenokārt viengadīgās brūnaļģes un sārtaļģes.



1.attēls. Izskaloto aļģu botāniskais sastāvs Liepājas teritorijā (% no sauses)



2.attēls. Izskaloto aļģu botāniskais sastāvs Pāvilostas pludmalē (% no sauses)

Visos savāktajos paraugos dominējošā makroaļģu suga bija furcelārija (*Furcellaria lumbricalis*), taču tā nav vienīga izskalota makroaļģe un to saturs var mainīties plašās robežās no 47 līdz 81 % no savākto aļģu sauses.

Secinājumi. Izskalojot aļģes turpmākai pārstrādei ir lietderīgi vākt tikai, ja ir lieli aļģu sanesumi. Tas samazina smilšu piemaisījumus savāktajā biomasā. Dominējošā izskaloto makroaļģu suga ir furcelārija (*Furcellaria lumbricalis*). Sāļums savāktajās aļģēs ir neliels, tomēr aļģes var saturēt mikrobioloģisko piesārņojumu.

2. Kaitīgie piesārņojumi savāktajās aļģēs

Kaitīgie piesārņojumi var būtiski ierobežot izskalojamo aļģu biomasas turpmāko izmantošanu. Dažādām produktu kategorijām ir atšķirīgi pieļaujamie piesārņojuma daudzumi. Smago metālu saturs ir viens no visbiežāk pētītajiem piesārņojumiem aļģēs. Izmantojot induktīvi saistītās plazmas masspektrometriju, tika noteikti 41 makro un mikroelementi aļģēs, ieskaitot smagos metālus un metaloīdus, kuru saturu reglamentē likumdošana, kā arī lantanoīdi un citi mikroelementi. Daļa no noteiktajiem mikroelementiem (lantanoīdi) pirmo reizi tika noteikti tieši Baltijas jūras aļģēs. Iegūtie rezultāti apkopoti 7., 8., 9. un 10. tabulā.

Iegūtie rezultāti parāda, ka izskalojamo aļģes satur smagos metālus un metaloīdus nelielā daudzumā. Dažādām aļģu sugām ir atšķirīga spēja akumulēt dažādus metālus un metaloīdus. Varam novērot tendenci, ka furcelārijas akumulē mazāk smagos metālus, salīdzinot ar citām aļģu sugām. Liepājas un Pāvilostas pludmalēs izskalojamo aļģu metālu un metaloīdu saturs vairums gadījumu ir līdzīgs, tomēr atsevišķu metālu saturs var atšķirties divas un vairāk reizes, piemēram, hroma (Cr), kobalta (Co), arsēna (As), rubīdija (Rb) saturs sārtāļģēs (8., 10.

tabulas). Metālu un metalloīdu saturs neietekmē izskaloto makroaļģu izmantošanu lauksaimniecībā. Dzīvsudraba (Hg) koncentrācija atsevišķos gadījumos (kokotilus, viengadīgās brūnaļģes un sārtaļģes) ir tuva vai pārsniedz maksimāli pieļaujamo Hg saturu 0,01 mg/kg makroaļģu pārtikas produktos un pārtikas piedevās (Rahikainen & Yang, 2020), taču šīs aļģes netiek izmantotas cilvēku pārtikā.

7. tabula. Makroelementu saturs Liepājas (L) un Pāvilostas (P) pludmalē izskalotajās aļģēs

Aļģes	Makroelementu koncentrācijas, g/kg ($\pm S_n$)						
	Na	Mg	Al	K	Ca	Mn	Fe
Furcelārija (L)	5,4 \pm 0,2	6,9 \pm 0,3	0,37 \pm 0,03	0,96 \pm 0,11	1,35 \pm 0,13	0,018 \pm 0,002	1,46 \pm 0,10
Pūšļu fuks (L)	10,66 \pm 0,13	11,4 \pm 0,3	0,272 \pm 0,007	25,1 \pm 0,2	3,1 \pm 0,2	0,179 \pm 0,005	0,468 \pm 0,011
Kokotilus (L)	3,34 \pm 0,02	7,88 \pm 0,12	1,01 \pm 0,05	0,67 \pm 0,02	2,17 \pm 0,03	0,0244 \pm 0,0003	1,66 \pm 0,07
Citas aļģes (L)	0,618 \pm 0,002	3,63 \pm 0,08	2,4 \pm 0,2	1,2 \pm 0,2	1,15 \pm 0,06	0,0293 \pm 0,0008	4,40 \pm 0,13
Kopējā aļģu biomasa (L)	0,116 \pm 0,002	5,80 \pm 0,11	1,18 \pm 0,11	9,09 \pm 0,10	2,2 \pm 0,2	0,076 \pm 0,003	3,16 \pm 0,10
Furcelārija (P)	3,89 \pm 0,03	6,96 \pm 0,13	0,350 \pm 0,004	3,33 \pm 0,03	1,06 \pm 0,02	0,0770 \pm 0,0015	0,73 \pm 0,05
Pūšļu fuks (P)	9,3 \pm 0,3	8,8 \pm 0,3	0,28 \pm 0,04	20,6 \pm 0,2	3,0 \pm 0,2	0,376 \pm 0,007	0,37 \pm 0,07
Kokotilus (P)	2,9 \pm 0,2	7,25 \pm 0,12	0,72 \pm 0,14	7,3 \pm 0,3	4,6 \pm 0,3	0,041 \pm 0,008	1,3 \pm 0,2
Citas aļģes (P)	1,00 \pm 0,13	4,5 \pm 0,3	3,12 \pm 0,07	1,372 \pm 0,005	1,14 \pm 0,04	0,0530 \pm 0,0009	4,04 \pm 0,06
Kopējā aļģu biomasa (P)	0,1131 \pm 0,0006	6,02 \pm 0,07	2,2 \pm 0,3	20,0 \pm 0,2	1,76 \pm 0,07	0,147 \pm 0,004	2,92 \pm 0,04

8. tabula. Smago metālu, arsēna un selēna saturs Liepājas (L) un Pāvilostas (P) pludmalē izskalotajās aļģēs

Aļģes	Smago metālu koncentrācijas, mg/kg ($\pm S_n$)										
	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb	V	Cr	Co	As	Se
Furcelārija (L)	3,8 \pm 0,2	8,6 \pm 0,3	73,6 \pm 0,8	ZDR*	0,0068 \pm 0,0011	0,35 \pm 0,02	1,81 \pm 0,09	0,83 \pm 0,04	0,34 \pm 0,04	2,18 \pm 0,08	0,18 \pm 0,02
Pūšļu fuks (L)	5,04 \pm 0,12	2,20 \pm 0,14	77,2 \pm 0,6	0,059 \pm 0,003	0,0052 \pm 0,0007	ZDR	0,84 \pm 0,02	1,10 \pm 0,12	0,110 \pm 0,009	14,129 \pm 0,003	0,075 \pm 0,003
Kokotilus (L)	9,3 \pm 0,2	14,0 \pm 0,4	175 \pm 4	0,2650 \pm 0,0015	0,022 \pm 0,002	1,11 \pm 0,03	2,7 \pm 0,2	2,10 \pm 0,14	0,65 \pm 0,04	1,51 \pm 0,03	0,394 \pm 0,005
Citas aļģes (L)	6,2 \pm 0,2	32,1 \pm 0,4	705 \pm 8	0,67 \pm 0,02	0,0151 \pm 0,0004	2,5 \pm 0,2	7,0 \pm 0,4	5,3 \pm 0,2	1,01 \pm 0,02	2,31 \pm 0,07	0,66 \pm 0,04
Kopējā aļģu biomasa (L)	7,63 \pm 0,14	10,1 \pm 0,2	43,2 \pm 1,2	0,26 \pm 0,03	0,0098 \pm 0,0006	1,0 \pm 0,2	4,2 \pm 0,2	2,18 \pm 0,13	0,84 \pm 0,04	3,68 \pm 0,10	0,36 \pm 0,03
Furcelārija (P)	5,4 \pm 0,2	9,8 \pm 0,3	62,8 \pm 0,9	ZDR	0,0079 \pm 0,0009	0,615 \pm 0,014	2,17 \pm 0,03	0,454 \pm 0,006	0,98 \pm 0,04	1,89 \pm 0,02	0,154 \pm 0,003
Pūšļu fuks (P)	4,5 \pm 0,2	1,653 \pm 0,008	27,7 \pm 0,4	0,067 \pm 0,006	0,0075 \pm 0,0012	ZDR	0,83 \pm 0,03	0,336 \pm 0,005	0,32 \pm 0,03	6,46 \pm 0,11	0,0982 \pm 0,0013
Kokotilus (P)	9,3 \pm 0,2	14,0 \pm 0,4	175 \pm 4	0,2650 \pm 0,0015	0,022 \pm 0,002	1,11 \pm 0,03	2,7 \pm 0,2	2,10 \pm 0,14	0,65 \pm 0,04	1,51 \pm 0,03	0,394 \pm 0,005
Citas aļģes (P)	5,05 \pm 0,08	27,8 \pm 0,3	357 \pm 7	ZDR	0,0149 \pm 0,0001	3,18 \pm 0,04	7,5 \pm 0,2	4,856 \pm 0,011	1,18 \pm 0,03	1,67 \pm 0,04	0,630 \pm 0,010
Kopējā aļģu biomasa (P)	7,02 \pm 0,09	12,36 \pm 0,10	48 \pm 2	0,61 \pm 0,02	0,0162 \pm 0,0014	2,3 \pm 0,3	5,8 \pm 0,2	3,48 \pm 0,07	1,15 \pm 0,10	3,30 \pm 0,02	0,55 \pm 0,02

