

LATVIJAS UNIVERSITĀTE
ĶĪMIJAS FAKULTĀTE

**JŪRAS KRASTĀ IZSKALOTO ALĢU BIOMASAS ĶĪMISKĀ
SASTĀVA IZVĒRTĒJUMS KURZEMES PIEKRASTĒ**

MAGISTRA DARBS

Autors: **Džesika Butkus**

Studenta apliecības Nr.: db 19076

Darba vadītāji: Dr. chem. Vita Rudoviča, Dr. chem. Oskars Bikovens

RĪGA

2021

ANOTĀCIJA

Jūras krastā izskaloto aļģu biomasas ķīmiskā sastāva izvērtējums Kurzemes piekrastē. Butkus D., darba vadītāji Dr. chem. Rudoviča V. un Dr. chem. Bikovens O. Maģistra darbs, 53 lappuses, 23 attēli, 18 tabulas, 37 literatūras avoti, 7 pielikumi. Latviešu valodā.

Maģistra darbā ir veikta izskaloto jūras aļģu biomasas izpēte. Aļģu paraugi tika ievākti Baltijas jūras Kurzemes piekrastē Liepājas un Pāvilostas pludmalēs 2020. gadā vasaras un rudens sezonā. Izskalojās jūras aļģes tika raksturotas pēc botāniskā sastāva un noteiktā ķīmiskā elementu satura tajās. Izvērtēta jūras aļģu izmantošanas iespēja lauksaimniecībā mēslošanas nolūkos.

MAKRO-, MIKRO-, RETZEMJU ELEMENTI, JŪRAS AĻĢES, KURZEMES JŪRAS PIEKRASTE, INDUKTĪVI SAISTĪTĀS PLAZMAS MASSPEKTROMETRIJA

ABSTRACT

Evaluation of beach wrack algal biomass chemical composition in Kurzeme shore. Butkus J., Dr. chem. Rudovica V. and Dr. chem. Bikovens O. Master's thesis, 53 pages, 23 figures, 18 tables, 37 references, 7 appendices. In Latvian.

The research of leached algae biomass has been performed in the master's thesis. Algae samples were collected on the shores of the Baltic Sea in Kurzeme on the beaches of Liepaja and Pavilosta in 2020 during the summer and autumn seasons. The leached seaweed was characterized by its botanical composition and the determined content of chemical elements in it. The possibility of using algae in agriculture for fertilization purposes has been evaluated.

MACRO-, MICRO-, RARE EARTH ELEMENTS, ALGAE, KURZEME SHORE, INDUCTALLY RELATED PLASMA MASS SPECTROMETRY

SATURS

APZĪMĒJUMU SARAKSTS	5
IEVADS	6
1. LITERATŪRAS APSKATS	8
1.1. Aļģu sugu raksturojums Latvijas jūras piekrastē	8
1.2. Jūras aļģes kā potenciāls dabas resurss	10
1.3. Ķīmisko elementu saturs jūras aļģēs	12
1.4. Jūras aļģu biomasas paraugu ievākšana un sagatavošana ķīmiskām analīzēm	14
1.5. Induktīvi saistītās plazmas masspektrometrija (ICP – MS)	16
1.6. Izotopu attiecības masspektrometrija (IRMS)	17
1.7. Galveno komponentu analīzes metode	19
2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA	20
2.1. Izmantotie reaģenti, trauki, un aparātūra	20
2.2. Jūras aļģu paraugu izvēle un to sagatavošana ķīmiskai analīzei	21
2.3. Ķīmisko elementu noteikšana jūras aļģu sugu paraugos ar ICP-MS metodi	22
2.4. C un N izotopu noteikšana jūras aļģēs	23
3. REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS	24
3.1. Izskaloto jūras aļģu biomasas raksturojums	24
3.2. Izskalotu jūras aļģu botāniskais sastāvs	25
3.3. Smago metālisko elementu saturs dažādās jūras aļģu sugās	26
3.4. Retzemju elementu saturs dažādās jūras aļģu sugās	33
3.5. Makroelementu saturs dažādās jūras aļģu sugās	42
3.6. Kopējais oglekļa un slāpekļa saturs dažādās jūras aļģu sugās	47
SECINĀJUMI	49
IZMANTOTĀ LITERATŪRA	50
PATEICĪBAS	54
PIELIKUMI	55
1. pielikums. LU 79. starptautiskās zinātniskās konferences, ķīmijas sekcijas tēzes	
2. pielikums. Latvijas Valsts Koksnes ķīmijas institūta ziņojums	

3. pielikums. Reaģentu drošības apzīmējumi un apraksts
4. pielikums. Jūras aļģu biomasas paraugu ņemšanas vietas
5. pielikums. Izskaloto jūras aļģu biomasas pelnu saturs Liepājas un Pāvilostas piekrastē
6. pielikums. Ķīmisko elementu saturs dažādās jūras aļģu sugās
7. pielikums. Izotopu attiecība C un N izotopu un kopējais oglekļa un slāpekļa saturs dažādās jūras aļģu sugās

APZĪMĒJUMU SARAKSTS

EA – elementu analizators (*element analyser*)

EA-IRMS – elementu analizatora izotopu attiecības masspektrometrs

GC – gāzu hromatogrāfija (*gas chromatography*)

GC-IRMS – gāzu hromatogrāfija tandēmā ar izotopu attiecības masspektrometru

ICP-MS – Induktīvi saistītās plazmas masspektrometrija (*inductively coupled plasma mass spectrometry*)

IRMS – izotopu attiecības masspektrometrija (*isotope ratio mass spectrometry*)

LC – šķidrums hromatogrāfija (*liquid chromatography*)

LC-IRMS – šķidrums hromatogrāfija tandēmā ar izotopu attiecības masspektrometru

PCA – galveno komponentu analīze (*principal component analysis*)

IEVADS

Latvijas piekrastes kopējais garums pārsniedz 497 km. Ik gadu jūras piekrastē tiek izskalots liels apjoms jūras aļģu. Jūras aļģu pielietojums ir daudzveidīgs, tās lieto pārtikā, lauksaimniecībā, industrijā, farmācijā un kosmētikā.

Baltijas jūra ir iekškontinentālā jūra. Tā ir viena no pasaules lielākajām daļēji slēgtajām iesāļūdens ūdenstilpēm. Baltijas jūrai ir ierobežota ūdens apmaiņa ar Pasaules okeānu. Ģeogrāfiskās, okeanogrāfiskās un klimatiskās īpašības padara Baltijas jūras ekosistēmu ļoti jutīgu pret cilvēku darbības ietekmi uz jūru un tās sateces baseinu, kurā dzīvo vairāk nekā 85 miljoni cilvēku.¹ Aļģēm un citiem jūras organismiem piemīt spēja uzkrāt dažādus toksiskus savienojumus. Jūras aļģu ķīmiskais sastāvs ir atkarīgs no daudziem faktoriem, piemēram, sugas, augšanas vietas un ūdens piesārņojuma līmeņa. Lai izsvērtu optimālās izmantošanas iespējas un iespējas novērst piesārņojuma ieskalošanos atpakaļ jūrā, ir jāizvērtē izskaloto jūras aļģu ķīmiskais raksturojums un botāniskais sastāvs.

Latvijā dažu ķīmisko elementu saturs izskalotajās jūras aļģēs ir izvērtēts Rīgas līcī, šos pētījumus veikuši Latvijas Valsts koksnes ķīmijas institūta un Latvijas Hidroekoloģijas institūta pētnieki.² Manā maģistra darba pētītās Latvijas atklātās jūras krastos izskalotās aļģes un pētījumā lielāks uzsvars tiek likts uz retzemju elementu satura izvērtējumu izskalotās jūras aļģēs, jo zinātniskos rakstos aktualizēts, ka aļģes var kalpot arī kā retzemju elementu avots.

Balstoties uz datiem, ka Kurzemes piekrastē vislielākais izskaloto aļģu sanesumu apjoms (230 m³ /100 m) tiek novērots Liepājas un Pāvilostas piekrastēs,³ kuras skaitās tūristu iecienītākās pludmales Baltijas jūras atklātā daļā, šīs 2 vietas tika izvēlētas aļģu paraugu ievākšanai. Pēdējos gados tiek pievērsta uzmanība “zilai” ekonomikai. Jūras un okeānu resursu iespējas joprojām nav pilnība izmantotas. Tapāt “zilās” ekonomikas priekšrocības ir sekojošas: nav konkurences ar lauksaimniecību un pārtikas nozari, pieejami daudz atjaunojumu resursu. Tāpēc arī Latvijā tiek pievērsta uzmanība aļģu biomasas izmantošanai dažādos nolūkos. Tāpēc joprojām ir aktuāls jautājums par aļģu sanesumu izmantošanu, līdz ar to ir nepieciešams veikt jūras krastā izskaloto aļģu biomasas ķīmiskā sastāva izvērtēšanu.

Darba mērķis – izvērtēt Kurzemes piekrastes teritorijā izskaloto aļģu biomasas botānisko un ķīmisko sastāvu, izmantošanai lauksaimniecībā kā mēslojumu.

Darba uzdevumi:

- Apkopot literatūru par ķīmisko elementu saturu jūras aļģēs un to noteikšanas metodēm;

- Ievākt jūras aļģu biomasu Liepājas un Pāvilostas piekrastē vasaras un rudens sezonā viena gada ietvarā;
- Veikt paraugu šķirošanu pēc botāniskā sastāva;
- Veikt jūras aļģu paraugu sagatavošanu un mineralizāciju mikroviļņu enerģijas sistēmā;
- Kvantificēt ķīmisko elementu saturu jūras aļģu sugās ar ICP – MS analīzes metodi;
- Izvērtēt ķīmisko elementu saturu jūras aļģu sugās, atbilstoši Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumiem Nr. 506.

1. LITERATŪRAS APSKATS

1.1. Aļģu sugu raksturojums Latvijas jūras piekrastē

Latvijas piekrastes kopējais garums pārsniedz 497 km; no tiem atklātas Baltijas jūras piekraste ir 183 km gara, Irbes šauruma piekraste – 70 km un Rīgas līča piekraste apmēram ir 234 km gara. Latvijā krasta līnija ir samērā iztaisnota, tai raksturīga vāji izteiktu zemesragu un lēzenu ieloku mija, kas ir jūras akumulācijas un erozijas procesu mijiedarbības sekas.⁴

Vērts pieminēt, ka piekrastes nozīmīgākā vērtība un attīstības resurss ir ainava un jūras piekraste ir Latvijas iedzīvotājiem nozīmīga atpūtas un tūrisma vieta. Sakoptība, dažādu pasākumu organizēšana piekrastē ļauj veicināt Latvijas atpazīstamību visā pasaulē. No 33 oficiālām peldvietām Latvijas jūras piekrastē, 11 ir piešķirts Zilā karoga pludmales statuss. Kopumā Latvijas jūras piekrastē atrodas četri nacionālas nozīmes attīstības centri – Jūrmala, Rīga, Ventspils un Liepāja.⁴

Ik gadu visā Baltijas jūras piekrastē tiek izskalotas jūras aļģes, veidojoties to sanesumiem, līdz ar to tiek ietekmēta pludmales apmeklētāju plūsma noteiktās vietās: aļģes izdala nepatīkamu smaku, pārklāj piekrastes seklūdens daļas, traucējot ieiešanu jūrā, kā arī rada nepievilcīgu piekrastes ainavu u. c. Tas būtiski ietekmē tūrisma un ar to saistīto nozaru attīstību jūras piekrastē, kā arī vietējo iedzīvotāju un tūristu labsajūtu.

Ne visās vietās ir atļauts vākt jūras aļģes, jo izskaloto jūras aļģu sanesumu joslas var veidot Eiropas Savienības nozīmes biotopus. Aizsargājami biotopi ir nozīmīga dzīves vieta Latvijā reti sastopamām, īpaši aizsargājamām augu sugām, kā arī tas ir barošanās vieta daudzām ūdensputnu sugām.³

Jūras aļģēm ir liels potenciāls kā atjaunojamiem resursiem, jo tās izmanto ne tikai pārtikā un lauksaimniecībā, bet arī kosmētikā un farmācijā esošo bioloģiski aktīvo vielu dēļ.² Savāktā aļģu biomasa vasaras sezonā, Rīgas līča dienvidu daļā ir mērāma tonnās (*skatīt 1.1. un 1.2. tabulas*), līdz ar to var uzskatīt par labu bioresursu avotu.⁵ Vienā no pētījumiem⁵ tika raksturots izskaloto aļģu biomasas daudzums un aļģu sugu daudzveidība Latvijas jūras piekrastē.

Kopējā aļģu sugu biomasa Rīgas līča dienvidu daļā (neizzāvēta masa)⁵

Vieta	Laukums, km ²	Biomasa, kg·m ⁻²	Kopēja biomasa, t
Roja	0,23	1,284	295,3
Kaltene	1,65	1,820	3003,0
Upesgrīva	2,76	0,720	1987,1
Mērsrags	4,56	1,672	7624,3
Engure	14,95	1,252	18717,4
Ragaciems	0,38	1,584	598,8
Bigauciems	1,05	1,030	1081,5
Kaugurciems	4,18	1,154	4825,4
Ainaži	3,15	0,918	2891,7
Kuiviži	17,50	0,111	1942,5
Salacgrīva	19,20	1,200	22980,0
Vitrupe	3,20	0,780	2496,0
Kutkajurags	1,44	0,201	289,4
Kurmpags	7,20	1,780	12816,0
Skulte	2,10	1,070	2247,0
Saulkrasti	1,20	0,624	748,8

Šajā pašā pētījumā⁵ ievāktā biomasa tika klasificēta arī pēc aļģu sugām (skatīt 1.2. tabulu). Rīgas līcī biežāk sastopamās aļģu sugas ir – *Fucus vesiculosus*, *Furcellaria lumbricalis*, *Cladophora* spp., *Ceramium* spp., *Polysiphonia* spp. Aļģu suga *Fucus vesiculosus* dominē Rīgas līcī.

Aļģu biomasa un sugu sastāvs Rīgas līča dienvidu daļā [5]

Vieta	Aļģu sugu biomasa, t					
	<i>Fucus vesiculosus</i>	<i>Furcellaria lumbricalis</i>	<i>Cladophora sp.</i>	<i>Ceramium sp.</i>	<i>Polysiphonia sp.</i>	Citas
Roja	276,0	2,8	11,0	5,5	-	-
Kaltene	2772,0	46,2	115,5	69,3	-	-
Upesgrīva	1766,4	66,2	88,3	66,2	-	-
Mērsrags	7296,0	73,0	109,4	145,9	-	-
Engure	17940,0	149,5	299,0	299,0	14,9	15,0
Ragaciems	544,3	-	9,1	45,4	-	-
Bigauciems	1050,0	-	10,5	21,0	-	-
Kaugurciems	4012,8	200,6	301,0	301,0	10,0	-
Ainaži	2646,0	189,0	18,9	37,8	-	-
Kuiviži	1575,0	210,0	52,5	105,0	-	-
Salacgrīva	19200,0	1920,0	708,0	1152,0	-	-
Vitrupe	2304,0	-	115,2	76,8	-	-
Kutkajurags	259,2	-	25,9	4,3	-	-
Kurmpags	11520,0	1008,0	144,0	144,0	-	-
Skulte	2100,0	8,4	42,0	84,0	4,2	8,4
Saulkrasti	720,0	7,2	7,2	14,4	-	-

1.2. Jūras aļģes kā potenciāls dabas resurss

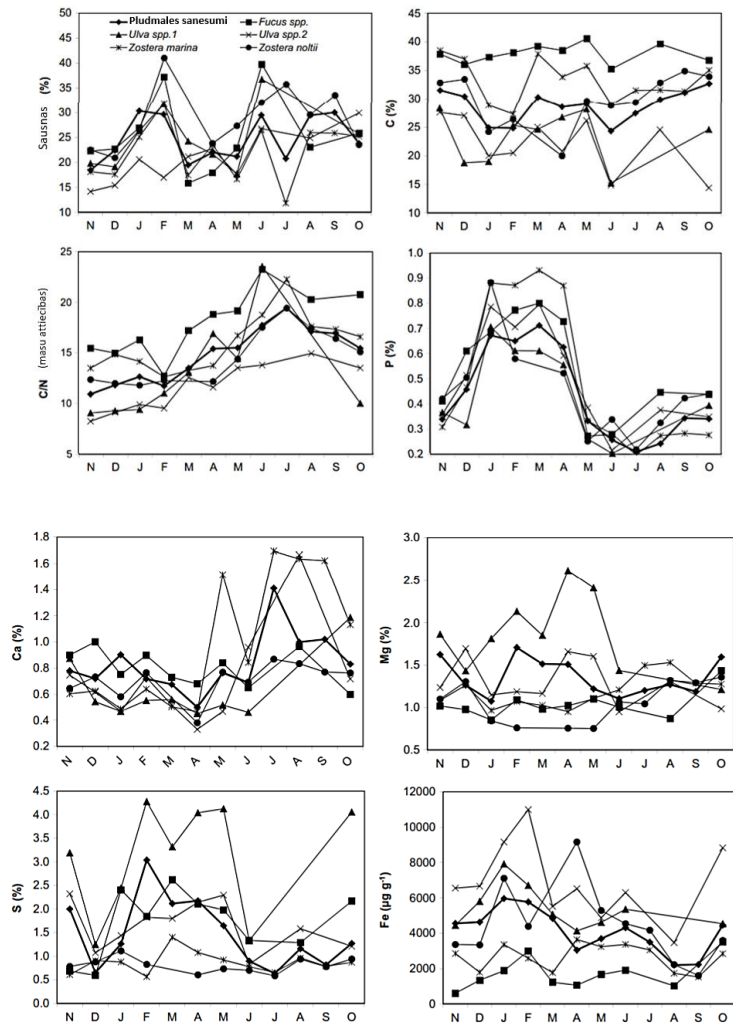
Jūras aļģes ir organisks materiāls, kuru pludmalē izskalo vēja un viļņu ietekmē, un kurš laika gaitā sadalās un nonāk atpakaļ jūrā. Jūras aļģu sanesumā ietilpst aļģes, kā arī dažādi citi gan miruši, gan dzīvi jūras organismi, ieskaitot arī jebkura lieluma sūkļus un vēžveidīgos. Starp jūras aļģu sanesumiem sastopami arī visāda veida būvgruži, plastmasa, atkritumi. Atkarībā no pludmaļu atrašanās vietas un krasta garenprofila / šķērsprofila uzbūves - atšķiras sanesumu sastāvs, piemēram, samērā slēgtās pludmalēs lielāko daļu sanesuma radīs makroaļģes. Baltijas jūrā un Rīgas līcī sastopamās makroaļģu sugas: *Cladophora glomerata*, *Enteromorpha spp.*, *Pilayella littoralis*, *Ceramium tunuicorne*, *Fucus vesiculosus*.⁶

Jūras aļģu sanesumus uzskata par būtisku piekrastes ekosistēmas sastāvdaļu. Piemēram, sadaloties organiskajam materiālam, tiek veicināta piekrastes un jūras barības ķēdes sistēmas apgāde ar nepieciešamajām barības vielām. Kā vienu no piemēriem var minēt jūras sanesumu sadalīšanos ar baktēriju starpniecību, atbrīvojas slāpekļa un fosfora savienojumi, kuri nepieciešami zemūdens pļavu augšanai. Barības vielām nonākot jūrā, tās uzņem gan planktons, gan citi mazie organismi, kurus kā tālāko barību izmanto augi un zivis. Jūras aļģes ir arī barības avots dažādu putnu sugām.⁷

Jūras aļģu sanesumu klātbūtne pludmalē veicina krasta līnijas un piekrastes kāpu aizsardzību un stabilizāciju, kalpojot par fizisku barjeru starp jūru un kāpu sistēmu. To panāk, efektīvi samazinot viļņu enerģijas daudzumu, kas sasniedz kāpas virsotni, un nodrošinot zināmu aizsardzības pakāpi krastam. Pateicoties jūras aļģu šķiedrainajam sastāvam, kuras izskalotas pludmalē, tiek veicināta piekrastes smilšu kāpu veidošanās un stabilizācija, darbojoties kā slazds, kas saista dreifējošās smiltis un samazina smilšu eroziju vasarās periodā.⁶

Sanesumi pludmalē ir potenciāli labs materiāls augstas kvalitātes organiskā mēslojuma ražošanai, jo slāpekļa, kālija (īpaši brūnajās jūras aļģēs) un mikroelementu (piemēram, bora) koncentrācija ir diezgan augsta.⁸

Izmantojot jūras aļģu sanesumu kā mēslojumu, ir jāņem vērā arī ķīmisko elementu saturs izmaiņas gada griezumā (*skatīt 1.1. att.*). Ziemas periodā, aļģēs ir mazāks dzelzs un fosfora saturs nekā vasaras mēnešos. Sēra gadījumā, tā saturs aļģēs būtiski palielinās no janvāra līdz jūnijam. Oglekļa un magnija gadījumā būtiskas saturu izmaiņas aļģēs nav novērojamas visa gada garumā.⁹



1.1. att. Dažu ķīmisko elementu saturs aļģēs gada griezumā, uz x skalas ir atlikts mēneša pirmais burts, uz y skalas ir atlikts ķīmisko elementu saturs dažādās aļģu sugās⁹

Jānovērtē arī toksisko elementu saturs biomasas materiālā, īpaši vietās, kur ir iespējama lielāka antropogēnā ietekme. Visbeidzot, ir jāapsver pludmales sanesumu izmantošanas ilgtspēja, jo tie veic arī ekoloģisko funkciju kā organismu dzīvesvieta un barības resurss atsevišķām pludmalē dzīvojošām sugām.¹⁰

Jūras aļģu izmantošana ir daudzveidīga. Savas vienkāršās ieguves un apstrādes dēļ, tās lieto lauksaimniecībā kā mēslojumu un kā pārtikas piedevas liellopu un zivju barošanai. Ja tiek izmantotas jau sarežģītākas apstrādes metodes, tad jūras aļģes lieto arī kosmētiskos līdzekļos (zobu pastās, krēmos, scrubjos). Vai arī, izmantojot fermentēšanu, uztura bagātinātāju sastāvā. Protams, aļģu pārstrādes produktus izmanto arī rūpnieciskā industrijā, kā biodegvielu, un, kā sastāvdaļu vienreizējo trauku un siltumizolācijas izgatavošanā. Aļģu pārstrādes produktus lieto arī pārtikā, piemēram, kā pārtikas piedevas (agars, karagināns, pigmentus), un, kā aminoskābju,

polisaharīdu un proteīnu avotu. Pateicoties lielam bioaktīvo vielu klāstam, aļģes tiek lietotas arī farmācijas industrijā.⁷

Lauksaimniecībā pārsvarā aļģu biomasu izmanto kompostēšanai, uzlabojot augsnes auglību. Kompostēšana gan no tehnoloģiskā, gan no ekonomiskā un vides viedokļa, viens no labākajiem veidiem, kā izmantot aļģu biomasu. Viena no kompostēšanas priekšrocībām ir vienkārša sagatavošana un uzglabāšana. Kompostam ir raksturīga arī samazināta fitotoksicitāte. Bioloģisko pārstrādi var iedalīt divos veidos – aerobo (kompostēšana) un anaerobo fermentēšanu. Aerobās kompostēšanas procesā ir svarīgi šādi faktori – skābekļa daudzums, temperatūra, sāļu saturs, oglekļa un slāpekļa (C/N) attiecība, pH, mitrums. Tomēr, kompostējot jūras aļģu biomasu, ir jāņem vērā arī ar sāļuma, smilšu un smago metālisko elementu satura klātbūtni.⁶ Anaerobo pārstrādi lielākoties izmanto biogāzes (metāna) iegūšanai. Izmantojot anaerobās fermentēšanas metodes, no aļģu biomasas var ražot biogāzi, taču salīdzinot ar citiem izejmateriāliem (piemēram, notekūdeņu dūņas vai mājsaimniecības atkritumi) sagaidāms zemāks biogāzes iznākums. Zemo metāngāzes iegūvi iespējams izskaidrot ar nepietiekamu oglekļa attiecību pret slāpekli aļģēs un sarežģītu aļģu biomasas organiskās vielas sadalīšanas procesu.⁶

1.3. Ķīmisko elementu saturs jūras aļģēs

Jūras aļģes izmanto kā mēslojumu kultūraugu izturības uzlabošanai pret biotiskiem un abiotiskiem stresoriem, kā arī tās veicina augu sakņošanos un palielina barības vielu koncentrāciju augu daļās,⁹ tāpēc ir vērts novērtēt dažu ķīmisko elementu saturu tajās. Aļģēs visaugstākais procentuālais saturs ir ogleklim (30 – 40 %), slāpekļa saturs ir līdz 1 % un vismazākais procentuālais saturs ir fosforam līdz 0,5 % no izžāvētu jūras aļģu masas.¹¹ Barības vielu saturs aļģēs variē atkarībā no sugas (*skatīt 1.3. tabulu*).

1.3. tabula

Ķīmisko elementu procentuālais saturs dažādu jūras aļģu sugās Spānijas ziemeļu piekrastē⁹

Elementu saturs, % no izžāvētas masas							
Aļģu sugas	Ķīmiskais elements						
	C	N	P	K	Ca	Mg	Na
<i>Laminaria</i> spp.	38,68	1,88	0,39	7,54	1,28	0,70	3,00
<i>Laminaria saccharina</i>	42,84	1,73	0,37	4,26	0,90	0,57	2,85
<i>Cystoseira</i> spp.	41,29	1,67	0,40	5,11	1,59	0,95	2,41
<i>Halidrys siliquosa</i>	43,26	1,27	0,45	5,67	1,24	0,78	2,25
<i>Saccorhiza polyschides</i>	31,30	1,46	0,28	11,76	1,40	0,79	4,06
<i>Fucus</i> spp.	42,96	2,32	0,42	3,99	1,52	0,76	2,86
<i>Himanthalia elongata</i>	41,65	1,88	0,53	5,58	0,83	0,49	1,98
<i>Codium</i> spp.	29,10	2,71	0,24	1,25	0,97	1,51	10,83

Aļģu ķīmiskais sastāvs ir atkarīgs no to augšanas vietas. Pētījumā “Comparison of green algae *Cladophora sp.* and *Enteromorpha sp.* as potential biomonitors of chemical elements in the Southern Baltic” tika konstatēts, ka Baltijas jūras dienvidu daļā (Ustka, Jaroslaveca, Darlovo un Volina) aļģēs ir augstāks Na un K saturs.¹² Savukārt *Cladophora sp.* un *Enteromorpha sp.* aļģēs, kas ievāktas Gdaņskas līča un Gdiņas apkārtnē tika konstatēts palielināts Cu, Pb un Zn saturs (*skatīt 1.4. tabulu*), ko varētu izskaidrot ar paaugstinātu smago metālu daļiņu emisiju no sadzīves un rūpniecības avotiem galvenokārt no kuģu būves un jūras ostu uzņēmumiem Gdaņskas un Gdiņas akvatorijās.¹² Vēl par antropogēnas iedarbības sekām var liecināt tādu ķīmisko elementu kā Cd, Cu, Ni, Pb, Zn Mn un P saturs aļģēs.

1.4. tabula

Dažu ķīmisko elementu saturs *Cladophora sp.* aļģēs Baltijas jūras Ziemeļu daļā (Ustka, Jaroslaveca, Darlovo un Volina)¹²

Ķīmisko elementu masas daļas, mg · kg ⁻¹ (izzāvētas)				
Cu	Pb	Ni	Zn	Mn
5,15	4,35	6,36	67,5	253,3
Makroelementu procentuālais saturs, % (izzāvētas)				
Ca	Mg	Na	K	
0,45	1,94	3,73	5,34	

Jūras aļģes satur arī jodu, kura masas daļa mainās robežās no 25 – 375 mg · kg⁻¹. Jūras aļģu sastāvā ietilpst arī metālorganiskie savienojumi.¹³

Pēdējos gados intensīvi tiek veikti pētījumi retzemju elementu satura noteikšanā jūras aļģēs, jo tika atklāts, ka aļģes var izmantot kā retzemju elementu avotu. Retzemju elementus no iežiem iegūt ir sarežģīti, jo atdalīšanas process ir grūts to ķīmisko īpašību dēļ, tāpēc zinātnieki pēta citas iespējas. Retzemju elementu pielietojums ir ļoti plašs, tos lieto daudzās jomās, piem., audio sistēmās, šķidro kristālu displejos, magnētiskās rezonanses attēlveidošanā, kā pulēšanas pulvera sastāvdaļu, automašīnu uzbūvē, augsnes mēslojumā, medicīnā, kā katalizatorus organiskā sintēzēs, kā stikla piedevu, metalurģijā un citās jomās.¹⁴ Līdz ar to retzemju elementu iegūšana no atjaunojamiem resursiem kļūst aizvien aktuālāka.

Visvairāk pētījumi retzemju elementu aspektā ir veikti Japānā, Francijā, Somijā, Polijā un Igaunijā, izskatot dažādus pielietojumus izskalošām aļģēm.^{9, 11, 12, 14} Šajos pētījumos atklāts, ka aļģes ir labs retzemju avots. Lauksaimniecībā izmantojot minerālmēslojumu, kurš satur retzemju elementu, var tikt veicināta augu augšana un to produktivitātes palielināšanās. Jūras aļģēs, galvenokārt, sastopami sekojoši retzemju elementi - La, Ce, Nd, Gd, un to saturs variē

robežās no 0,044 līdz 9,080 mg · kg⁻¹ izzāvētas masas (*skatīt 1.5. tabulu*). Vismazākais saturs ir noteikts Tm un Lu gadījumā (< 0,020 mg · kg⁻¹ izzāvētas masas). Pētījumos konstatēts, ka retzemju saturs aļģēs ir atkarīgs no šo elementu satura ūdenī, ūdens temperatūras, gaismas daudzuma, pH un slāpekļa pieejamības. 1.5. tabulā apkopots retzemju elementu saturs aļģēs, kuras savāktas Japānas piekrastē.¹⁵

1.5. tabula

Retzemju elementu masas daļa dažādās jūras aļģu sugās¹⁵

Retzemju elementi	Koncentrācija, mg · kg ⁻¹ (izzāvētas)		
	<i>Grateloupia filicina</i>	<i>Padina sp.</i>	<i>Codium fragile</i>
La	0,362	3,990	0,032
Ce	0,943	9,080	0,076
Pr	0,049	0,910	0,008
Nd	0,191	4,910	0,039
Sm	0,034	0,900	0,009
Eu	0,008	0,090	0,028
Gd	0,044	1,020	0,012
Tb	0,006	0,090	0,001
Dy	0,030	0,710	0,012
Ho	0,006	0,090	0,002
Er	0,015	0,350	0,008
Tm	0,002	0,020	0,001
Yb	0,008	0,290	0,007
Lu	0,001	0,020	0,001

Ir vērts arī pieminēt, kā palielināts retzemju elementu saturs aļģēs var palielināties arī antropogēnā piesārņojuma dēļ, viens no tādiem piesārņojuma avotiem ir rūpnieciskie notekūdeņi, kanalizācijas dūņas, kā arī kalnrūpniecības procesi un ar tiem saistītie izmeši atmosfērā.¹⁵

1.4. Jūras aļģu biomasas paraugu ievākšana un sagatavošana ķīmiskām analīzēm

Paraugu ņemšana. Jūras piekraste aptver sevī plašu teritoriju, un, lai kopparaugs būtu reprezentatīvs, piekraste tiek sadalīta mazākos segmentos 1 km garumā. No katras tādas teritorijas tiek paņemti 6 – 7 jūras aļģu sanesumi no 20 x 20 cm laukuma.⁶ Vēl viens veids, kā var sagatavot sanesumu reprezentatīvus paraugus, ir tāds, ka pētāmo teritoriju sadala segmentos, kuru garums ir 5 m un attālums vienam no otra ir 60 m. No katra segmenta tiek savākti 5 jūras aļģu paraugi, kuri novietoti paralēli krasta līnijai. Paraugi tiek savākti no 20 cm x 20 cm laukumā 1 m attālumā viens no otra.¹⁶ Pētījumā “Seagrass wrack dynamics in