* - ZDR – zem detektēšanas robežās

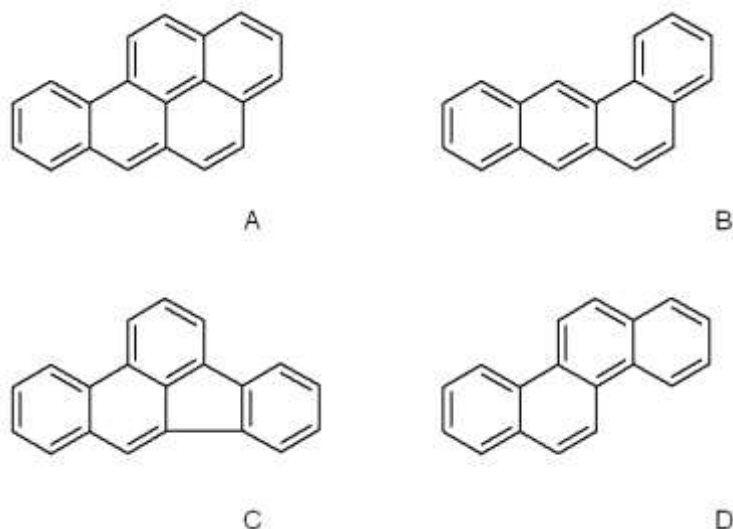
9. tabula. Lantanoīdu saturs Liepājas (L) un Pāvilostas (P) pludmalē izskalotajās aļģēs

Aļģes	Lantanoīdu koncentrācijas, mg/kg ($\pm S_n$)										
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Yb
Furcelārija (L)	0,673 \pm 0,008	1,400 \pm 0,003	0,150 \pm 0,003	0,646 \pm 0,002	0,136 \pm 0,004	0,0231 \pm 0,0006	0,144 \pm 0,004	0,110 \pm 0,002	0,0157 \pm 0,0007	0,056 \pm 0,003	0,0422 \pm 0,0005
Pūšļu fuks (L)	0,369 \pm 0,006	0,767 \pm 0,003	0,087 \pm 0,002	0,3706 \pm 0,0014	0,070 \pm 0,003	0,0126 \pm 0,0011	0,064 \pm 0,003	0,050 \pm 0,004	0,0037 \pm 0,0005	0,0251 \pm 0,0012	0,020 \pm 0,002
Kokotilus (L)	2,83 \pm 0,02	5,292 \pm 0,008	0,620 \pm 0,002	2,553 \pm 0,002	0,457 \pm 0,003	0,082 \pm 0,002	0,473 \pm 0,001	0,304 \pm 0,004	0,0531 \pm 0,0006	0,1481 \pm 0,0004	0,113 \pm 0,003
Citas aļģes (L)	2,88 \pm 0,03	5,566 \pm 0,005	0,643 \pm 0,005	2,56 \pm 0,03	0,4804 \pm 0,0005	0,0862 \pm 0,0012	0,451 \pm 0,001	0,345 \pm 0,003	0,061 \pm 0,002	0,165 \pm 0,003	0,141 \pm 0,005
Kopējā aļģu biomasa (L)	1,569 \pm 0,007	2,98 \pm 0,02	0,375 \pm 0,003	1,504 \pm 0,004	0,280 \pm 0,003	0,045 \pm 0,003	0,288 \pm 0,009	0,223 \pm 0,002	0,0369 \pm 0,0007	0,110 \pm 0,006	0,0942 \pm 0,0014
Furcelārija (P)	0,608 \pm 0,002	1,295 \pm 0,013	0,133 \pm 0,002	0,5823 \pm 0,0006	0,1157 \pm 0,0010	0,0187 \pm 0,0001	0,125 \pm 0,001	0,0954 6 \pm 0,0001	0,0133 \pm 0,0001	0,0501 \pm 0,0006	0,0398 \pm 0,0004
Pūšļu fuks (P)	0,55 \pm 0,04	1,15 \pm 0,05	0,139 \pm 0,002	0,555 \pm 0,003	0,105 \pm 0,004	0,0169 \pm 0,0012	0,090 \pm 0,005	0,067 \pm 0,004	0,0070 \pm 0,0011	0,036 \pm 0,002	0,028 \pm 0,002
Kokotilus (P)	2,87 \pm 0,02	5,624 \pm 0,004	0,604 \pm 0,006	2,511 \pm 0,011	0,4666 \pm 0,0012	0,074 \pm 0,002	0,453 \pm 0,003	0,282 \pm 0,004	0,0470 \pm 0,0008	0,132 \pm 0,002	0,097 \pm 0,005
Citas aļģes (P)	2,93 \pm 0,04	6,19 \pm 0,02	0,665 \pm 0,005	2,653 \pm 0,004	0,482 \pm 0,002	0,086 \pm 0,002	0,489 \pm 0,005	0,361 \pm 0,002	0,0654 \pm 0,0003	0,1865 \pm 0,0002	0,147 \pm 0,004
Kopējā aļģu biomasa (P)	1,95 \pm 0,06	4,25 \pm 0,02	0,393 \pm 0,006	1,789 \pm 0,009	0,356 \pm 0,002	0,057 \pm 0,003	0,330 \pm 0,001	0,253 \pm 0,004	0,0452 \pm 0,0009	0,135 \pm 0,005	0,1101 \pm 0,0014

10. tabula. Citu mikroelementu saturs Liepājas (L) un Pāvilostas (P) pludmalē izskalotajās aļģēs

Aļģes	Mikroelementu koncentrācijas, mg/kg ($\pm S_n$)											
	Rb	Sr	Sb	Cs	Ba	Hf	Ta	Tl	Li	Sc	Ge	Y
Furcelārija (L)	1,11 \pm 0,08	94,1 \pm 1,4	166,6 \pm 1,0	0,030 \pm 0,002	12 \pm 0,8	18,81 \pm 0,03	0,291 \pm 0,007	0,0114 \pm 0,0001	1,70 \pm 0,06	0,15 \pm 0,02	2,78 \pm 0,09	0,78 \pm 0,07
Pūšļu fuks (L)	11,32 \pm 0,09	893 \pm 3	204,1 \pm 1,1	0,047 2 \pm 0,000 5	124 \pm 2	8,48 \pm 0,06	0,286 \pm 0,002	0,0029 6 \pm 0,0000 7	1,71 \pm 0,03	0,112 \pm 0,002	2,30 \pm 0,02	0,45 \pm 0,06
Kokotilus (L)	1,96 \pm 0,10	151 \pm 4	220 \pm 2	0,086 \pm 0,006	21 \pm 08	50,9 \pm 0,5	0,295 \pm 0,004	0,0182 \pm 0,0002	1,62 \pm 0,09	0,278 \pm 0,014	5,24 \pm 004	1,83 \pm 0,04
Citas aļģes (L)	6,1 \pm 0,2	64,3 \pm 0,8	210,5 \pm 0,8	0,372 \pm 0,009	44,7 \pm 1,1	119 \pm 2	0,388 \pm 0,009	0,0206 \pm 0,0005	4,37 \pm 0,07	0,80 \pm 0,12	5,656 \pm 0,013	2,11 \pm 0,06
Kopējā aļģu biomasa (L)	7,934 \pm 0,011	145 \pm 4	308,4 \pm 0,4	0,131 \pm 0,008	22 \pm 0,7	40,8 \pm 0,3	0,293 \pm 0,002	0,0116 \pm 0,0003	2,19 \pm 0,05	0,316 \pm 0,013	3,32 \pm 0,06	1,423 \pm 0,005
Furcelārija (P)	2,67 \pm 0,02	89 \pm 2	218 \pm 2	0,030 3 \pm 0,001 0	7,9 \pm 0,2	17,30 \pm 0,08	0,274 \pm 0,006	0,0046 \pm 0,0002	1,289 \pm 0,012	0,114 \pm 0,005	2,331 \pm 0,008	0,622 \pm 0,009
Pūšļu fuks (P)	8,99 \pm 0,06	1042, 7 \pm 1,3	229,6 \pm 1,0	0,043 \pm 0,005	139,5 \pm 1,2	7,94 \pm 0,08	0,322 \pm 0,006	0,0034 \pm 0,0002	1,40 \pm 0,12	0,089 \pm 0,003	2,03 \pm 0,03	0,51 \pm 0,04
Kokotilus (P)	4,94 \pm 0,09	283 \pm 5	248 \pm 4	0,068 \pm 0,006	18 \pm 2	32,7 \pm 1,2	0,487 \pm 0,011	0,0137 \pm 0,0002	1,71 \pm 0,06	0,27 \pm 0,05	5,085 \pm 0,002	1,73 \pm 0,003
Citas aļģes (P)	6,03 \pm 0,04	67 \pm 2	119,8 \pm 0,7	0,316 \pm 0,002	29,3 \pm 0,3	78,9 \pm 0,4	0,210 \pm 0,002	0,0125 \pm 0,0004	4,59 \pm 0,07	0,8072 \pm 0,0005	5,26 \pm 0,05	2,27 \pm 0,05
Kopējā aļģu biomasa (P)	13,88 \pm 0,02	94,4 \pm 0,6	218,1 \pm 0,8	0,219 \pm 0,002	27 \pm 1,0	60,6 \pm 1,1	0,253 \pm 0,007	0,0128 \pm 0,0003	2,84 \pm 0,02	0,53 \pm 0,04	3,70 \pm 0,07	1,63 \pm 0,05

Organiskie piesārņojumi apkārtējā vide ir ļoti heterogēni pēc to sastāva. Jau 20. gs. beigās cilvēce izmantoja apmēram 500 tk. dažādu ķīmisko savienojumu, turklāt lielākā daļa no tiem bija organiskie savienojumi, no kuriem apmēram 40 tk. bija kaitīgi cilvēku veselībai (Lozanovskaja *et al.*, 1998). Svarīgākā organisko savienojumu klase, kas var radīt reālu aļģu biomasas piesārņojumu un tiek reglamentēta ar ES un Latvijas likumdošanu, ir policikliskie aromātiskie savienojumi. Pārtikas produktos nosakāmos savienojumus (3. attēls) un to daudzumu nosaka ES Komisijas Regulu No 1881/2006.



3. attēls. **Policikliskie aromātiskie savienojumi.** A - benzo(a)pirēns, B - benzo(a)antracēns, C - benzo(b)fluorontēns un D – krizēns.

Policiklisko aromātisko savienojumu saturs Liepājas pludmalē izskalotajās aļģēs ir četras reizes lielāks nekā Pāvilostas pludmalē (11. Tabula). Iespējams, tas ir saistīts ar pilsētas vidi, jo šo savienojumu avots var būt enerģijas ražošanas uzņēmumos lietotā kurināmā nepilnīgas sadegšanas rezultātā radušās vielas, autotransporta izplūdes gāzu un degvielas piesārņojums, naftas pārstrādes uzņēmumos lietotās vielas utt. Tomēr, arī Liepājā, izskalotajās aļģēs policiklisko aromātisko savienojumu daudzums ir ievērojami mazāks par maksimāli pieļaujamo piesārņojuma saturu pārtikas piedevās (10 µg/kg benzo(a)pirēna un 50 µg/kg kopējais policiklisko aromātisko savienojumu). Augsnes ielabotājiem maksimāli pieļaujamais saturs ir vēl lielāks (līdz 6 mg/kg).

11. tabula. Policiklisko aromātisko savienojumu saturs Liepājas (L) un Pāvilostas (P) pludmalē izskalotajās aļģēs

	Benzo(a)pirēns, µg/kg ($\pm S_n$)	Benzo(a)antracēna, benzo(b)fluorontēna, benzo(a)pirēna, krizēna summa, µg/kg ($\pm S_n$)
Kopējā aļģu biomasa (L)	0,24 \pm 0,05	2,00 \pm 0,22
Kopējā aļģu biomasa (P)	< 0,09	0,50 \pm 0,07

Secinājumi. Liepājas un Pāvilstas pludmalēs izskaloātās aļģes satur kaitīgos smagos metālus, metaloīdus un policikliskos aromātiskos savienojumus nelielos daudzumos, kas neietekmē to turpmākās izmantošanas iespējas.

3. Aļģu ķīmiskā sastāva raksturošana

Liepājas pludmalē izskaloto aļģu elementsastāvs redzams 12. tabulā. Izskaloto aļģu C/N attiecība ļauj tās tieši izmantot lauksaimniecībā kā organisko mēslojumu, slāpekļa un sēra savienojumu avotu. Slāpekļa saturs pūšļa fukā bija mazāks salīdzinot ar iepriekšējiem pētījumiem, kas tika veikti Rīgas līcī (Bikovens *et al.*, in press). Iespējams, tas saistīts ar pūšļa fuka lielāku sadalīšanās pakāpi.

12. tabula. Liepājas pludmalē izskaloto aļģu furcelāriju ekstrakta elementsastāvs

Paraugs	Slāpekļis (N), %	Ogleklis (C), %	Ūdeņradis (H), %	Sērs (S), %	C/N attiecība
Furcelārija	2,77 ± 0,02	38,68 ± 0,19	5,61 ± 0,07	4,70 ± 0,13	17
Pūšļu fuks	0,52 ± 0,01	39,53 ± 0,27	5,14 ± 0,10	2,58 ± 0,03	76
Kokotilus	3,95 ± 0,03	35,07 ± 0,08	5,20 ± 0,18	5,07 ± 0,04	9
Citas aļģes	2,88 ± 0,11	40,76 ± 0,27	5,79 ± 0,10	2,57 ± 0,02	14
Kopējā aļģu biomasa	2,78 ± 0,16	31,9 ± 2,3	4,34 ± 0,13	3,50 ± 0,35	12
Furcelāriju proteīna ekstrakts	1,82 ± 0,10	31,9 ± 0,4	5,55 ± 0,20	6,84 ± 0,04	17

Padziļināti tika pētīta dominējošās izskaloātās aļģu sugas furcelārijas ķīmiskais sastāvs. Furcelārija ir rūpnieciski izmantojamā aļģu suga, un tās ķīmiskais sastāvs ir aprakstīts zinātniskajā literatūrā, tomēr jāņem vērā, ka aļģes ķīmisko sastāvu ietekmē tās augšanas vieta, apstākļi (ūdens sāļums, temperatūra, brīvi peldošās vai piestiprinātas), izskaloto aļģu sadalīšanās pludmalē.

Ekstraktvielas ir viens no augu biomasas blakusproduktiem ar augstu pievienoto vērtību un plašu izmantošanas potenciālu dažādās tautsaimniecības jomās. Furcelārijas satur bioloģiski aktīvus oksilipinus, polinepiesātinātas ω-3, ω-6 taukskābes, pigmentus, fenolu antioksidantus, taču to absolūtais saturs ir neliels (Kersen *et al.*, 2017, Biancarosa *et al.*, 2018, Bāliņa *et al.*, 2020). Furcelāriju ūdens ekstraktvielas tika izmantotas kosmētiskajā līdzekļos kā anticelulīta

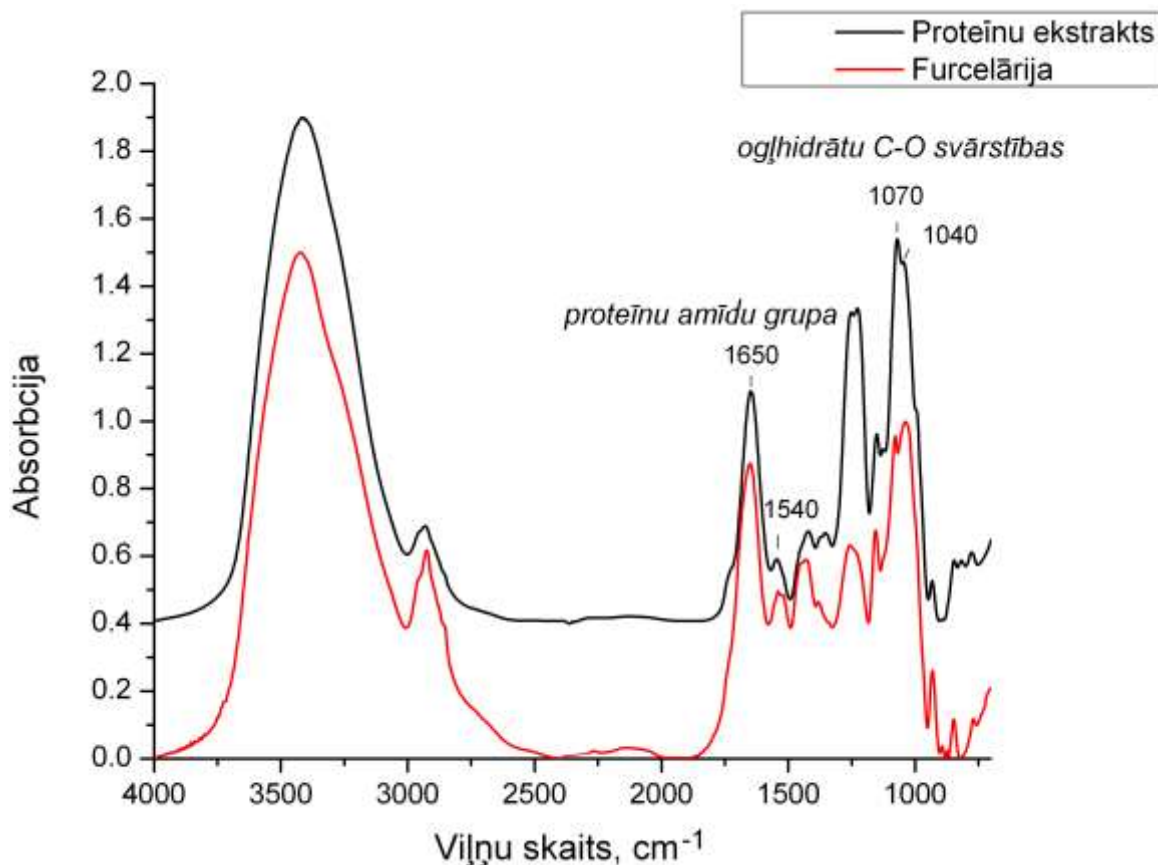
vielas (Al-Bader *et al.*, 2012). Fikobiliproteīni ir fluorescējoši proteīni, kas raksturīgi sārtaļģēm un cianobaktērijām. Fikobiliproteīni nodrošina aļģēm pieejamās gaismas nobīdi fotosintēzei nepieciešamajā diapazonā. Dabīgā stāvoklī *in situ* fluorescence tiem nepiemīt, taču pēc izdalīšanas tie ir vieni no spēcīgākajiem fluorescējošiem savienojumiem. 20.gs. beigās fikobiliproteīnu pasaules tirgus sastādīja 50 miljoni USD un cena svārstījās no 3 līdz 25 USD/mg (Syrpas & Venskutonis, 2020). No Baltijas jūras furcelārijām (*Furcellaria lumbricalis*) un kokotilusa (*Coccotylus truncatus*) tika izdalīti fikobiliproteīni – R-fikoeritrīns un (allo)fikocianīns. Palielinoties aļģu augšanas dziļumam, pieaug fikobiliproteīnu iznākums un sasniedz 0,74% no kokotilusa un 0,52% no furcelārijām (Saluri *et al.*, 2020).