Geographe Bay, Western Australia” tika apskatīta vēl viena paraugu ņemšanas metode, kurā paraugi tika savākti no 0,25 x 0,25 x 0,1 m laukuma (*skatīt 1.2. att., a*), augsnes paraugus vāca ar speciālu parauga ņēmēju, kurš ir paredzēts augšņu paraugu ņemšanai (*skatīt 1.2. att., b*) un pēc tam paraugi tika sijāti, lai atdalītu smiltis (*skatīt 1.2. att., c*). Visi paraugi tika nogādāti uz laboratoriju uzglabāšanai (*skatīt 1.2. att., d*).¹¹



1.2. att. Paraugu ņemšanas metodes virszemes sanesumiem un augsnēm¹¹

Paraugu ņemšanai vienmēr izvēlas svaigākos pludmales sanesumus, kuri izskaloti krastā (t.i., vistuvākā sanesumu josla līdz ūdens malai). Savāktos materiālus iesaiņo un tur sasaldētus,¹⁶ ilgākai glabāšanai sasaldē – 20 °C temperatūrā,¹⁰ savukārt, ja apstrādi veic uzreiz, tad uzglabā 4 °C temperatūrā (šādā temperatūrā ieteicams uzglabāt mazāk nekā 48 stundas). Atkausētus paraugus obligāti ir jāmazgā dejonizētā ūdenī, lai atbrīvotos no smiltis daļiņām.⁹

Paraugu sagatavošana analīzei. Jūras aļģu masa vidēji ir 500 g. Ievāktos paraugus žāvē 60 °C temperatūrā līdz pastāvīgai masai. Izzāvētu paraugu sasmalcina ahāta dzirnaviņās līdz daļiņu izmēram mazākam par 0,5 mm. Mitruma procentuālā sastāva noteikšanai ieteicams daļu parauga izzāvēt 105 °C temperatūrā, lai varētu pārrēķināt ķīmisko elementu saturu gaissausos paraugos.⁹

Literatūras avotos aprakstītas dažādas paraugu sagatavošanas metodes atkarībā no nosakāmā ķīmiskā elementa. Metālisko elementu satura noteikšanai literatūras avotā “Chemical Analysis of Seagreens Arctic Wild Wrack Seaweed” ieteiktā metodika ir sekojoša 1,0 g žāvētu sasmalcinātu aļģu paraugu mineralizē 9 mL 2 % HNO₃ un 1 mL konc. H₂O₂ šķīdumā, izmantojot mikroviļņu enerģijas krāsni (parametri - 360 W jauda, spiediens trauciņā 137,9 kPa, laiks 6 minūtes).¹³

Joda satura noteikšanai lieto atšķirīgu paraugu sagatavošanas metodi, lai izvairītos no nosakāmas vielas zudumiem. Tā kā jodu ir grūti analizēt, izmantojot ICP – OES, tiek izmantota spektrofotometriskā analīzes metode. Īslaicīgi sasaldē 2,0 g parauga un pēc tam tos sasmalcina līdz smalkam pulverim šķidrā slāpekļa vidē. Sasmalcinātos paraugus šķīdina 50 mL dejonizēta ūdens un ļauj nostāties. 4 mL virsējā slāņa šķīduma tiek paņemti un tiem pievienots 1 mL KSCN, 1 mL dejonizētā ūdens un 1 mL $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$. Pēc tam tiek pievienots 1 mL nātrija nitrāta šķīdums un absorbcija tiek nolasīta pie 450 nm viļņa garuma.¹³

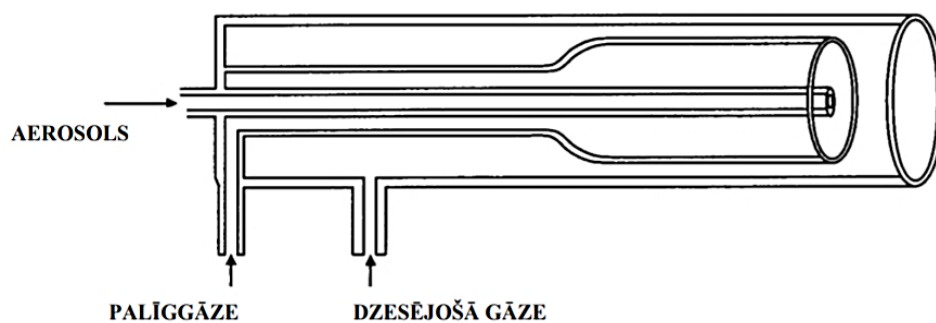
1.5. Induktīvi saistītās plazmas masspektrometrija (ICP – MS)

Pētījumos aprakstīts, ka ķīmisko elementu masas koncentrācijas aļģu paraugu šķīdumos nosaka ar ICP – MS (induktīvi saistītās plazmas masspektrometrijas) metodi.

Induktīvi saistītās plazmas masspektrometrija ir ātra un precīza analīzes metode, kura ietver sevī vienlaicīgu daudzelementu noteikšanu. Kā arī metodei raksturīgas zemas noteikšanas robežas. Šī metode ir viena no vispopulārākajām metodēm mūsdienās ķīmisko elementu masas koncentrāciju noteikšanai šķīdumos.¹⁷

Induktīvi saistītā plazma. Elektriski neitrālo gāzi ar pozitīviem joniem un elektroniem definē par plazmu.¹⁸ Plazmai piemīt liela enerģija, kas ļauj norisināties gandrīz visu elementu atomizācijai un jonizācijai. Vislabāk par plazmas avotu izmanto inertās gāzes, to augstās tīrības un jonizācijas īpašību dēļ. Kā piemēru var minēt slāpekli, hēliju un argonu. ICP-MS metodēs tiek izmantota argona plazma, lai gan hēlija izmantošanai ir vairākas priekšrocības, to izmanto retāk, jo hēlija gāzes izmaksas ir samērā lielas.

Kvarca deglis. Plazmas konfigurāciju nodrošina deglis. Tam ir jābūt veidotam no radio frekvences caurlaidīga materiāla, visbiežāk deglis tiek izgatavots no kvarca augstās temperatūras izturības dēļ.¹⁸ Plazma izveidojas trīs koncentrisku kvarca cauruļu sistēmas beigās, ko dēvē par degli. Kvarca deglis (*skatīt 1.3. att.*) atrodas pa vidu, iecentrēts vara tinuma centrā. Šajā koncentriskajā caurulē ir tangenciālā argona plūsma, kas veido plazmu. Ārējā caurulē plūst argons, kas kalpo kā dzesēšanas gāze, lai novērstu kvarca degļa kušanu. Degļa tālāko galu ieskauj vara indukcijas spole, kas ir savienota ar radiofrekvences (RF) ģeneratoru. RF ģenerators piegādā strāvu indukcijas spolei, radot augstfrekvences maiņstrāvu, kas savukārt deglī rada mainīgu elektromagnētisko lauku. Plazmas uzturēšanai izmanto palīgģāzi (argonu) ar plūsmas ātrumu 0 - 2 L·min⁻¹. Injektorā parauga aerosols tiek nogādāts argona plūsmā. Plazmas aksiālajā kanālā (gredzena iekšienē) tiek ievadīts gan analīzes paraugs, gan šķīdinātājs un matricas komponenti, un plazmas temperatūra var sasniegt 5000 – 7000 K.¹⁹



1.3. att. Tipiska ICP - MS kvarca degļa shēma¹⁶

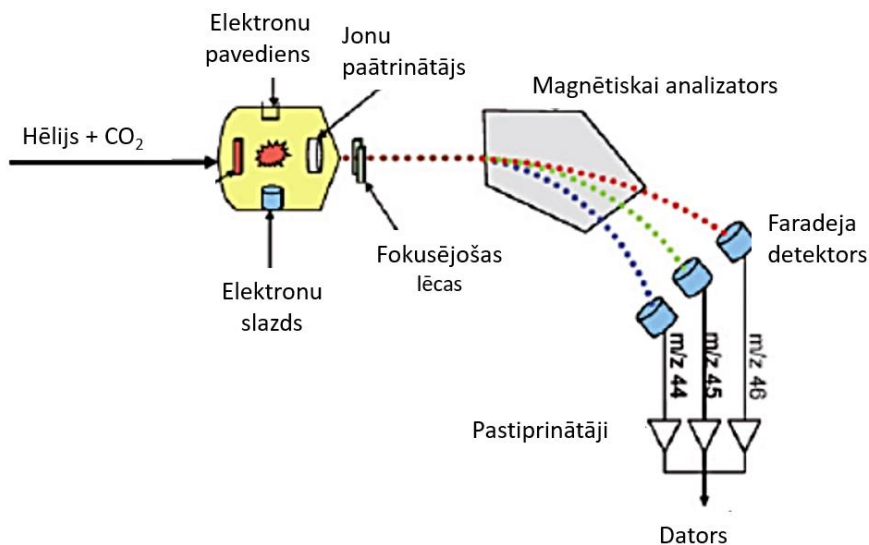
Lai analīze noritētu veiksmīgi, daļiņu izmēriem ir jābūt no 1 līdz 80 μm , pneimatiskajā smidzinātājā argona un šķīduma sadursmes rezultātā rodas smalks pilienu aerosols. Šķīdumam sasniedzot plazmas apgabalu ar visaugstāko temperatūru, notiek to atomizācija un jonizācija. Kur sauss aerosols ar noteiktu daļiņu izmēru pārveidojas molekulās, atomos un vienlādiņa jonus.^{16, 18} Caur interfeisu radītie joni tiek ievadīti masspektrometriskajā daļā. Jonu masas tiek atdalītas un noteiktas ar dinožu tipa detektoru.^{16, 20}

1.6. Izotopu attiecības masspektrometrija (IRMS)

Vieglo stabilo izotopu attiecības masspektrometrija (IRMS) ir analīzes metode, ko izmanto, lai iegūtu informāciju par vielu ģeogrāfisko, ķīmisko un bioloģisko izcelsmi. Spēja noteikt neorganiskās vielas avotu izriet no materiāla sastāvā esošo elementu relatīvā izotopu daudzuma.²¹ Doto metodi izmanto tādās jomās kā ģeoķīmijā, vides zinātnēs un pārtikas kvalitātes kontrolē.²²

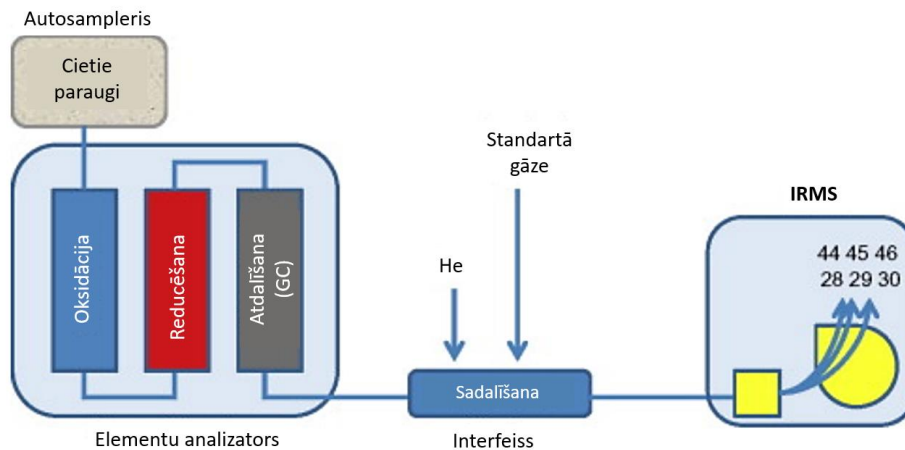
Ir piecas IRMS galvenās sadaļas: paraugu ievades sistēma, elektronu jonizācijas avots, magnētiskā sektora analizators, Faradeja kolektora detektora bloks un ar datoru kontrolēta datu analīzes sistēma (*skatīt 1.4.att.*). Paraugu ievadīšanai IRMS tiek izmantotas vairākas atšķirīgas metodes, no kurām visbiežāk izmanto elementu analizatorus (EA – IRMS) un gāzu hromatogrāfus (GC – IRMS). Retāk izmanto šķīduma hromatogrāfiju tandēmā ar izotopu attiecības masspektrometru (LC – IRMS).²¹

Izotopu attiecības masas spektrometrija



1.4. att. IRMS uzbūves shēmas²¹

Izotopu attiecības noteikšanai analizējamajai vielai jābūt vai nu gāzei, piemēram, CO_2 vai N_2 , vai arī pirms tās nonākšanas IRMS jonu avotā, to ir jāpārvērš gāzē. Izmantojot elementu analizatorus (EA), kurus iespējams savienot tieši ar IRMS (skatīt 1.5. att.).²²



1.5. att. EA – IRMS iestāšana paraugu $\delta^{13}\text{C}$ un $\delta^{15}\text{N}$ vienlaicīgai noteikšanai²²

Lai sagatavotu paraugu EA metodei, sasmalcinātu paraugu iesver alvas kapsulās un ievieto paraugu EA turētājā.

Visu paraugu, ieskaitot alvas kapsulu, sadedzina ($1020\text{ }^\circ\text{C}$) O_2 klātbūtnē. Iegūtās gāzes oksidē elementu analizatora krāsnī $1020\text{ }^\circ\text{C}$ temperatūrā, papildot to ar hroma oksīdu (Cr_2O_3) un kobalta oksīdu (Co_3O_4 / CoO). NO_x gāzes tiek reducētas līdz elementāram slāpeklim (N_2)

kvarca reaktorā, kuru parasti piepilda ar reducētu (tīru) varu (Cu), kuru uztur aptuveni 650 °C temperatūrā; varš saista lieko O₂. Lai izvairītos no ūdens tvaikiem, kas rodas sadegšanas laikā, ir nepieciešams saistīt ūdeni ar magnija perhlorātu.²¹ Ir būtiski novērst ūdens nokļūšanu MS jonu avotā. Gāzes (CO₂, N₂), kas rodas sadegšanas laikā, ar hēlija (He) nesējgāzes plūsmu tiek transportētas gāzes hromatogrāfijas (GC) kolonnā (parasti tiek lietota Poropack® pildīta kolonnā, kuras garums un iekšējais diametrs mainās atkarībā no ražotāja).²²

1.7. Galveno komponentu analīzes metode

Ķīmijā datu apstrādei plaši tiek lietotas statistiskās analīzes metodes. Viena no populārākām metodēm ir galveno komponentu analīze (PCA).²³

Šī metode ļauj apstrādāt lielu datu kopu, palielinot rezultātu interpretējamību. Metodē tiek izveidoti jauni savstarpēji nesaistīti mainīgie, kas secīgi maksimizē dispersiju.²³ Galveno komponentu analīze parasti tiek veikta, pamatojoties uz faktoru slodzēm un sākotnējo mainīgo kopīgumu ar jauniem mainīgiem. Ir zināms, ka statistiskās metodes galvenokārt ir izstrādātas vienam vērtējamam mainīgajam lielumam.²⁴ PCA analīzē tiek izvēlēti 2 vai 3 visaptveroši mainīgie, lai tie pēc iespējas vairāk atspoguļotu sākotnējo informāciju.²⁵

Grafiskā PCA interpretācija ir vienkāršākais un vienlaicīgi uzskatāmākais veids, kā liela apjoma informācijas kopu ar vairākiem mainīgiem pārveidot par divdimensionālu informatīvu grafiku.²⁵ Parasti PCA grafiski tiek attēlots, kā viena komponenta (PCA1) vērtība pret otru (PCA2). Parasti horizontālā ass tiek apzīmēta ar visnozīmīgāko komponentu, kas lielākoties ir PCA1, bet vertikālā ass tiek apzīmēta ar mazāk nozīmīgajiem komponentiem, parasti tas ir apzīmēta ar PCA2. Ir iespējami gadījumi, kad datu interpretācijā var izmantot mainīgos ar trīs komponentiem.²⁶

Lai savstarpēji salīdzinātu datus ar dažādiem mainīgiem lielumiem, izmantojot PCA analīzi, ir nepieciešama datu normalizācija. Mainīgo vērtības tiek reizinātas ar koeficientu līdz tiek pielīdzinātas komponenta vērtībai. Tas tiek veikts, lai varētu savstarpēji salīdzinātu mainīgos ar atšķirīgām mērvienībām, skalām vai vērtībām.²⁷

Daudz faktoru komponentu analīzē var noteikt ne tikai mainīgo dažādību, vai atšķirību no standarta, bet arī var noteikt dažādu datu grupas ar līdzīgām īpašībām vai rezultātu izmaiņām laikā posmā.²⁸ Tāpēc šī statistiskā analīzes metode ir tik populāra.

2. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

2.1. Izmantotie reaģenti, trauki, un aparatūra

Izmantotā aparatūra un piederumi:

- mikropipete “Finnpipette Thermo scientific”, 50 – 500 μL ; $d = \pm 0,5 \mu\text{L}$;
- laboratorijas svāri “Kern PFB 2000-2”; $d = \pm 0,01 \text{ g}$; max 2000 g; Ser. No: WF107638;
- induktīvi saistītās plazmas masspektrometrs “Agilent 8900 Triple Quadrupole ICP - MS”;
- analītiskie svāri “Mettler Toledo ME204”; $d = \pm 0,0001 \text{ g}$; max 220 g; Ser. No: B535366640;
- mineralizācijas sistēma “Milestone Start E” izmantojot mikroviļņu enerģiju; Ser No: 128593;
- mitruma noteicējs “Kern DBS 60-3”; $d = \pm 0,001 \text{ g}$; Ser. No: WB15AH0109;
- analītiskie svāri “Precisa 290-9243/S”; $d = \pm 0,0001 \text{ g}$; max 220 g; Ser. No: 98406;
- mufelkrāsns “Carbolite ELF 11/6B”; max 1100 °C; Ser. No: 20-400760;
- analītiskie svāri “Kern ABP 200-5DM”; $d = \pm 0,01 \text{ mg}$; max 220 g; Ser. No: WB19AY0093;
- liofilizācijas iekārta “Heto PowerDry PL3000”;
- datorprogramma “CAT”, versija 4.3;
- nepārtrauktās plūsmas izotopu attiecību masspektrometrs “Nu-HORIZON”;
- elementu analizators “EuroVector EA-3000”.

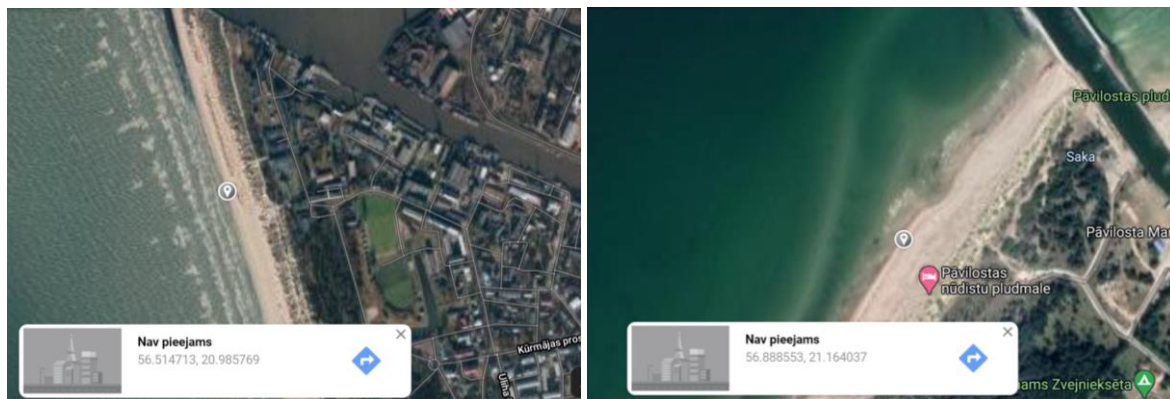
Izmantotie reaģenti:

- 68 % slāpekļskābe, Fisher Chemical – TraceMetal Grade;
- daudzelementu standartšķīdums (Ag, Al, As, B, Be, Ba, Cd, Ce, Co, Cr, Cs, Cu, Dy, Er, Eu, Fe, Ga, Gd, Ho, K, La, Lu, Mr, Mn, Na, Nd, Ni, P, Pb, Pr, Rb, S, Se, Sm, Sr, Tr, Tl, Tm, U, V, Yd, Zn) ar koncentrāciju 10 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$, Sigma – Aldrich;
- L – glutamīnskābe (USGS40), $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}} 4.52 \pm 0.06 \text{ ‰}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB-LSVEC}} -26.39 \pm 0.04 \text{ ‰}$, $w\text{N} = 9.52\%$, $w\text{C} = 40.8\%$ un L – glutamīnskābe (USGS41), $\delta^{15}\text{N}_{\text{AIR}} 47.57 \pm 0.11 \text{ ‰}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB-LSVEC}} -37.63 \pm 0.05 \text{ ‰}$, $w\text{N} = 9.52$, $w\text{C} = 40.8\%$;
- 99,999 % argons, AGA;

- 99,994 % hēlijs, AGA;
- Reaģentu drošības apzīmējumi un apraksts ir skatāmi 3. pielikumā.

2.2. Jūras aļģu paraugu izvēle un to sagatavošana ķīmiskai analīzei

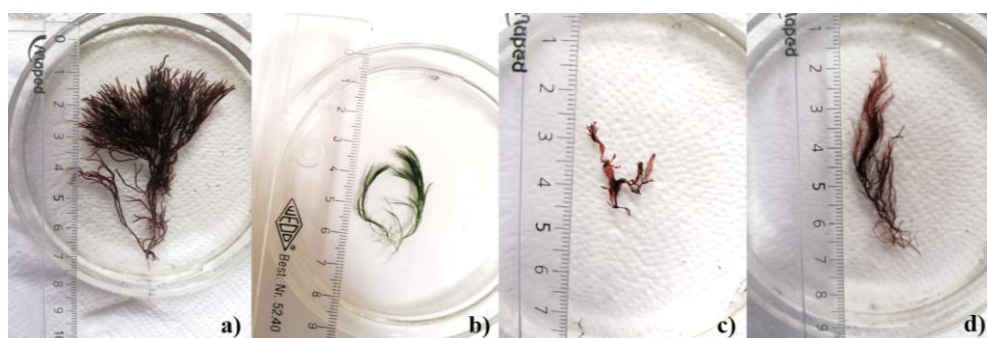
Jūras aļģu paraugu ņemšanas vietas. Jūras aļģu paraugi tika ievākti 4. augustā un 16.oktobrī 2020. gadā Liepājas un Pāvilostas piekrastēs (paraugu ņemšanas koordinātes norādītas 2.1. att.).



2.1. att. Ar pelēko apli apzīmētas jūras aļģu paraugu ņemšanas vietas Liepājas (kreisajā pusē attēls) un Pāvilostas pludmales (labajā pusē attēls)

Katrā atzīmētā vietā tika ņemti svaigi izskaloti jūras aļģu sanesumi 20 x 20 cm laukuma teritorijā, paraugu skaits vienā ņemšanas vietā (piem. Liepājas piekrastē) bija 3. Paraugu ņemšanas koordinātes skatīt 4. pielikumā. Kopējā analizējamā parauga masa no vienas piekrastes bija aptuveni 3,0 kg.

Paraugu glabāšana un sagatavošana ķīmiskai analīzei. Jūras aļģu sanesumi pēc savākšanas tika uzglabāti ledusskapī – 20 °C temperatūrā. Atkausētie paraugi tika izmazgāti ar dejonizētu ūdeni un sašķiroti pa sugām. Sašķirotām aļģēm tika noteiktas sugas pēc to anatomiskām pazīmēm (skatīt 2.2 att.). Mitruma daudzums tika noteikts gravimetriski žāvējot 105 °C temperatūrā, izmantojot mitruma noteicēja iekārtu. Paraugi tika liofilizēti 12 stundas un pēc tam homogenizēti.



2.2. att. Jūras aļģu sugu vizuālais izskats (a – *Furcellaria lumbricallis*, b - *Cladophora rupestris*, c – *Coccotylus truncata*, d – viengadīgās sārtaļģes)

Mineralizācija mikroviļņu enerģijas tehnikā. Homogenizētie, liofilizētie jūras aļģu paraugi tika svērti uz analītiskajiem svariem, katra parauga iesvara masa bija mazāka par 0,1000 g. Visi paraugi tika kvantitatīvi pārnesti teflona trauciņos un tika pielieti 8 mL koncentrētas HNO₃. Trauki tika ievietoti mikroviļņu enerģijas iekārtā un sildīti 10 minūtes līdz 160 °C temperatūrai, izturēti 20 minūtes 160 °C temperatūrā un atdzesēti līdz laboratorijas temperatūrai. Mineralizācijā iegūtie šķīdumi tika kvantitatīvi pārnesti stobriņos un atšķaidīti ar dejonizētu ūdeni līdz 25 mL.

Pelnu saturs noteikšana. Kvarca tīģeļos nosvēra 105 °C temperatūrā izžāvētu un homogenizētu jūras aļģu biomasu 0,36 (± 0,0001) g. Paraugus karsēja uz plītiņas līdz dūmi beidza izdalīties. Tīģeļus ar paraugiem ievietoja mufelkrāsnī. Mufelkrāsnī temperatūru pakāpeniski palielināja līdz 575 °C temperatūrai un izturēja 3 stundas. Atdzesētos tīģeļus nosvēra un izrēķināja pelnu saturu (*skatīt 5. pielikumu*).

2.3. Ķīmisko elementu noteikšana jūras aļģu sugu paraugos ar ICP-MS metodi

Makro, mikro- un retzemju elementu masas koncentrācija tika noteikta mineralizētos aļģu šķīdumos ar ICP – MS metodi. Mērījumi tika veikti duālā kvadrupola režīmā (MS/MS), He plūsmas ātrums 5 mL·min⁻¹ un radio frekvences jauda 1550 W.

Kalibrēšanas grafiks metālisko elementu noteikšanai. Lai konstruētu kalibrēšanas grafiku, tika sagatavota standartšķīdumu sērija ar dažādām masas koncentrācijām (*skatīt 2.1. tabulu*), iemērot daudzelementu standartšķīduma $\gamma = 10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ noteiktus tilpumus. Visi šķīdumi tika atšķaidīti ar dejonizētu ūdeni līdz 40 mL.

Daudz elementu standartšķīduma ($\gamma = 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) tilpumi un kalibrēšanas šķīdumu masas koncentrācijas

N.p.k.	V, μL	γ , $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$
1.	2	0,5
2.	20	5
3.	60	15
4.	200	50
5.	400	100

Pēc kalibrēšanas grafika uzņemšanas tika veikta mineralizēto aļģu paraugu šķīdumu analīze. Pēc katra parauga iekārta tika skalota ar dejonizētu ūdeni, lai mazinātu risku piesārņot analizējamo paraugu. Visiem kalibrēšanas grafikiem korelācijas koeficients bija $R^2 > 0,994$.

2.4. C un N izotopu noteikšana jūras aļģēs

Izotopu noteikšanai, liofilizētie aļģu paraugi tika sasmalcināti smalkā pulverī, izmantojot piestu. Uz analītiskiem svāriem alvas kapsulās tika sasvērti paraugi (svars bija ap 4 – 4,5 mg). C un N kopējas saturs, kā arī $\delta^{13}\text{C}$ un $\delta^{15}\text{N}$ vērtības jūras aļģēs tika noteiktas ar elementu analizatoru EA3000 (EuroVector), kas savienots ar nepārtrauktas plūsmas izotopu attiecības masas spektrometru Nu-horizon (Nu instruments). Glutamīnskābe tika izmantota kā iekšējais standarts, lai pārbaudītu stabilās izotopu attiecības noteikšanas reproducējamību.

Kalibrēšanas grafiks C un N izotopu noteikšanai. Lai konstruētu kalibrēšanas grafiku, tika gatavoti glutamīnskābes paraugi ar masām: ~ 0,3 mg, ~ 0,5 mg, ~ 1,0 mg un ~ 1,5 mg. Kuri tika analizēti vienlaikus ar analizējamiem paraugiem.

3. REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS

3.1. Izskaloto jūras aļģu biomasas raksturojums

Pelnu saturs noteikšana ir svarīga, lai izvērtētu jūras aļģu tālāku izmantošanu gan ražošanas sfērā, gan lauksaimniecībā. Pelnu jeb minerālvielu saturs saussnē raksturo aļģu biomasas kvalitāti.¹

Paraugu ņemšanas brīdī tika novērtēts izskaloto sanesumu daudzums piekrastē, lai noteiktu sakarību starp pelnu saturu un sanesumu apjomiem. Aļģu sanesumi augustā gan Liepājas, gan Pāvilostas pludmalē tika novēroti nelielos daudzumos (*skatīt 3.1.att.*).



3.1. att. Aļģu sanesumi piekrastē augustā (a) un oktobrī (b)

Apskatot 3.1. tabulu, un, izvērtējot jūras aļģu biomasas pelnu saturu 2 dažādos mēnešos, redzams, ka pelnu saturs 1,5 reizes lielāks pie nelieliem izskalojamiem jūras aļģu sanesumiem, tas ir augusta mēnesī, to varētu skaidrot ar lielāku smilšu daudzumu savāktajā aļģu biomasā. Otrs cēlonis varētu būt arī laikapstākļi (rudenī aļģu biomasā bija sausāka, pateicoties sausam un saulainam laikam).

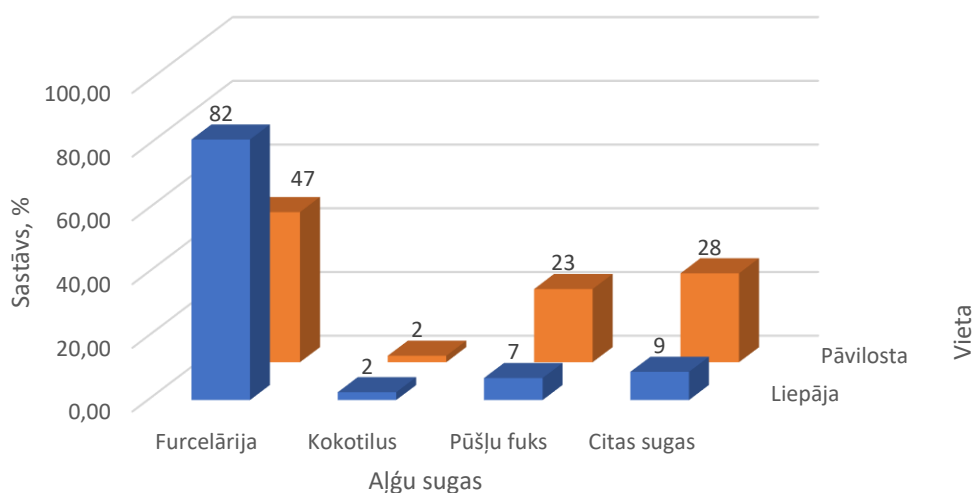
3.1. tabula

Izskaloto jūras aļģu biomasas pelnu saturs Liepājas un Pāvilostas piekrastē

Vieta, laiks	Pelnu saturs, % ± DI
Liepāja, augusts	64,5 ± 0,9
Pāvilosta, augusts	93,0 ± 0,5
Liepāja, oktobris	45,9 ± 0,5
Pāvilosta, oktobris	62,5 ± 0,5

3.2. Izskalotu jūras aļģu botāniskais sastāvs

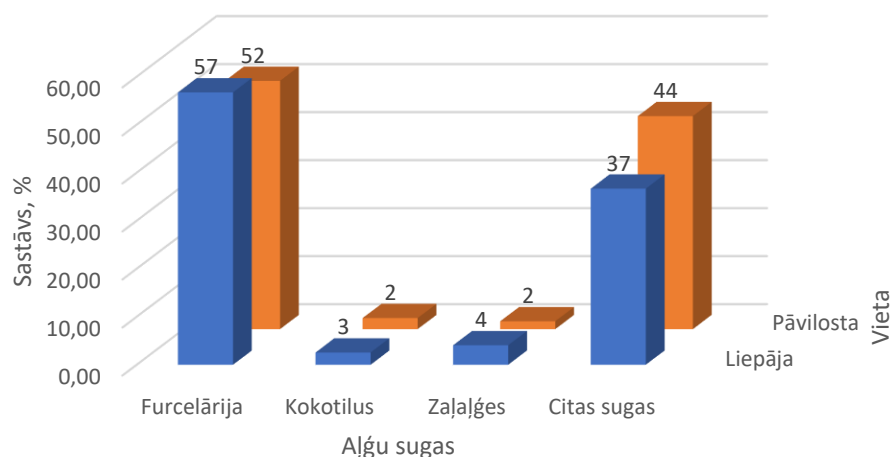
Izskatotās jūras aļģes tika sašķirotas pēc sugām (skatīt 3.2. un 3.3. att.): daudzgadīgās sārtaļģes – furcelārijas (*Furcellaria lumbricalis*) un kokotilus (*Coccotylus truncata*), brūnaļģes – pūšļu fuks (*Fucus vesiculosus*), citas aļģes – galvenokārt viengadīgās brūnaļģes un sārtaļģes, kā arī zaļāļģes (*Cladophora rupestris*).