Izskalotas furcelārijas tika ekstrahētas, izmantojot šķīdinātājus ar pieaugošu polaritāti. Ekstrakcijai tika izmantoti šķīdinātāji, kuru izmantošana ir atļauta pārtikas rūpniecībā. Iegūtie rezultāti apkopoti 13. tabulā. Iegūtie rezultāti parāda, ka furcelārijas satur salīdzinoši maz nepolāras ekstraktvielas. Pelnu saturs furcelārijas pēc aļģu mazgāšanas ar dejonizētu ūdeni bija mazāks par 10%.

13. tabula. Furcelāriju ekstraktvielu un pelnu saturs

Ekstrahents (šķīdinātājs)	Ekstraktvielu saturs, % ($\pm S_n$)
Dietilēteris	0,2 \pm 0,1
Etilacetāts	0,2 \pm 0,1
Etanols	0,5 \pm 0,1
Kopā:	0,9
Pelni	9,47 \pm 0,16

Fikobiliproteīna ekstrakcijai tika izmantota adoptēta Igaunijas un Zviedrijas pētnieku ekstrakcijas shēma, aizvietojo gela hromatografiju ar attīrīšanu ar dialīzes membrānām (Saluri *et al.*, 2020). Vispirms furcelārijas tika ekstrahētas ar dietilēteri un pēc tam ekstrahētas ar ūdens buferšķīdumu pie pH 6 (fosfāta buferšķīdums). Iegūtais ekstrakts tika attīrīts, izmantojot dialīzes membrānas un liofilizēts. Iegūtā ekstrakta iznākums sastādīja 100 mg no 4,1 g liofilizētām furcelārijām (ekstrakta iznākums 2,4%). Infrasarkanā (FTIR) spektroskopija ir metode, kas ļauj ātri un ar nelielu parauga daudzumu novērtēt pētāmā objekta funkcionālās grupas, kas atspoguļo tā ķīmisko sastāvu. Tika uzņemti furcelāriju un furcelāriju „proteīna” ekstraktu FTIR spektri (skat. 4. attēls).



4. attēls. Furcelāriju un furcelāriju proteīna ekstraktu FTIR spektri

Uzņemtajos spektros var redzēt proteīnu amīdu grupu svārstības pie absorbcijas maksimumiem 1650, 1540 cm^{-1} . Diemžēl proteīna ekstrakta spektrs, līdzīgi kā furcelāriju spektrs, uzrāda lielu absorbciju diapazonā no 1100 līdz 1000 cm^{-1} , kas raksturīgs dažādām ogļhidrātu C-O svārstībām. Slāpekļa saturs iegūtajā ekstraktā bija 1,8%, kas atbilst 11,4% proteīna (izmantojot pārrēķināšanas koeficientu 6,25). Ogļhidrātu monosaharīdu analīze apstiprināja, ka iegūtais “proteīnu” ekstrakts satur ievērojamu daudzumu ogļhidrātu, gandrīz 80% (14. tabula). Saluri et al. (2020) fikobiliproteīnu izdalīšanai izmantoja gela hromatogrāfiju, kas nebija pieejama šajā pētījumā. Mēģinājumi aizvietot šo attīrīšanas procedūru ar dialīzes membrānām izrādījās neveiksmīgi. Fikobiliproteīnu iegūšana no furcelārijām ir jauns process un ir nepieciešami padziļināti pētījumi, izmantojot modernākās ekstrakcijas un attīrīšanas metodes.

Furcelārijas ir industriāli izmantojamas karaginānu, konkrēti, furcellarānu, iegūšanai. Furcellarāna makromolekula satur daļēji sulfurētu galaktozi un 3,6-anhidrogalaktozi. Anhidrocukuru klātbūtne sārtajās būtiski apgrūtina to industriālo pārcukurošanu (Yun *et al.*, 2015, 2016). Ogļhidrātu analīzei izmantotā alditolacetātu monosaharīdu analīzes metode, kas iekļauj sevī skābes hidrolīzi un cukuru reducēšanu sārmainā vidē, ļauj noteikt tikai summāro galaktozes saturu. Iegūtie rezultāti (skat. 14. tabula) parāda, ka furcelārijas satur ievērojamu

daudzumu galaktozi saturošu ogļhidrātu, acīmredzot furcelarānu. Sārtaļģes satur maz celulozes (Yun *et al.*, 2015), taču lielais ogļhidrātu saturs ļauj izvirzīt pieņēmumu, ka aļģu biomasai būs laba savietojamība ar celulozes šķiedrām.

14. tabula. Furcelāriju un furcelāriju “proteīnu” ekstrakta ogļhidratu sastāvs (%_n)

Ogļhidrāti*	Furcelārijas	Furcelāriju “proteīnu” ekstrakts
Fukoze	z.d.r.**	0,4 ± 0,2
Ramnoze	z.d.r.**	1,2 ± 0,3
Arabinoze	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,2
Ksiloze	0,4 ± 0,2	3,1 ± 0,2
Mannoze	0,3 ± 0,1	1,2 ± 0,1
Galaktoze	44,7 ± 0,7	64,4 ± 0,9
Glikoze	35,6 ± 0,3	7,1 ± 0,3
Kopā:	81,3	77,8

* - izteikti kā polimērvienības, attiecīgi, anhidrocukuri.

** - z.d.r. zem detektēšanas robežas

Liepājas un Pāvilostas pludmalē oktobrī savākto furcelāriju aminoskābju saturs bija līdzīgs - 12,5-15,0% (15. tabula). Nelielas izmaiņas kopējā aminoskābju saturā ir statistiski nenozīmīgas. Aminoskābju attiecības furcelārijās abās pludmalēs ir līdzīgas.

Literatūrā ir minēts dažāds proteīnu saturs furcelārijas no 13% līdz 21% no sausnes (Kersen *et al.*, 2017), kas atbilst iegūtiem rezultātiem. Jāatzīmē, ka aminoskābju un attiecīgi proteīnu saturs var mainīties atkarībā no furcelārijas augšanas vietas un apstākļiem (ūdens sālums, temperatūra, brīvi peldošās vai piestiprinātas) un literatūrā ir minēts pat 28% liels proteīnu saturs furcelārijās (Naseri *et al.*, 2019).

Proteīnu uzturvērtības raksturošanai ir svarīgs ne tikai proteīna daudzums, bet arī tā aminoskābju sastāvs. Viens no raksturlielumiem ir neaizvietojamo aminoskābju (Phe, Ile, Leu, Lys, Met, Thr, Trp, Val) attiecība pret kopējo aminoskābju daudzumu. Neaizvietojamās aminoskābes sastādīja 38% no kopējā aminoskābju daudzuma furcelārijās abās pludmalēs. Tomēr jāņem vērā, ka furcelārijas nav cilvēka uzturā lietojamās aļģes (EU Novel Food Catalogue v.1.1.; CEVA 2014) un plašāka furcelāriju proteīnu uzturvērtības analīze netika veikta.

15. tabula. Furcelāriju aminoskābju sastāvs (% , S_n)

Aminoskābes (saīsinājums)	Furcelārijas (Liepāja)	Furcelārijas (Pāvilosta)
Alanīns (Ala)	0,91 ± 0,12	0,80 ± 0,11
Arginīns (Arg)	1,15 ± 0,16	0,92 ± 0,13
Asparginiskābe (Asp)	1,76 ± 0,24	1,60 ± 0,22
Cisteīns (Cys)	0,59 ± 0,08	0,50 ± 0,07
Fenilalanīns (Phe)*	0,70 ± 0,10	0,66 ± 0,09
Glicīns (Gly)	1,04 ± 0,14	0,78 ± 0,10
Glutamīnskābe (Glu)	1,63 ± 0,22	1,43 ± 0,20
Hidroksiprolīns (Hyp)	z.d.r.**	z.d.r.
Histidīns (His)	0,25 ± 0,03	0,21 ± 0,03
Izoleicīns (Ile)*	0,67 ± 0,09	0,63 ± 0,09
Leicīns (Leu)*	1,04 ± 0,14	0,67 ± 0,13
Lizīns (Lys)*	0,98 ± 0,13	0,92 ± 0,13
Metionīns (Met)*	0,31 ± 0,04	0,27 ± 0,04
Ornitīns (Orn)	z.d.r.	z.d.r.
Prolīns (Pro)	0,95 ± 0,13	0,68 ± 0,09
Serīns (Ser)	1,01 ± 0,14	0,82 ± 0,11
Treonīns (Thr)*	0,91 ± 0,12	0,74 ± 0,10
Triptofāns (Trp)*	0,175 ± 0,017	0,149 ± 0,015
Valīns (Val)*	0,90 ± 0,12	0,75 ± 0,10
Summa	15,0 ± 2,0	12,5 ± 1,8

* - neaizvietojamās aminoskābes

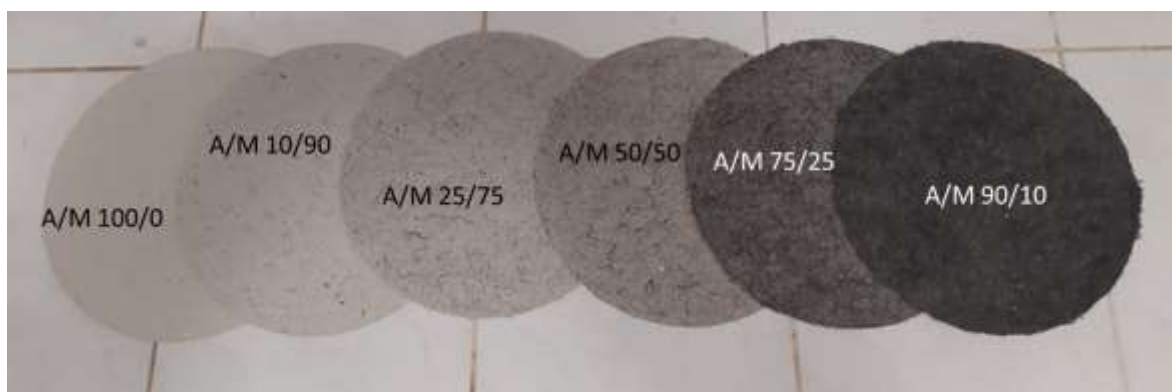
**z.d.r. – zem detektēšanas robežas. Hyp < 0,05%, Orn < 0,01

Secinājumi. Furcelāriju biomasa satur apmēram 80% ogļhidrātu, 15% proteīnu, 1% nepolāras ekstraktvielas un pelnus. Lielāko daļu ogļhidrātu acīmredzot veido furcelarāns, ko norāda liels galaktozes iznākums, veicot aļģu skābes hidrolīzi un monosaharīdu analīzi. Proteīnu aminoskābju sastāva analīze parādīja, ka furcelārijas satur ievērojamu daudzumu neaizvietojamo aminoskābju, kam ir būtiska nozīme izvērtējot proteīna uzturvērtību. Furcelārijas netiek lietotas cilvēka uzturā, tomēr to proteīnam varētu būt praktiska nozīme, piem., dzīvnieku barībā. Ekstraktvielu saturs ir salīdzinoši neliels. Mēģinājumi izdalīt fikobiliproteīnus bija neveiksmīgi. Neskatoties uz potenciāli vērtīgiem savienojumiem

furcelārijās to saturs aļģēs ir neliels un šo produktu komerciālā izdalīšana nesamazinātu izskaloto aļģu apjomu.

4. Aļģu saturošu kompozītmateriālu izgatavošana

Iegūtie makulatūras – aļģu (furcelāriju) kompozītmateriāla – kartona paraugi redzami 5. attēlā. Vizuāli novērojams, ka aļģu klātbūtne kartonā maina tā krāsu. Tā kā izžāvētas aļģes ir melnā krāsā, kartona paraugu krāsu tonis pakāpeniski mainās no pelēcīgas uz melnu, palielinoties aļģu saturam tajā. Paraugi A/M 100/0 (skat. 1. tabulu), kurš sastāv tikai no aļģēm, tika atliets, bet izžāvējot kļuva trausls un nebija atdalāms no palīglapas, tāpēc netika testēts un nav iekļauts rezultātu apkopojumā. 100% aļģu materiāls sausā stāvoklī nav apstrādājams, jo ir pārāk trausls, bet paraugs A/M 90/10, kurā aļģēm pievienots tikai 10% makulatūras šķiedru, ir pietiekami izturīgs, lai to apstrādātu, grieztu un pētītu. Aļģes kartona masā redzamas kā tumši iekļāvumi šaurāku un platāku šķiedrveida objektu izskatā. Pateicoties aļģu neregulāram izvietojumam kartonā, materiāls ir raibs un vērtējams kā dekoratīvs un var tikt izmantots produktos, kuriem svarīga dekoratīvitate, piemēram, sienu apstrādes materiālos vai citur.



5. attēls. Makulatūras – furcelāriju kartona paraugi. Paraugu nosaukumu atšifrējumu un sastāvu skatīt metodikas apraksta 1.tabulā.

Sagatavotie vienreizlietojamo šķīvju paraugi no makulatūras – aļģu kartona masas vērtējami apmierinoši to fizikāli - mehānisko īpašību ziņā. Tie ir paņemami rokā un saglabā formu. Būtu ieteicams izvēlēties lielāku materiāla svaru uz laukuma vienību (pētījumā tika sagatavoti materiāli ar svaru uz laukuma vienību 200 g/m^2), lai šķīvji būtu “stīvāki”, ne tik lokani. Izvērtējot kartona produktu smaržu, organoleptiski tika noteikts, ka aļģu klātbūtne piešķir savu raksturīgo smaržu. Šī īpašība jāņem vērā, izvēloties potenciālo kompozītmateriāla makulatūras – aļģu pielietojumu. Raksturīgo aļģu smaržu var samazināt, kartona izgatavošanai izmantojot izekstrahētās aļģes.

Iegūtie kartona paraugi tika izvērtēti, apsverot potenciālo pielietojumu, galvenokārt, iepakojumu materiālu sfērā, kas ir kartona visbiežāk sastopamais pielietojuma veids. Visi paraugi, kuros aļģu saturs mainījās no 0 līdz 90%, tika izvērtēti attiecībā uz to gaisa caurlaidību un fizikāli mehāniskajām īpašībām. Kartona paraugu īpašību skaitliskie rezultāti apkopoti 16. tabulā. Kopumā novērojams, ka aļģu piedeva kartonā būtiski maina kartona īpašības. Mainās gan gaisa caurlaidība, gan fizikāli mehāniskās īpašības sausā stāvoklī. Pētījumā izveidotā kartona A/M100/0, kas sastāv tikai no makulatūras, gaisa caurlaidība ir zema, kas liecina, ka izmantotās makulatūras sastāvā ir daudz smalknes jeb šķiedru atlūzu, kas aizpilda starpšķiedru telpu un samazina gaisa caurlaidību. Ar 25-50 % aļģu piedevu (paraugi A/M 25/75 un A/M 50/50) sasniedzama no pārstrādātām kartona šķiedrām gatavota materiāla gaisa caurlaidība (Filipova *et al.*, 2020). Palielinot aļģu saturu kartonā līdz 50%, būtiski palielinās gaisa caurlaidība un tā pieaug līdz 8820 ml/min pie aļģu satura 90% (6. attēls). Jāatzīmē, ka skaitliskā vērtība 8820 ml/min ir iekārtas mērīšanas diapazona galējā robeža, tāpēc ir liela iespējamība, ka patiesā gaisa caurlaidība ir vēl augstāka, un 90% aļģes saturošais kartons uzskatāms par īpaši porainu un gaisa caurlaidīgu materiālu. Gaisa caurlaidība uzlabojas, jo aļģes saistās ar celulozes šķiedrām tikai fizikāli, neveidojot cita veida saites, tādēļ starp celulozes šķiedrām un aļģu daļiņām veidojas brīvas vietas, poras un caurumi, kas sekmē gaisa caurplūstamību. Gaisa caurlaidība ir barjerīpašība, kas svarīga, ja, piemēram, iepakojuma materiālam, jāpasargā produkts no gaisa iedarbības vai gluži pretēji – jānodrošina pietiekama gaisa apmaiņa iepakojuma iekšienē. Tāpēc gaisa caurlaidības rezultāti vērtējami konkrēta pielietojuma ietvaros.