3.2. att. Jūras aļģu sugu procentuālais sastāvs Liepājas un Pāvilostas piekrastēs augustā

3.2. attēlā savstarpēji salīdzināts aļģu sugu sastāvs divās Kurzemes piekrastes pludmalēs augustā. Vislielākais izskaloto jūras aļģu sugu īpatsvars ir furcelārijām, mazāks īpatsvars ir viengadīgām brūnaļģēm un sārtaļģēm. Vismazākais procentuālais saturs abās piekrastēs augustā ir kokotilusam, apmēram 2 %. Pāvilostas piekrastē izskatītā pūšļa fuka procentuālais daudzums ir 3,3 reizes lielāks nekā Liepājas piekrastē.

Oktoobra vidū izskaloto jūras aļģu botāniskais sastāvs bija nedaudz atšķirīgāks. Netika novērots pūšļa fuks, bet mazos daudzumos tika konstatētas zaļāļģes, to sastāvs mainās no 1 līdz 4 %.



3.3. att. Jūras aļģu sugu procentuālais sastāvs Liepājas un Pāvilostas piekrastēs oktobrī

Gan augustā, gan oktobrī lielākā daļa no izskalojamajām aļģēm ir sārtaļģes, it īpaši furcelārija un viengadīgās brūnaļģes un sārtaļģes.

Apskatot iegūtus rezultātus, izriet, ka neatkarīgi no parauga ievākšanas laika Kurzemes piekrastē izskaloto jūras aļģu biomasā dominē makroaļģe – furcelārija (*Furcellaria lumbricalis*). 2018. gada⁶ pētījumā Baltijas jūras atklātās daļas piekrastē – Liepājā, Pāvilostā un Jūrkalnē – izskalojamajā jūras aļģu biomasā dominēja sārtaļģes. Mana pētījumā pūšļu fuks tika novērots tikai vasaras laikā un rudenī ir zaļalģes, tātad atšķirības botāniskā sastāvā var raksturot no ievākšanas laika.

3.3. Smago metālisko elementu saturs dažādās jūras aļģu sugās

Noteiktās koncentrācijās smagie metāliskie elementi jūras aļģēs var būtiski ierobežot to izmantošanas iespējas, kā arī negatīvi ietekmēt dzīvos organismus, kuriem aļģes ir barības vielas avots. Tāpat metālisko elementu palielināts saturs aļģēs var norādīt uz iespējamo antropogēno piesārņojumu. Viens no šī pētījuma uzdevumiem bija novērtēt dažu smago metālisko elementu masas daļu jūras aļģēs Liepājas un Pāvilostas piekrastē.

Tā kā jūras aļģes var tikt izmantotas kā minerāl mēslojums lauksaimniecībā, iegūtie rezultāti tika salīdzināti arī ar LR MK noteikumiem Nr. 506 “Mēslošanas līdzekļu un substrātu identifikācijas, kvalitātes atbilstības novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi”²⁹ (skatīt 3.2. tabulu).

Hg un Pb saturs ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) aļģēs Liepājas un Pāvilostas piekrastē

Elements	Vieta, laiks	Suga	$w_{\text{vid}} \pm \text{Sn}, \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$	Maksimāli pieļaujamās koncentrācijas, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Hg	Liepāja, augusts	Pūšļu fuks	$0,0052 \pm 0,0007$	2,0
		Furcelārija	$0,0068 \pm 0,0011$	
		Kokotilus	$0,022 \pm 0,002$	
		Citas sugas	$0,0151 \pm 0,0004$	
	Liepāja, oktobris	Zaļalģes	$0,049 \pm 0,002$	
		Furcelārija	$0,28 \pm 0,02$	
		Kokotilus	$0,413 \pm 0,003$	
		Citas aļģu sugas	$0,778 \pm 0,008$	
	Pāvilosta, augusts	Pūšļu fuks	$0,0075 \pm 0,0012$	
		Furcelārija	$0,0079 \pm 0,0009$	
		Kokotilus	$0,0121 \pm 0,0005$	
		Citas sugas	$0,01487 \pm 0,00008$	
	Pāvilosta, oktobris	Zaļalģes	$0,043 \pm 0,003$	
		Furcelārija	$0,285 \pm 0,002$	
		Kokotilus	$0,412 \pm 0,003$	
		Citas aļģu sugas	$0,708 \pm 0,007$	
Pb	Liepāja, augusts	Pūšļu fuks	ZDR	150,0
		Furcelārija	$0,35 \pm 0,02$	
		Kokotilus	$1,11 \pm 0,03$	
		Citas sugas	$2,5 \pm 0,2$	
	Liepāja, oktobris	Zaļalģes	$3,06 \pm 0,06$	
		Furcelārija	$0,454 \pm 0,006$	
		Kokotilus	$0,894 \pm 0,002$	
		Citas aļģu sugas	$3,22 \pm 0,06$	
	Pāvilosta, augusts	Pūšļu fuks	ZDR	
		Furcelārija	$0,615 \pm 0,014$	
		Kokotilus	$0,8 \pm 0,02$	
		Citas sugas	$3,18 \pm 0,04$	
	Pāvilosta, oktobris	Zaļalģes	$2,48 \pm 0,09$	
		Furcelārija	$1,02 \pm 0,02$	
		Kokotilus	$0,845 \pm 0,004$	
		Citas aļģu sugas	$3,09 \pm 0,03$	

* - ZDR – zem detektēšanas robežās

Dzīvsudraba saturs jūras aļģēs. Vislielākais Hg saturs ir viengadīgajās brūnaļģēs un sārtāļģēs (“citās sugās”) $0,708 - 0,778 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Jūras aļģēs, savāktās vasarās periodā, Hg saturs nepārsniedz LR MK noteikumos norādītās maksimāli pieļaujamas vērtības. Iegūtās vērtības ir aptuveni 2,5 reizes mazākas par maksimāli pieļaujamo saturu organiskiem un organominerāliem mēslošanas līdzekļiem (*skatīt 3.2. tabulu*). Vislielākais dzīvsudraba saturs tika noteikts Liepājas piekrastē savāktās kokotilus sugas aļģēs ($0,022 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), savukārt vismazākais – pūšļu fukā ($0,0052 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), to varētu izskaidrot ar uzkrāšanās spēju atšķirību dažādām sugām. Bet, zinot to, ka kopējā biomasā kokotilus ir tikai ap 3 %, tas nevarētu ietekmēt minerālmēslojuma kvalitāti šī elementa aspektā.

Rudens periodā vislielākā masas daļa tika noteikta viengadīgās aļģēs Liepājas piekrastē - $0,778 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Iegūtā vērtība ir 52 reizes lielāka salīdzinot ar vasaras periodā ievāktām viengadīgām aļģēm un 35 reizes lielāka nekā Hg saturs kokotilusā. Līdzīgā situācija ir novērotā arī viengadīgām aļģēm Pāvilostas piekrastē rudenī. Dzīvsudraba koncentrācijas palielināšanos varētu izskaidrot ar to, ka jūras aļģes rudens periodā tiek izskalotas galvenokārt stipru vētru dēļ no dziļākiem ūdens slāņiem, kur smago elementu koncentrācija ir lielāka. Tomēr iegūtie rezultāti nepārsniedz MK noteikumus un visu aļģu biomasu var lietot augsnes mēslošanas vajadzībām.

Zviedrijā 2007. gadā veiktajā pētījumā, Hg saturs Zviedrijas piekrastes izskalotajās aļģēs kopējā paraugā³⁰ bija robežās no $0,0208$ līdz $0,0506 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Iegūtās vērtības ir trīs reizes lielākas nekā manā pētījumā noteiktās vasaras periodā ievāktos paraugos un 15 reizes mazākas nekā rudens periodā ievāktos paraugos.

Svina saturs jūras aļģēs. Vislielākais Pb saturs ir citās sugās $2,5 - 3,22 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, kas ir aptuveni 45 reizes mazāks, nekā definēts LR MK noteikumos Nr. 506. Sezonālas variācijas Pb satura aspektā netika novērotas.

Zviedrijas pētījumā iegūtajos datos,³⁰ svina saturs aļģēs bija robežās no $2,25$ līdz $6,3 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, manā pētījumā aļģu biomasā variēja no $0,35$ līdz $3,18 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, kas ir gandrīz 2 reizes mazāk.

3.3. tabulā apkopots Cd saturs jūras aļģēs, kā arī rezultāti salīdzināti ar LR MK noteikumiem Nr.506 “Mēslošanas līdzekļu un substrātu identifikācijas, kvalitātes atbilstības novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi”.

Cd saturs ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) aļģēs Liepājas un Pāvilostas piekrastē

Elements	Vieta, laiks	Suga	$w_{\text{vid}} \pm \text{Sn}, \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Maksimāli pieļaujamas koncentrācijas, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
Cd	Liepāja, augusts	Pūšļu fuks	$0,059 \pm 0,003$	3,0
		Furcelārija	ZDR	
		Kokotilus	$0,2650 \pm 0,0015$	
		Citas sugas	$0,67 \pm 0,02$	
	Liepāja, oktobris	Zaļalģes	ZDR	
		Furcelārija	$0,236 \pm 0,002$	
		Kokotilus	$0,367 \pm 0,002$	
		Citas aļģu sugas	$0,764 \pm 0,003$	
	Pāvilosta, augusts	Pūšļu fuks	$0,067 \pm 0,006$	
		Furcelārija	ZDR	
		Kokotilus	ZDR	
		Citas sugas	ZDR	
	Pāvilosta, oktobris	Zaļalģes	$0,374 \pm 0,009$	
		Furcelārija	$0,378 \pm 0,011$	
		Kokotilus	$1,723 \pm 0,002$	
		Citas aļģu sugas	$1,694 \pm 0,008$	

* - ZDR – zem detektēšanas robežās

Kadmija masas daļa jūras aļģēs. Cd saturs aļģēs variē robežās no 0,059 līdz $1,723 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (skatīt 3.3. tabulu), piecos paraugos kadmija saturs ir zem analīzes metodes detektēšanas robežas. Vislielākā noteiktā kadmija masas daļa paraugos ir ($1,723 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), kas ir ~ 1,7 reizes mazāka par LR MK noteikumos noteikto pieļaujamo koncentrāciju attiecībā uz mēslojuma līdzekļiem.

Abās piekrastēs rudenī ievāktajos paraugos ir aptuveni 2 reizes lielāks kadmija saturs nekā vasarā izskalotajās jūras aļģēs, to varētu izskaidrot ar sezonālām izmaiņām, kuru dēļ jūras aļģes rudenī tiek izskalotas no dziļākiem ūdens slāņiem.

Zviedrijas pētījumā noteiktais Cd saturs variēja robežās no 0,525 līdz $1,71 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.³⁰ Salīdzinot rezultātus savā starpā, var secināt, ka gan manā, gan Zviedrijas pētījumā iegūtās Cd masas daļās vērtības aļģēs ir līdzīgas.

3.4. tabulā apkopots As un Ni saturs jūras aļģēs kā arī rezultāti salīdzināti ar LR MK noteikumiem Nr. 506.

As un Ni saturs ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) aļģēs Liepājas un Pāvilostas piekrastē

Elements	Vieta, laiks	Suga	$w_{\text{vid}} \pm \text{Sn}, \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	Maksimāli pieļaujamās koncentrācijas, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$
As	Liepāja, augusts	Pūšļu fuks	$14,129 \pm 0,003$	50,0
		Furcelārija	$2,18 \pm 0,08$	
		Kokotilus	$1,51 \pm 0,03$	
		Citas sugas	$2,31 \pm 0,07$	
	Liepāja, oktobris	Zaļalģes	$2,40 \pm 0,04$	
		Furcelārija	$4,376 \pm 0,012$	
		Kokotilus	$3,90 \pm 0,02$	
		Citas aļģu sugas	$2,387 \pm 0,011$	
	Pāvilosta, augusts	Pūšļu fuks	$6,46 \pm 0,11$	
		Furcelārija	$1,89 \pm 0,02$	
		Kokotilus	$2,37 \pm 0,05$	
		Citas sugas	$1,67 \pm 0,04$	
	Pāvilosta, oktobris	Zaļalģes	$4,61 \pm 0,07$	
		Furcelārija	$4,60 \pm 0,04$	
		Kokotilus	$0,329 \pm 0,006$	
		Citas aļģu sugas	$0,883 \pm 0,004$	
Ni	Liepāja, augusts	Pūšļu fuks	$5,04 \pm 0,12$	100,0
		Furcelārija	$3,8 \pm 0,2$	
		Kokotilus	$9,3 \pm 0,2$	
		Citas sugas	$6,2 \pm 0,2$	
	Liepāja, oktobris	Zaļalģes	$3,618 \pm 0,010$	
		Furcelārija	$5,06 \pm 0,07$	
		Kokotilus	$10,25 \pm 0,04$	
		Citas aļģu sugas	$6,23 \pm 0,05$	
	Pāvilosta, augusts	Pūšļu fuks	$4,5 \pm 0,2$	
		Furcelārija	$5,4 \pm 0,2$	
		Kokotilus	$10,5 \pm 0,2$	
		Citas sugas	$5,05 \pm 0,08$	
	Pāvilosta, oktobris	Zaļalģes	$5,98 \pm 0,05$	
		Furcelārija	$7,40 \pm 0,04$	
		Kokotilus	$11,52 \pm 0,09$	
		Citas aļģu sugas	$8,28 \pm 0,05$	

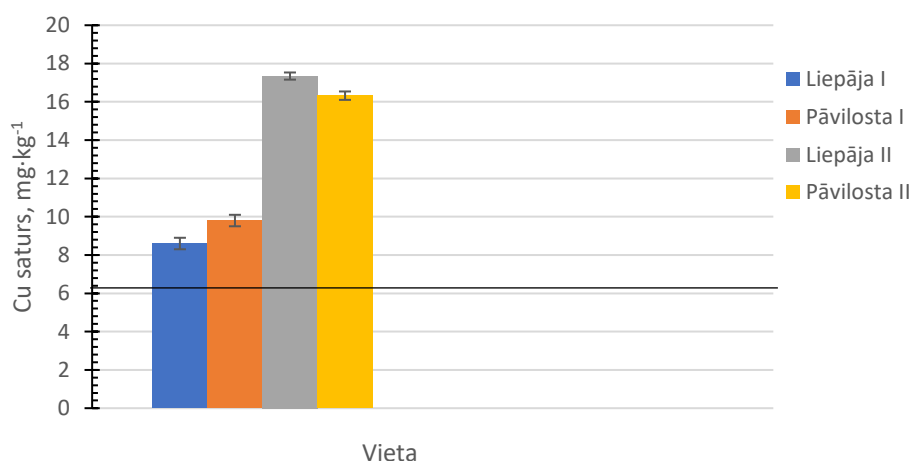
Arsēna masas daļa jūras aļģēs. As saturs Liepājas piekrastē ievāktajās aļģēs ir lielāks nekā Pāvilostas piekrastē ievāktajās aļģēs gandrīz 2 reizes un sezonālās variācijas nav būtiskas. Aļģes kā mēslojuma līdzekli var izmantot, jo iegūtās vērtības nepārsniedz MK noteikumu Nr. 506 maksimāli pieļaujamās koncentrācijas.