Aļģu un celulozes šķiedru nesasaistīšanās parādībai, kas uzlabo gaisa caurplūdi, ir trūkumi, kas izpaužas kā pazeminātas fizikāli mehāniskās īpašības, jo kartona materiālā samazinās ūdeņraža saišu daudzums, kas ir viens no galvenajiem faktoriem celulozes šķiedru materiālu stiprības nodrošināšanā. Jāatzīmē, ka 100% makulatūras kartona stiepes indekss bija 16,5 N*m/g, kas ir zemāks nekā kopumā pārstrādāta papīra materiālos (Filipova *et al.*, 2020), turklāt, pieaugot aļģu piedevas apjomam, tas samazinājās pat divkārt (A/M 90/10) (7.attēls a). Jāatzīmē, ka aļģu piedeva praktiski nemainīja kartona stiepes indeksu mitrā stāvoklī (7.attēls, b). Aļģu pievienošana samazināja kartona caurspiešanas indeksu (8.attēls) un materiāla elastību sausā stāvoklī (9.attēls, a). Mitrā stāvoklī 10% aļģu piedeva uzlaboja elastību, 25% piedeva nodrošināja makulatūrai līdzvērtīgu elastību, kas būtiski samazinājās pie aļģu piedevas apjoma 50% (9.attēls, b).

Lai salīdzinātu izveidoto kartonu ar citiem makulatūras izstrādājumiem, jāņem vērā ka makulatūras gadījumā visbiežāk nav zināma ne šķiedru izcelsme (kartons, rakstāmpapīrs,

avīzes un tml.), ne pārstrādes parametri, bet produkta stiprība un citas īpašības kopumā ir atkarīgas no šķiedru savstarpējās saistīšanās spējas, kas savukārt atkarīga no šķiedru izejmateriāla (lapkoks vai skujkoks, to suga), iegūšanas veida, virsmas īpašībām, šķiedru izmēriem un citiem parametriem, kas dažāda veida makulatūrai lielākoties ir būtiski atšķirīgi. Iepakojuma materiālu, kas veidoti no celulozes šķiedrām, izturības prasības atkarīgas no specifiskā pielietojuma. Piemēram, papīram, kas paredzēts pārtikas iepakojuma veidošanai, ziņots par stiepes izturību $8,3 \text{ N}\cdot\text{m/g}$ (Jin *et al.*, 2021), ko spēj nodrošināt jebkurš no pētījumā izveidotajiem makulatūras – aļģu kartoniem, tātad aļģu kartonu varētu izmantot kā pārtikas vai citu produktu iepakojuma materiālu. Pēdējā desmitgadē pasaulē palielinājies un it īpaši 2020.gadā strauji pieaudzis pieprasījums pēc iepakojuma materiāliem, īpaši kartona, jo tas ir dabīgs, pārstrādājams vai kompostējams materiāls. Aļģu kartonu varētu izmantot iepakojumiem, kuriem svarīga dekoratīvitate vai uzsvars uz netipisku izejmateriālu lietošanu, piemēram, eko - produktu vai dāvanu iepakojšanai.

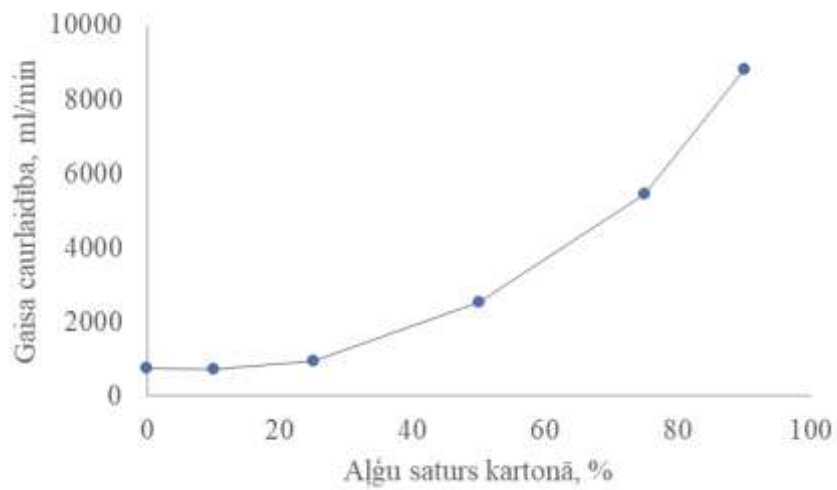
Aļģu piemērotība šķiedru produkta - papīra ražošanas vajadzībām ir pētīta Indijā, kur papīrs iegūts no 5 sugu aļģēm (Mukherjee and Keshri, 2019). Pētījumā norādīta ar rokām gatavotā aļģu papīra stiepes izturība, bet nav norādīts svars uz laukuma vienību, kas ir svarīgs, lai salīdzinātu relatīvo stiepes stiprību (stiepes indeksu), tāpēc rezultātus iespējams salīdzināt tikai aptuveni. Tā vietā var salīdzināt, piemēram, trūkšanas garumu, kas ir no šķiedru saistīšanās spējam atkarīgs parametrs, un raksturo materiāla spēju noturēt savu svaru – tā skaitliskā vērtība ir materiāla sloksnes garums km, kas nepieciešams, lai tā svars veiktu darbu, kas nepieciešams materiāla sagraušanai jeb saplēšanai. Šis parametrs tiek lietots, lai salīdzinātu savstarpēji atšķirīgus šķiedru materiālus. Indijas aļģu papīra trūkšanas garums bija 0,14 – 2,38 km un šis rezultātu izkliedes diapazons pārklāj attiecīgos rezultātus Latvijas pētījumā, kas bija 0,86 – 1,68 km atkarībā no makulatūras piedevas kompozīcijā.

Aļģes sastāv no viegli bionoārdāmiem ogļhidrātiem un proteīniem. Varam prognozēt, ka iegūtais makulatūras – aļģu kompozītmateriāls ātri sadalīsies apkārtējā vidē. Šāda veida iesaņojamais materiāls satur augu barības vielas un varētu tikt izmantots augu stādiem kā alternatīva kūdras podiņiem.

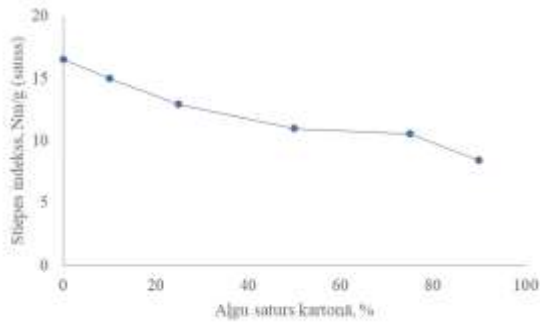
16. tabula. Makulatūras un alģu kartona gaisa caurlaidības un fizikāli mehāniskās īpašības

Alģes, %	Gaisa caurlaidība		Caurspiešanas indekss		Stiepes indekss				Stiepes enerģijas absorbcija				Trūkšanas garums				Izstiepums			
	ml/min	S _n *	kPa	S _n	sauss		mitrs		sauss		mitrs		sauss		mitrs		sauss		mitrs	
					Nm/g	S _n	Nm/g	S _n	J/m ²	S _n	J/m ²	S _n	km	S _n	km	S _n	%	S _n	%	S _n
0	762	96	0,78	0,06	16,50	1,02	0,45	0,02	26,16	5,30	1,51	0,48	1,68	0,10	0,05	0,01	1,08	0,16	0,99	0,39
10	724	64	0,70	0,03	14,99	1,94	0,47	0,07	23,52	8,67	1,86	0,73	1,34	0,37	0,05	0,01	0,97	0,34	1,33	0,55
25	935	243	0,67	0,04	12,92	1,68	0,43	0,04	14,08	2,72	1,53	0,07	1,32	0,18	0,04	0,01	0,82	0,03	1,06	0,11
50	2523	455	0,47	0,05	10,96	0,78	0,40	0,02	9,89	0,67	1,04	0,48	1,12	0,08	0,04	0,00	0,72	0,04	0,57	0,55
75	5448	770	0,40	0,04	10,51	0,61	0,44	0,00	6,70	0,60	0,90	0,00	1,07	0,06	0,05	0,00	0,59	0,05	0,26	0,00
90	8820	0	0,34	0,03	8,42	0,86	0,44	0,02	3,59	0,93	1,25	0,32	0,86	0,09	0,05	0,01	0,41	0,07	0,37	0,00

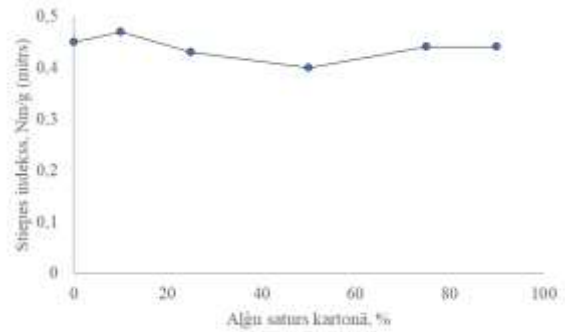
* - S_n – standartnovirze pie n mērījuma skaita



6.attēls. Kartonā gaisa caurlaidības izmaiņas atkarībā no alģu satura

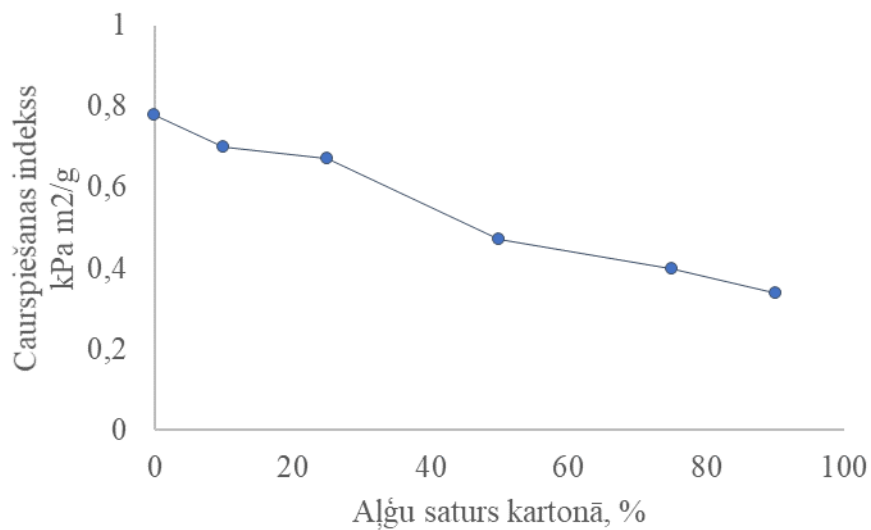


a

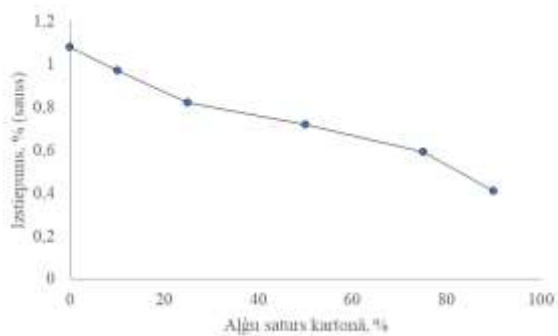


b

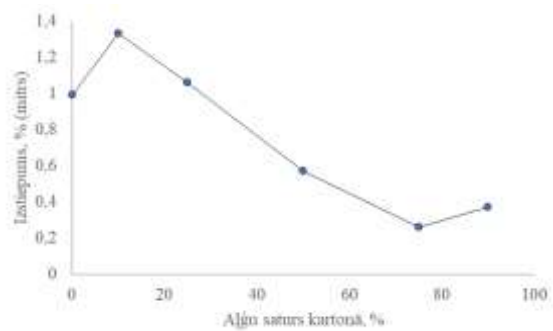
7.attēls. Kartonā stiepes indeksa izmaiņas atkarībā no alģu satura: a-sausā stāvoklī; b-mitrā stāvoklī



8. attēls. Kartona caurspiešanas indeksa izmaiņas atkarībā no aļģu satura



a



b

9. attēls. Kartona izstiepuma izmaiņas atkarībā no aļģu satura: a-sausā stāvoklī; b-mitrā stāvoklī

SECINĀJUMI

- Dominējošā izskaloto makroaļģu suga Latvijas atklātās Baltijas jūras piekrastē ir furcelārija (*Furcellaria lumbricalis*). Izskalošanās aļģes turpmākai pārstrādei ir lietderīgi vākt tikai, ja ir lieli aļģu sanesumi. Tas samazina smilšu piemaisījumus savāktajā biomasā. Sāļums savāktajās aļģēs ir neliels, tomēr aļģes var saturēt mikrobioloģisko piesārņojumu.
- Liepājas un Pāvilostas pludmalēs izskalošanās aļģes satur kaitīgos smagos metālus, metaloīdus un policikliskos aromātiskos savienojumus nelielos daudzumos, kas neietekmē to turpmākās izmantošanas iespējas.
- Izskaloto furcelāriju biomasa satur apmēram 80% ogļhidrātu, 15% proteīnu, 1% nepolāras ekstraktvielas un pelnus. Lielāko daļu ogļhidrātu veido furcelarāns. Proteīnu aminoskābju sastāva analīze parādīja, ka furcelārija satur apmēram 38% neizvietojamu aminoskābju, kam ir būtiska nozīme, izvērtējot proteīna uzturvērtību. Jāņem vērā, ka furcelārija netiek lietota cilvēka uzturā, bet to proteīniem varētu būt praktiska nozīme dzīvnieku barībā.
- Furcelārijas satur vērtīgas ekstraktvielas – bioloģiski aktīvus savienojumus, tomēr to saturs ir salīdzinoši neliels. Mēģinājumi izdalīt fikobiliproteīnus bija neveiksmīgi. Pat, ja izdotos komercializēt kādu no furcelārijas ekstraktvielām, tas nesamazinātu izskaloto aļģu apjomu ekstraktvielu nelielo iznākuma dēļ.
- Liels ogļhidrātu saturs ļauj prognozēt labu furcelāriju savietojamību ar celulozes šķiedrām. Furcelāriju pievienojot makulatūrai un, lietojot papīra gatavošanas tehnoloģiju, iespējams iegūt kartona/papīra izstrādājumus, kuriem raksturīgs pelēks līdz melns krāsas tonis un dekoratīvitate. Furcelāriju pievienošana kartona makulatūras masai 10 – 90% apjomā uzlabo tās gaisa caurlaidību. Furcelāriju pievienošana kartona masai samazina tās izturību sausā veidā, piešķir trauslumu, bet praktiski nemaina izturību mitrā veidā. Kartona elastība mitrā stāvoklī uzlabojas, pievienojot masai 10% furcelāriju masas. Furcelāriju – makulatūras kompozītmateriālu potenciāli var izmantot kā dekoratīvu iesaiņojuma materiālu vai podiņu stādu izgatavošanai.

Pateicība

Rezultātus, kas ir atspoguļoti atskaitē, ir ieguvuši Latvijas Valsts Koksnes ķīmijas institūta (LV KĶI) līdzstrādnieki *Dr.chem.* Oskars Bikovena vadībā: *Dr.sc.ing.* Inese Fiļipova, *Dr.chem.* Anrijs Verovkins, *M.Sc.* Lilija Jašina un LV KĶI inženiere, Latvijas Universitātes maģistratūras studente *B.Sc.* Džesika Butkus.

Literatūras saraksts:

Aigars, J., Bite, I., Jansons, M., *et al.* (2016) *Prioritāro vielu indikatoru izstrāde jūras stratēģijas pamatdirektīvai –smagie metāli*. Projekta (1-08/554/2014) rezultātu pārskats. Latvijas Hidroekoloģijas institūts. Rīga, 2016.

Al-Bader, T., Byrne, A., Gillbro, J., Mitarotonda, A., Metois, A., Vial, F., Rawlings, A.V., Laloef, A. (2012). *Effect of cosmetic ingredients as anticellulite agents: Synergistic action of actives with in vitro and in vivo efficacy*. Journal of Cosmetic Dermatology, 11(1), 17-26. doi: 10.1111/j.1473-2165.2011.00594.x

Almela, C., Jesús Clemente, M., Vélez, D., Montoro, R. (2006) *Total arsenic, inorganic arsenic, lead and cadmium contents in edible seaweed sold in Spain*. Food Chem. Toxicol., 44(11), 1901-1908. doi: 10.1016/j.fct.2006.06.011

Bāliņa, K., Ivanovs, K., Romagnoli, F., Blumberga, D. (2020). *Comprehensive literature review on valuable compounds and extraction technologies: The Eastern Baltic sea seaweeds*. Environmental and Climate Technologies, 24(2), 178-195. doi: 10.2478/rtuect-2020-0065

Baltijas krasti (biedrība) (2018) *Jūras aļģu sanesumu izvērtēšanas un apsaimniekošanas plāns Latvijas piekrastē*. Nodevums. Rīga, 2018. https://www.plj.lv/docs/1062/Algu_sanesumu_izvertesana_11062020_actual.pdf

Biancarosa, I., Belghit, I., Bruckner, C.G., *et al.* (2018) *Chemical characterization of 21 species of marine macroalgae common in Norwegian waters: benefits of and limitations to their potential use in food and feed*. J. Sci. Food Agric., 98(5), 2035-2042. doi: 10.1002/jsfa.8798

Bikovens, O. (2019) *Aļģu biomasas izmantošanas iespēju analīze Rīgas plānošanas reģiona piekrastē*. Pētījuma Nr.RPR/2018/5/SBR Gala ziņojums. Rīga.