Zviedrijā veiktajā pētījumā vislielākā As koncentrācija ir $6,21 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,³⁰ kas ir 2 reizes mazāks par arsēna daudzumu pūšļu fukā Liepājas piekrastē..

Niķeļa saturs jūras aļģēs. Izvērtējot iegūtos rezultātus, izriet, ka Ni savienojumu akumulēšanas spējas jūras aļģu sugās ir dažādas. Vislielākā spēja akumulēt niķeli savienojumus piemīt kokotilusam (*Coccotylus truncata*), kur Ni koncentrācija variē robežās no 9,3 līdz $11,5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Vismazākais Ni saturs ir zaļajās savāktās Liepājas piekrastē rudenī. Šīs vērtības ir 28 reizes mazākas nekā MK noteiktās vērtības.

2016. gadā veiktajā pētījumā³¹ “Содержание тяжелых металлов в талломах фуцеллярии равновершинной (*Furcellaria lumbricalis (hudson) j.v. lamouroux*) российского сектора юго-восточной Балтики”, Ni saturs *F. Lumbricalis* bija $23,05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, šīs aļģes tika ievāktas Kuršu kāpās. Mūsu pētījumā iegūtās vērtības ir 2 reizes mazākas.

Vara saturs jūras aļģēs. Balstoties uz to, ka rūpnieciski nozīmīgākas no izskalojamiem aļģu biomasas ir furcelārijas un pūšļu fuks, Cu saturs tika apskatīts tikai 2 sugās furcelārijā (*Furcellaria lumbricalis*) un pūšļu fukā (*Fucus vesiculosus*). Iegūtie mana pētījuma dati tika salīdzināti ar pētījuma³² “Chemical characterization of 21 species of marine macroalgae common in Norwegian waters: benefits of and limitations to their potential use in food and feed” iegūtiem rezultātiem. Attēlā ar melno svītru apzīmēts Norvēģijas paraugos noteikts vara saturs.

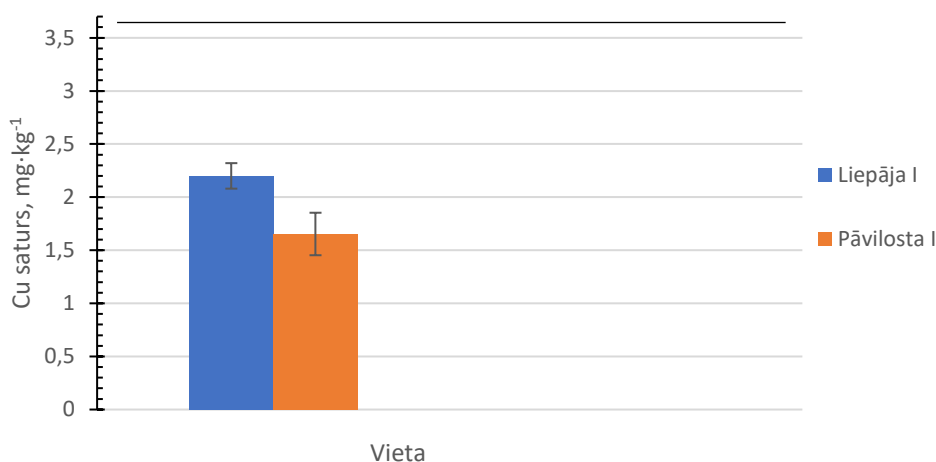


3.4. att. Cu satura salīdzinājums *Furcellaria lumbricalis* jūras aļģēs ievāktās Kurzemes un Norvēģijas piekrastē (Ar I ir apzīmēti vasaras laikā savākti paraugi un ar II – rudenī savākti paraugi)

Aplūkojot diagrammu (skatīt 3.4. att.), izriet, ka Kurzemes piekrastēs izskalojamām *Furcellaria lumbricalis* aļģēm vara saturs ir 1,5 reizes lielāks vasaras laikā, nekā Norvēģijas

ziemeļu krastos savāktās furcelārijās (diagrammā ir apzīmēts ar melnu līniju). Un 2,8 reizes lielāks rudens paraugos Kurzemes piekraste, nekā Norvēģijas paraugos.

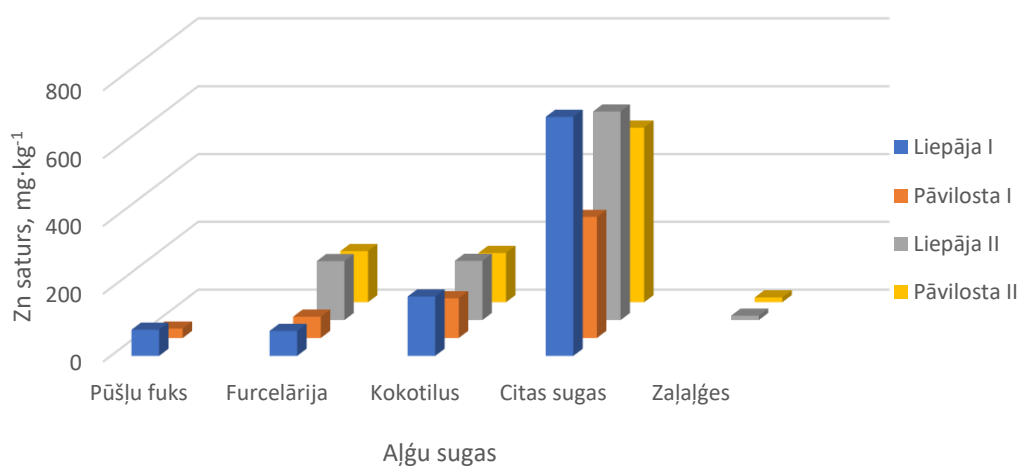
3.5. attēlā salīdzināta vara masas daļa pūšļu fukā (*Fucus vesiculosus*).



3.5. att. Cu satura salīdzinājums *Fucus vesiculosus* Kurzemes piekrastēs ar Cu koncentrāciju Norvēģijā vāktam pūšļu fukām

Tomēr pretējā situācija ir novērojama *Fucus vesiculosus* gadījumā (skatīt 3.5. att.), kur Kurzemes piekrastē vara saturs aļģēs ir mazāks, nekā Norvēģijas ziemeļu krastos savāktā pūšļu fukā (diagrammā ir apzīmēts ar melnu līniju). Iegūtie rezultāti ir vienas kārtas robežās.

3.6. attēlā savstarpēji salīdzināta Zn masas daļa dažādās aļģu sugās Liepājas un Pāvilostas piekrastēs.



3.6. att. Zn saturs dažādās aļģu sugās Liepājas un Pāvilostas piekrastēs (Ar I ir apzīmēti vasaras laikā savākti paraugi un ar II – rudenī savāktī paraugi)

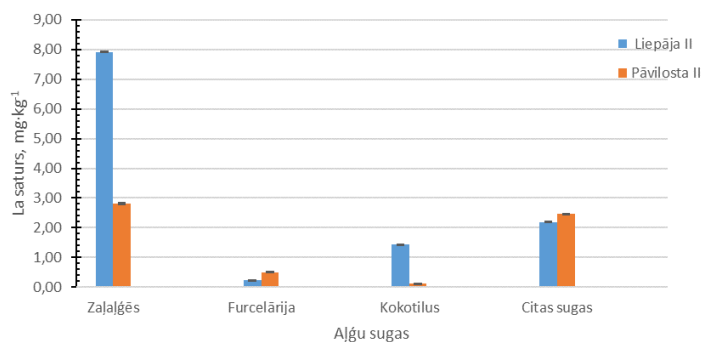
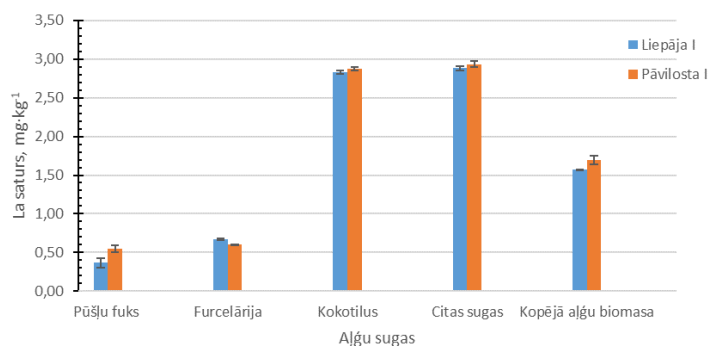
Vislielākais cinka saturs tika noteikts viengadīgās aļģēs, vērtības variēja robežā no 357 līdz 705 mg·kg⁻¹. Tika novērota likumsakarība, ka Liepājas piekrastē ievāktos paraugos Zn saturs bija lielāks nekā Pāvilostā ievāktos. Tā pati likumsakarība tiek novērota mainoties sezonai. Salīdzinot iegūtos rezultātus ar 2017. gada pētījumu,³² raksturojot Norvēģijas ziemeļu krastā Zn saturu dažādās aļģu sugās (variēja robežās no 13 līdz 84 mg·kg⁻¹), var secināt, ka Kurzemes piekrastes aļģēs ir noteikta 8 reizes lielāka Zn koncentrācija.

Pētījumā tika noteiktas arī tādas smago metālisko elementu koncentrācijas kā V, Cr, Co, iegūtos datus var apskatīt *pielikumā Nr.6*. Viengadīgās aļģēs V, Co un Cr saturs ir vislielākais.

Izvērtējot datus smago metālisko elementu aspektā, var secināt, Kurzemes piekrastē jūras sanesumos dominē tāda aļģu suga kā *Furcellaria lumbricallis*, apskatīto metālisko elementu saturs noteiktais šajā sugā nepārsniedz MK noteikumu Nr. 506 uzdotās vērtības, līdz ar to droši var lietot lauksaimniecībā kā mēslojumu.

3.4. Retzemju elementu saturs dažādās jūras aļģu sugās

Dati parādīja, ka lielākās koncentrācijās aļģēs sastopami tādi retzemju elementi kā La un Ce. 3.7. attēlā attēlots La saturs noteikts dažādās aļģu sugās.

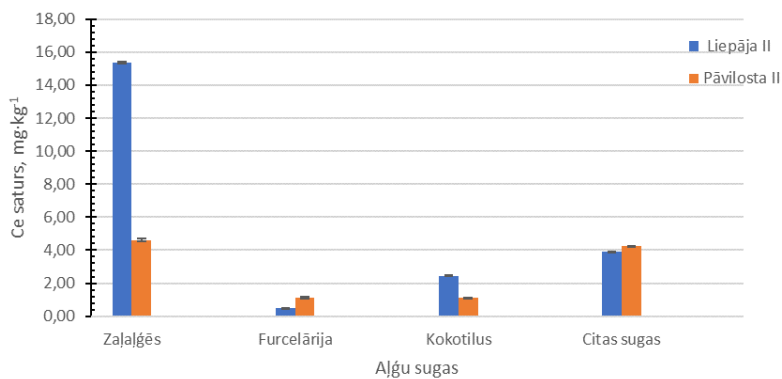
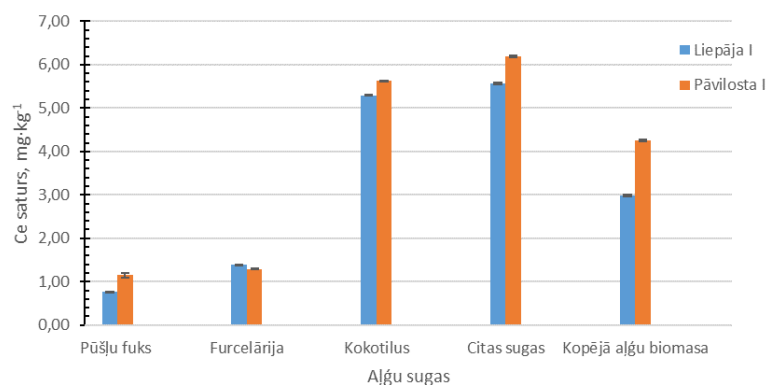


3.7. att. La saturs aļģu sugās Liepājas un Pāvilostas piekrastēs vasarā (I) un rudenī (II)

Pēc iegūtiem rezultātiem tika konstatēts, ka rudenī izmainījās izskaloto aļģu biomasas botāniskais sastāvs – pūšļa fuks tika novērots vasaras sezonā, bet zaļalģes - rudenī. 3.7. attēlā var redzēt, ka vislielākais La saturs ir novērojams rudenī savāktās zaļalģēs Liepājas piekrastē ($7,92 \pm 0,02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Kas ir 2,80 reizes lielāks par La saturu zaļalģēs Pāvilstas piekrastē ($2,82 \pm 0,02 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Savstarpēji tika salīdzināts La saturs furcelārijā, kokotilusā un citās sugās ievāktās vasaras un rudens sezonā. Ir vērojama likumsakarība, ka La saturs noteikts aļģēs ievāktās vasarā gan Liepājas, gan Pāvilstas piekrastēs ir vairāk salīdzinot ar rudenī ievāktām aļģēm. To varētu izskaidrot tā, ka rudens laikā lielās vētrās tiek izskalotas aļģes no dziļākiem ūdens slāņiem, kuros retzemju elementu saturs ir mazāks. Šis secinājums izriet no pētījuma “*Rare Earth Elements and Other Critical Metals in Deep Seabed Mineral Deposits: Composition and Implications for Resource Potential*” datiem, kurā tika konstatēts, ka lielāks retzemju elementu saturs ir novērojamas jūras ūdens augšējos virsējos slāņos.³³ La saturs aļģēs variē vienas kārtas robežās no 0,24 līdz $7,92 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Ce saturs dažādās aļģu sugās attēlots 3.8. attēlā.



3.8. att. Ce saturs aļģu sugās Liepājas un Pāvilstas piekrastēs vasarā (I) un rudenī (II)

Tika novērota likumsakarība, ka Ce saturs zaļalģēs Liepājas piekrastē ir vislielākais. Aptuveni 3,7 reizes lielāks salīdzinot ar visiem pārējiem datiem.

Ce saturs savstarpēji tika salīdzināts 3 aļģu sugās (furcelārija, kokotilus un viengadīgas aļģes) vasaras un rudens periodā. Ir uzskatāmi redzams, ka vasaras laikā savāktās aļģes Ce koncentrācija ir lielāka nekā rudenī ievāktos paraugos.

Lai izvērtētu La un Ce iegūtus rezultātus, tika izmantota arī CAT kompjūterprogramma galveno komponentu analīzē (PCA). Tabulā 3.5. ir apzīmējumi un to atšifrējumi, sekmīgai šīs programmas izmantošanai.

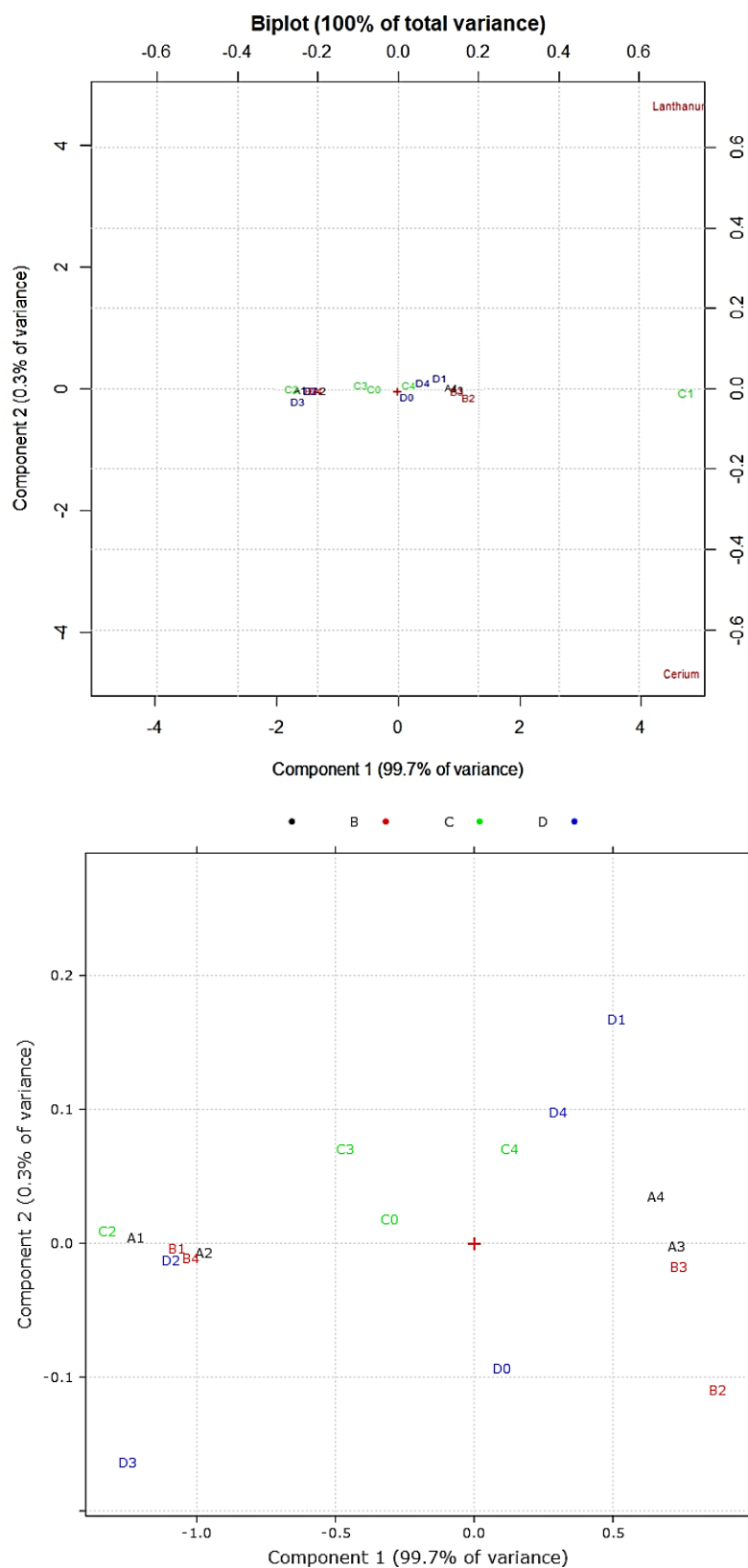
3.5. tabula

Jūras aļģu paraugu apzīmējums CAT programmā galveno komponentu analīzē (PCA) Ce un La gadījumā

Apzīmējums	Apzīmējumā atšifrējums
A1	Pūšļu fuks, Liepāja I
A2	Furcelārija, Liepāja I
A3	Citas sugas, Liepāja I
A4	Kokotilus, Liepāja I
B1	Pūšļa fuks, Pāvilosta I
B2	Citas sugas, Pāvilosta I
B3	Kokotilus, Pāvilosta I
B4	Furcelārija, Pāvilosta I
C0	Kopēja aļģu biomasa, Liepāja II
C1	Zaļalģēs, Liepāja II
C2	Furcelārija, Liepāja II
C3	Kokotilus, Liepāja II
C4	Citas sugas, Liepāja II
D0	Kopēja aļģu biomasa, Pāvilosta II
D1	Zaļalģēs Pāvilosta II
D2	Furcelārija, Pāvilosta II
D3	Kokotilus, Pāvilosta II
D4	Citas sugas, Pāvilosta II

Jūras aļģu paraugi tika sagrupēti 4 veidos (A, B, C, D), balstoties gan uz parauga ņemšanas vietu, gan sezonu. Ar I ir apzīmēti vasaras laikā savāktie paraugi, piem., pūšļu fuks, Liepāja I – savākts vasarā. Ar II – rudenī savāktie paraugi.

Izmantojot galveno komponentu analīzi, tika iegūts sekojošs grafiks (*skatīt 3.9. att.*) ar iepriekš aprakstītiem apzīmējumiem.

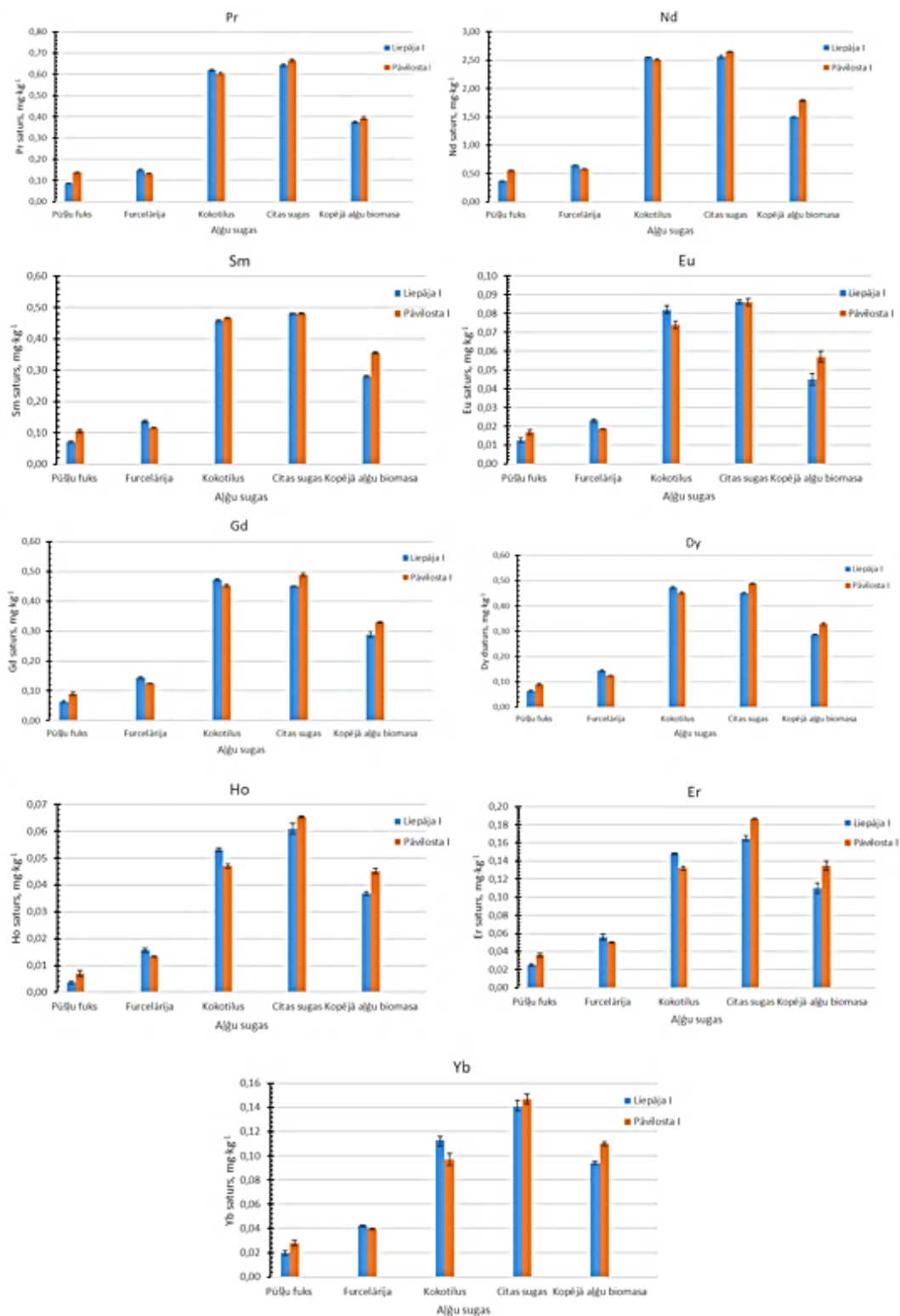


3.9. att. Ce un La satura salīdzinājums dažādās aļģēs ar galveno komponentu analīzi

Apskatot 3.9. attēlu, var novērot, ka C1 paraugs būtiski atšķiras no pārējās datu kopas. Tas ir saskaņā ar augstāk tekstā rakstīto, zaļajās La un Ce saturs ir palielināts.

Pārējās grupas veido vienu vienotu datu kopu un būtiski neatšķiras, līdz ar to La un Ce masas daļas dažādās aļģu sugās ievāktās vasaras un rudens sezonās neatšķiras.

Jūras aļģēs ar ICP-MS analīzes metodi tika noteikti 9 retzemju elementi, tādi kā: Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er un Yb. To saturs ir attēlots diagrammu veidā 3.10. attēlā.



3.10. att. Retzemju elementu saturs aļģu sugās Liepājas un Pāvilostas piekrastēs

3.10. attēlā var novērot, ka kokotilus un viengadīgās aļģēs retzemju elementu saturs ir lielāks. Abās paraugu ņemšanas vietās retzemju elementu saturs dažādu sugu aļģēs ir līdzīgs.

Izvērtējot literatūrā pieejamo informāciju, tika konstatēts, ka Baltijas jūras aļģēs maģistra darba ietvaros tika pirmo reizi noteikts Gd, Dy, Ho, Er, Pr un Nd saturs.

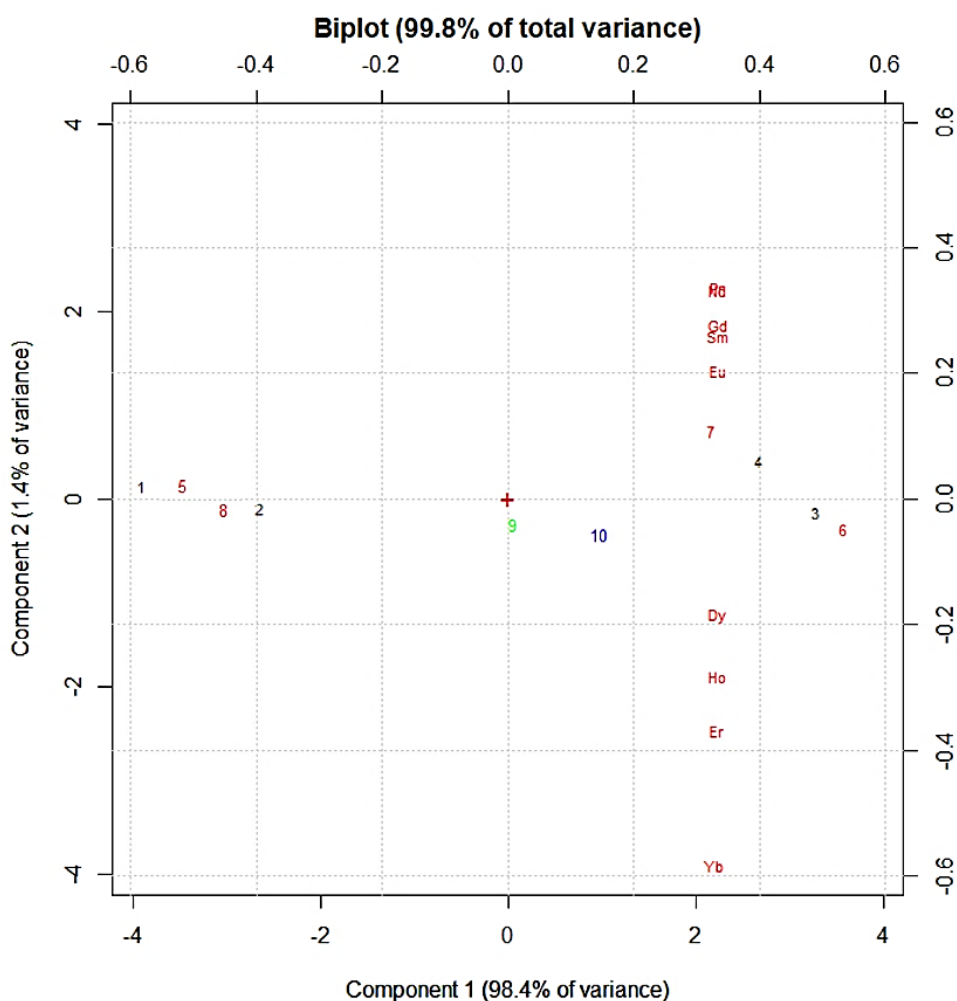
3.6. tabulā ir apzīmējumi un to atšifrējumi paraugu sagrupēšanai, lai varētu sekmīgi pielietot CAT programmas galveno komponentu analīzi.

3.6. tabula

Jūras aļģu paraugu apzīmējums CAT programmā daudz klasteru analīzei (PCA) retzemju elementu gadījumā

Apzīmējums	Apzīmējumā atšifrējums
1	Pūšļu fuks, Liepāja I
2	Fucelārija, Liepāja I
3	Citas sugas, Liepāja I
4	Kokotilus, Liepāja I
5	Pūšļa fuks, Pāvilosta I
6	Citas sugas, Pāvilosta I
7	Kokotilus, Pāvilosta I
8	Furcelārija, Pāvilosta I
9	Kopēja aļģu biomasa, Liepāja II
10	Kopēja aļģu biomasa, Pāvilosta II

Tabulā tiek izmantoti apzīmējumi ar cipariem no 1 līdz 10, kas balstās gan uz parauga ņemšanas vietu, gan laiku. Ar I ir apzīmēti vasaras laikā savākti paraugi, piem., pūšļu fuks, Liepāja I – savākts vasarā. Ar II – rudenī savāktī paraugi. Iegūtie rezultāti atspoguļoti 3.13. attēlā.



3.11. att. Retzemju elementu koncentrāciju salīdzinājums dažādās aļģēs ar galveno komponentu analīzi

Attēlā paraugi sagrupēti četros veidos pēc krāsām: melna krāsa – Liepājas paraugi vasarā, sarkana krāsa – Pāvilostas paraugi vasarā, zaļa krāsa – Liepājas paraugi rudenī un zila krāsa – Pāvilostas paraugi rudenī.

Apskatot 3.11. attēlu, var novērot lielu paraugu savstarpējo izkliedi, neveidojot būtiskas datu kopas. Attēlā redzams, ka iegūtie rezultāti ir vienas kārtas robežās, jo visi retzemju elementi atrodas uz vienas taisnes (X). Komponenta 1 ieguldījums ir ap 98 %, kas norāda, ka rezultāti ir precīzi.