Bikovens, O., Janceva, S., Vevere, L., Purina, I., Telysheva, G. (*in press*) *Co-composting of seaweed with lignocellulosic substratum: effect of the compost composition on compost humic substances*. International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology. Pieejams: <https://www.inderscience.com/info/ingeneral/forthcoming.php?jcode=ijarge>

Bird, C. J., Saunders, G. W., & McLachlan, J. (1991). *Biology of Furcellaria lumbricalis (Hudson) Lamouroux (Rhodophyta: Gigartinales), a commercial carrageenophyte*. Journal of Applied Phycology, 3(1), 61. doi:10.1007/BF00003920

Blakeney, A.B., Harris, P.J., Henry, R.J., Stone, B.A. (1983). *A simple and rapid preparation of alditol acetate for monosaccharide analysis*. Carbohydrate Research, 113(2), 291-299.

- Cheng, S. Y., Show, P.-L., Lau, B. F., Chang, J.-S., & Ling, T. C. (2019). *New Prospects for Modified Algae in Heavy Metal Adsorption*. Trends in Biotechnology, 37(11), 1255-1268. doi: 10.1016/j.tibtech.2019.04.007
- Dippner, J.W., Pohl, C. (2004) *Trends in heavy metal concentrations in the western and central Baltic Sea waters detected by using empirical orthogonal functions analysis*. J. Mar. Sys., 46 (2004), pp. 69 – 83.
- dos Santos Fogaça, F. H., Soares, C., Oliveira, M., Alves, R. N., Maulvault, A. L., Barbosa, V. L., Marques, A. (2018). *Polycyclic aromatic hydrocarbons bioaccessibility in seafood: Culinary practices effects on dietary exposure*. Environmental Research, 164, 165-172. doi: 10.1016/j.envres.2018.02.013
- EFSA (2009) *Scientific Opinion on Arsenic in Food; EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM)*. EFSA J 7:1351. doi: 10.2903/j.efsa.2009.1351
- Eiropas Komisija (2006) KOMISIJAS REGULA (EK) Nr. 1881/2006 ar ko nosaka konkrētu piesārņotāju maksimāli pieļaujamo koncentrāciju pārtikas produktos. Eir Savien Of Vēstnesis 5–24.
- Falandysz J. (1994) *Mercury concentrations in benthic animals and plants inhabiting the Gulf of Gdańsk, Baltic Sea*. Sci. Total Environ., 141, 45–49. doi: 10.1016/0048-9697(94)90016-7.
- Filipkowska A., Lubecki L., Szymczak-Zyła M., et al. (2008) *Utilisation of macroalgae from the Sopot beach (Baltic Sea)*. Oceanologia, 50, 255-273
- Filipova, I., Serra, F., Tarres, Q., Mutjé, P., Delgado-Aguilar, M. (2020) *Oxidative treatments for cellulose nanofibers production: a comparative study between TEMPO-mediated and ammonium persulfate oxidation*. Cellulose, 27, 10671-10688. doi: 10.1007/s10570-020-03089-7
- Franzén D., Infantes E., Gröndahl F. (2019) *Beach-cast as biofertiliser in the Baltic Sea region-potential limitations due to cadmium-content*. Ocean Coast Manag., 169, 20–26. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2018.11.015
- Greger M., Malm T., Kautsky L. (2007) *Heavy metal transfer from composted macroalgae to crops*. Eur. J. Agron., 26:257–265. doi: 10.1016/j.eja.2006.10.003
- Jin, K., Tang, Y., Liu, J., Wang, J., Ye, C. (2021) *Nanofibrillated cellulose as coating agent for food packaging paper*. International Journal of Biological Macromolecules, 168, 331-338. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.12.066

- Kersen, P., Paalme, T., Pajusalu, L., Martin, G. (2017) *Biotechnological applications of the red alga *Furcellaria lumbricalis* and its cultivation potential in the Baltic Sea*. *Botanica Marina*, 60(2): 207-218. doi: 10.1515/bot-2016-0062
- Kirso, U., & Irha, N. (1998). *Role of Algae in Fate of Carcinogenic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Aquatic Environment*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 41(1), 83-89. doi: 10.1006/eesa.1998.1671
- Lozanovskaja, I.N., Orlov, D.S., Sadovnikova, L.K. (1998) “Ekologija i ohrana biosfery pri himicheskom zagriznenii.” M.: Vysshaja shkola. 288. lpp. (krievu val.)
- Michalak, I. (2020) *Seaweed resources of Poland*. *Botanica Marina*, 63(1), 73-84.
- Mooney-McAuley, K.M., Edwards, M.D., Champenois, J., Gorman, E., (2016). *Best Practice Guidelines for Seaweed Cultivation and Analysis*, Public Output report of the EnAlgae project, Swansea, p. 36. June 2016.
- Morrissey J., Kraan S., & Guiry M.D. (2001) *A Guide to Commercially Important Seaweeds on the Irish Coast*. Bord Iascaigh Mhara/Irish Sea Fisheries Board, Dublin. 1–65
- Mukherjee, P., & Keshri, J.P. (2019) *A Comparative Biomass Compositional Analysis of Five Algal Species from the Paddy Fields of Burdwan District, West Bengal, India, to Determine Their Suitability for Handmade Paper Pulp Formulation*. *Waste and Biomass Valorization* 10, 327–340. doi: 10.1007/s12649-017-0053-4
- Naseri, A., Holdt, S. L., & Jacobsen, C. (2019). *Biochemical and Nutritional Composition of Industrial Red Seaweed Used in Carrageenan Production*. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28(9), 967-973. doi: 10.1080/10498850.2019.1664693
- Saluri, M., Kaldmäe, M., & Tuvikene, R. (2019). *Extraction and quantification of phycobiliproteins from the red alga *Furcellaria lumbricalis**. *Algal Research*, 37, 115-123. doi: 10.1016/j.algal.2018.11.013
- Rahikainen, M. and Yang, B. (2020) *Macroalgae as food and feed ingredients in the Baltic Sea region –regulation by the European Union*. In: *Growing Algae Sustainably in the Baltic Sea (GRASS)*. WP 3.4 Unlocking the potential of using macroalgae for food purposes. Available at <https://www.submariner-network.eu/macroalgae-as-food-and-feed-ingredients-in-the-baltic-sea-region-regulation-by-the-european-union> (apskatīts 29.12.2020)
- Saluri, M., Kaldmäe, M., Rospu, M., Sirkel, H., Paalme, T., Landreh, M., & Tuvikene, R. (2020). *Spatial variation and structural characteristics of phycobiliproteins from the red algae*

- Furcellaria lumbricalis* and *Coccotylus truncatus*. *Algal Research*, 52, 102058. doi: 10.1016/j.algal.2020.102058
- Santamaría-Romero, S., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J.J., Galvis-Spinola, A., Barois-Boullard, I. (2001) *Dynamic and relationships among microorganisms, C-organic and N-total during composting and vermicomposting*. *Agrociencia*, 35(4): 377-384.
- Shchukin V.M., Kuz'mina N.E., Erina A.A., et al., (2018) *Comparative Analysis of the Heavy Metal, Aluminum, and Arsenic Contents in Brown Algae of Various Origins*. *Pharm. Chem. J.*, 52, 627-634. doi: 10.1007/s11094-018-1872-8
- Syrpas, M., & Venskutonis, P. R. (2020). Chapter 6 - Algae for the production of bio-based products. In: C. M. Galanakis (Ed.), *Biobased Products and Industries* (pp. 203-243): Elsevier.
- Thomas, J.-B. E., Ramos, F. S., & Gröndahl, F. (2019). *Identifying Suitable Sites for Macroalgae Cultivation on the Swedish West Coast*. *Coastal Management*, 47(1), 88-106. doi: 10.1080/08920753.2019.1540906
- Walve, J., Gelting, J., Ingri, J. (2014). *Trace metals and nutrients in Baltic Sea cyanobacteria: Internal and external fractions and potential use in nitrogen fixation*. *Marine Chemistry*, 158, 27-38. doi: 10.1016/j.marchem.2013.11.002
- Weinberger, F., Paalme, T., & Wikström, S. A. (2020). *Seaweed resources of the Baltic Sea, Kattegat and German and Danish North Sea coasts*. *Botanica Marina*, 63(1), 61-72. doi: 10.1515/bot-2019-0019
- Yun, E. J., Choi, I. G., & Kim, K. H. (2015). *Red macroalgae as a sustainable resource for bio-based products*. *Trends in Biotechnology*, 33(5), 247-249. doi: 10.1016/j.tibtech.2015.02.006
- Yun, E. J., Kim, H. T., Cho, K. M., Yu, S., Kim, S., Choi, I. G., & Kim, K. H. (2016). *Pretreatment and saccharification of red macroalgae to produce fermentable sugars*. *Bioresource Technology*, 199, 311-318. doi: 10.1016/j.biortech.2015.08.001
- Zalewska T., & Danowska B. (2017) *Marine environment status assessment based on macrophytobenthic plants as bio-indicators of heavy metals pollution*. *Mar. Pollut. Bull.*, 118, 281-288. doi: 10.1016/j.marpolbul.2017.02.075

Sastādija:

Oskars Bikovens

Apstiprināja:

Datums:

31.12.2020.

Direktors Uģis Cabulis