Iegūtie rezultāti tika salīdzināti ar Japānas piekrastē noteikto retzemju elementu saturu izskalotajās aļģēs (*skatīt 3.7.tabulu*).¹⁵

La, Ce, Pr un Nd saturs brūnaļģēs un sārtāļģēs Kurzemes un Japānas piekrastēs

La, mg·kg ⁻¹				
	Liepāja	Pāvilosta	Japāna ¹⁴	
Pūšļu fuks	0,369	0,55	3,990	Brūnaļģes
Fucelārija	0,673	0,608	0,362	Sārtaļģes
Kokotilus	2,83	2,87		
Ce, mg·kg ⁻¹				
	Liepāja	Pāvilosta	Japāna ¹⁴	
Pūšļu fuks	0,767	1,15	9,080	Brūnaļģes
Fucelārija	1,400	1,295	0,943	Sārtaļģes
Kokotilus	5,292	5,624		
Pr, mg·kg ⁻¹				
	Liepāja	Pāvilosta	Japāna ¹⁴	
Pūšļu fuks	0,087	0,1387	0,910	Brūnaļģes
Fucelārija	0,150	0,133	0,049	Sārtaļģes
Kokotilus	0,620	0,604		
Nd, mg·kg ⁻¹				
	Liepāja	Pāvilosta	Japāna ¹⁴	
Pūšļu fuks	0,3706	0,55	4,910	Brūnaļģes
Fucelārija	0,646	0,5823	0,191	Sārtaļģes
Kokotilus	2,553	2,511		

Lai būtu iespējams salīdzināt savā starpā rezultātus, raksturojot retzemju elementu saturu aļģēs Kurzemes un Japānas piekrastē, tika izvēlētas divas klases: sārtāļģes – fucelārija (*Furcellaria lumbricallis*), kokotilus (*Coccotylus truncata*) un *Grateloupia filicina*; brūnaļģes – *Padina sp.* un pūšļu fuks (*Fucus vesiculosus*). Apskatot 3.7. tabulu ir redzama tendence, ka retzemju La, Ce, Pr, Nd saturs sārtāļģēs Kurzemes piekrastē ir aptuveni 2 reizes lielāks nekā noteiktais retzemju saturs aļģēs ievāktās Japānas piekrastē. Savukārt brūnaļģu gadījumā Kurzemes piekrastē retzemju elementu La, Ce, Pr, Nd saturs ir gandrīz 10 reizes mazāks nekā noteiktais saturs aļģēs *Padina sp.* ievāktās Japānas piekrastē. To varētu skaidrot, balstoties uz sugu dažādo ķīmisko elementu akumulēšanas spēju un dažādo jūras vides apstākļu ietekmi.

Iegūtie rezultāti tika salīdzināti ar 2001. gada pētījumu,³⁴ kurā tika analizēts pūšļu fuks, savākts Kakumāe līča piekrastē (Baltijas jūra, Ziemeļigaunija). 3.8. tabulā apkopoti dati.

3.8. tabula

La, Sm, Eu un Yb saturs *Fucus vesiculosus* aļģēs Kurzemes un Igaunijas piekrastēs

Elements	Igaunija ³⁴	Liepāja	Pāvilosta
	Koncentrācija mg·kg ⁻¹		
La	ZDR	0,369	0,55
Sm	0,09 - 0,12	0,070	0,105
Eu	0,17 - 0,032	0,0126	0,0169
Yb	ZDR	0,020	0,028

Apskatot rezultātus, izriet, ka La un Yb saturs aļģēs ievāktās Liepājas un Pāvilstas piekrastēs ir lielāks. Sm, Eu gadījumā noteiktais saturs aļģēs ievāktās Kakumāe līča piekrastē ir 2 reizes lielāks nekā Kurzemes piekrastē.

Pētījumā, ko veica Japānas zinātnieki, tika noteikta sakarība starp retzemju elementu koncentrāciju aļģēs un jūras ūdenī. Aļģēs retzemju koncentrācija vairākkārt (~10³) pārsniedz lantonoīdu koncentrāciju ūdenī.¹⁵

Apskatot jūras aļģēs kā retzemju elementu avotu, ir vērts salīdzināt retzemju elementu saturu aļģēs ar to pašu elementu vidēju izplatību Zemes garozā (*skatīt 3.9. tabulu*).

3.9. tabula

Retzemju elementu saturs Zemes garozā³⁹ un Baltijas jūras aļģēs

Retzemju elementi	Izplatība Zemes garozā ³⁹ , mg·kg ⁻¹	Saturs Baltijas aļģēs, mg·kg ⁻¹
La	16,00	0,24 - 2,93
Ce	33,00	0,50 - 15,35
Pr	3,90	0,09 - 0,67
Nd	16,00	0,37 - 2,65
Sm	3,50	0,07 - 0,48
Eu	1,10	0,01 - 0,09
Gd	3,30	0,06 - 0,48
Dy	3,70	0,05 - 0,36
Ho	0,80	0,004 - 0,065
Er	2,20	0,03 - 0,19
Yb	2,20	0,02 - 0,15

Vislielākais La saturs aļģēs ir 5,5 reizes mazāks nekā vidējais La saturs Zemes garozā. Apskatot 3.9. tabulas datus, Ce gadījumā, tā saturs aļģēs ir tikai 2 reizes mazāks par vidējo

Zemes garozā esošo. Pārējiem elementiem koncentrācijas Zemes garozā ir 10 reizes lielākas, salīdzinājumā ar to pašu elementu saturu aļģēs. Novērtējot datus, izriet, ka lantonoīdu daudzums aļģēs ir ļoti mazs. Ņemot vērā, ka aļģēs mitruma saturs 75 – 85 % robežās, tad retzemju elementu iegūšana no Baltijas jūras izskalošām aļģēm nav ekonomiski izdevīga.

3.5. Makroelementu saturs dažādās jūras aļģu sugās

Jūras aļģēs tika noteikts Na, Mg, Al, K, Ca, Mn uz Fe saturs. Apskatot 3.10. tabulu, tika novērota likumsakarība, ka palielināts makroelementu (Na, Mg, Ca, Mn un Fe) saturs ir novērojams *Furcellaria lumbricallis* un *Fucus vesiculosus*, kā arī *Coccotylus truncata* gadījumā vasaras sezonā.

3.10. tabula

Makroelementu saturs dažādās aļģu sugā Kurzemes piekrastē vasaras sezonā

Aļģu sugas	Makro elementu masas daļa paraugos, g·kg ⁻¹						
	Na	Mg	Al	K	Ca	Mn	Fe
Pūšļu fuks, Liepāja I	10,66 ± 0,13	11,4 ± 0,3	0,272 ± 0,007	25,1 ± 0,2	3,1 ± 0,2	0,179 ± 0,005	0,468 ± 0,011
Furcelārija, Liepāja I	5,4 ± 0,2	6,9 ± 0,3	0,37 ± 0,03	0,96 ± 0,11	1,35 ± 0,13	0,018 ± 0,002	1,46 ± 0,10
Citas sugas, Liepāja I	0,618 ± 0,002	3,63 ± 0,08	2,4 ± 0,2	1,2 ± 0,2	1,15 ± 0,06	0,0293 ± 0,0008	4,40 ± 0,13
Kokotilus, Liepāja I	3,34 ± 0,02	7,88 ± 0,12	1,01 ± 0,05	0,67 ± 0,02	2,17 ± 0,03	0,0244 ± 0,0003	1,66 ± 0,07
Pūšļa fuks, Pāvilosta I	9,3 ± 0,3	8,8 ± 0,3	0,28 ± 0,04	20,6 ± 0,2	3,0 ± 0,2	0,376 ± 0,007	0,37 ± 0,07
Citas sugas, Pāvilosta I	1,00 ± 0,13	4,5 ± 0,3	3,12 ± 0,07	1,372 ± 0,005	1,14 ± 0,04	0,0530 ± 0,0009	4,04 ± 0,06
Kokotilus, Pāvilosta I	2,9 ± 0,2	7,25 ± 0,12	0,72 ± 0,14	7,3 ± 0,3	4,6 ± 0,3	0,041 ± 0,008	1,3 ± 0,2
Furcelārija, Pāvilosta I	3,89 ± 0,03	6,96 ± 0,13	0,350 ± 0,004	3,33 ± 0,03	1,06 ± 0,02	0,0770 ± 0,0015	0,73 ± 0,05

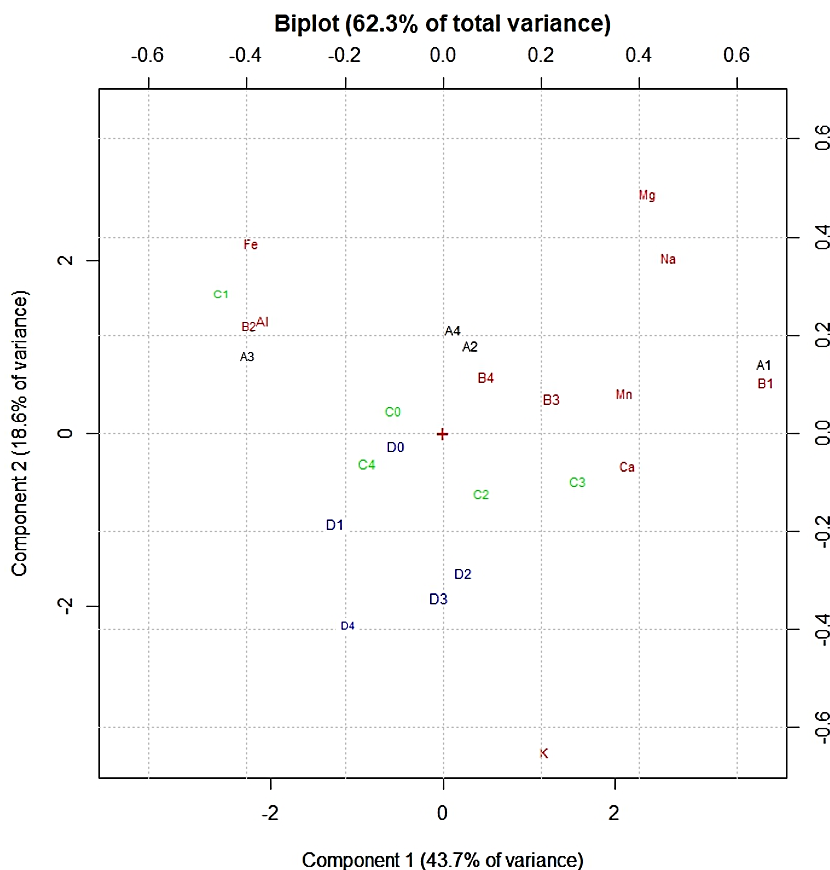
Makroelementu saturs jūras aļģu paraugos ievāktos rudens sezonā ir atspoguļots 3.11. tabulā.

Makroelementu saturs dažādās aļģu sugās Kurzemes piekrastē rudens sezonā

Aļģu sugas	Makro elementu masas daļa paraugos, g·kg ⁻¹						
	Na	Mg	Al	K	Ca	Mn	Fe
Zaļalģes, Liepāja II	0,186 ± 0,006	5,2 ± 0,7	0,89 ± 0,08	3,5 ± 0,2	0,32 ± 0,04	0,0455 ± 0,0005	10,4 ± 0,3
Furcelārija, Liepāja II	0,88 ± 0,09	6,8 ± 0,8	0,103 ± 0,015	16,6 ± 0,7	1,11 ± 0,10	0,0778 ± 0,0005	0,357 ± 0,002
Kokotilus, Liepāja II	0,66 ± 0,02	4,75 ± 0,11	0,213 ± 0,006	8,7 ± 0,7	4,8 ± 0,6	0,2379 ± 0,0006	0,780 ± 0,010
Citas sugas, Liepāja II	0,40 ± 0,03	2,77 ± 0,09	1,25 ± 0,14	11,98 ± 0,03	1,31 ± 0,03	0,1899 ± 0,0002	3,34 ± 0,02
Kopējā aļģu biomasa, Liepāja II	0,116 ± 0,002	5,80 ± 0,11	1,18 ± 0,11	9,09 ± 0,10	2,2 ± 0,2	0,076 ± 0,003	3,16 ± 0,10
Zaļalģes Pāvilosta II	0,180 ± 0,012	1,824 ± 0,014	0,78 ± 0,02	12,84 ± 0,07	0,925 ± 0,014	0,0571 ± 0,0005	1,79 ± 0,08
Furcelārija, Pāvilosta II	0,515 ± 0,007	5,3 ± 0,2	0,159 ± 0,006	26,0 ± 0,6	1,33 ± 0,03	0,0453 ± 0,0008	0,568 ± 0,011
Kokotilus, Pāvilosta II	0,287 ± 0,010	3,18 ± 0,08	0,208 ± 0,002	21,8 ± 0,9	2,22 ± 0,08	0,0200 ± 0,0005	0,176 ± 0,006
Citas sugas, Pāvilosta II	0,35 ± 0,02	1,27 ± 0,07	1,46 ± 0,14	31,8 ± 0,3	1,82 ± 0,05	0,01372 ± 0,00006	2,27 ± 0,03
Kopējā aļģu biomasa, Pāvilosta II	0,1131 ± 0,0006	6,02 ± 0,07	2,2 ± 0,3	20,0 ± 0,2	1,76 ± 0,07	0,147 ± 0,004	2,92 ± 0,04

Savā starpā salīdzinot rezultātus no 3.10. un 3.11. tabulām, izriet, ka Na, Mg, Al un Mn saturs aļģēs, mainoties sezonai (vasaras – rudens), samazinās. Pretējā situācija tiek novērota ar K, Ca un Fe saturu. Rudens periodā šo ķīmisko elementu saturs aļģēs palielinās aptuveni 1,5 reizes. Salīdzinot ar literatūras datiem⁹ Ca saturs palielinās rudens periodā, kas arī tiek novērots arī manā pētījumā, tomēr pretēja situācija tika novērota dzels gadījumā, manā pētījumā Fe saturs palielinās rudens periodā nevis samazinā.

Makroelementu saturs dažādas jūras aļģēs tika izvērtēts, izmantojot CAT galveno komponentu analīzi. Paraugu apzīmējums ir vienāds ar 3.5. tabulā aprakstīto. Iegūtie rezultāti ir atspoguļoti 3.12. attēlā.

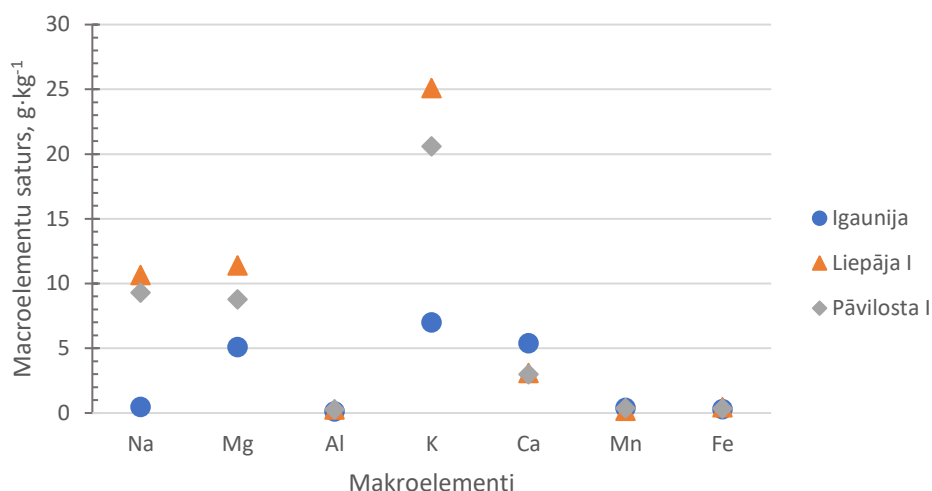


3.12. att. Makroelementu saturs salīdzinājums dažādas aļģēs ar daudz klasteru analīzi

3.12. attēlā var redzēt, kā makroelementu gadījumā elementu datu izkliede ir lielāka nekā retzemju elementu gadījumā. To var izskaidrot ar lielāku makroelementu izplatību apkārtējā vidē un lielu koncentrāciju ūdenī.

Pēc grafika izriet, ka Pāvilstas piekrastē un Liepājas piekrastē savāktos paraugos rudens sezonā (grafikā ir apzīmētas ar zilo un zaļu krāsu), izņemot Liepājas piekrastē izskalošanās zaļāļģēs Nr. C1, kuriem makroelementu saturs ir mazs, jo tās atrodas samērā tālu no ķīmiskiem elementiem. Tomēr runājot par vasarā ievāktiem paraugiem abās piekrastēs, makroelementu saturs ir lielāks nekā rudens paraugos, ko var redzēt arī grafikā. Dati, kas raksturo makroelementu saturu vasaras sezonā, atrodas samērā tuvu ķīmiskiem elementiem.

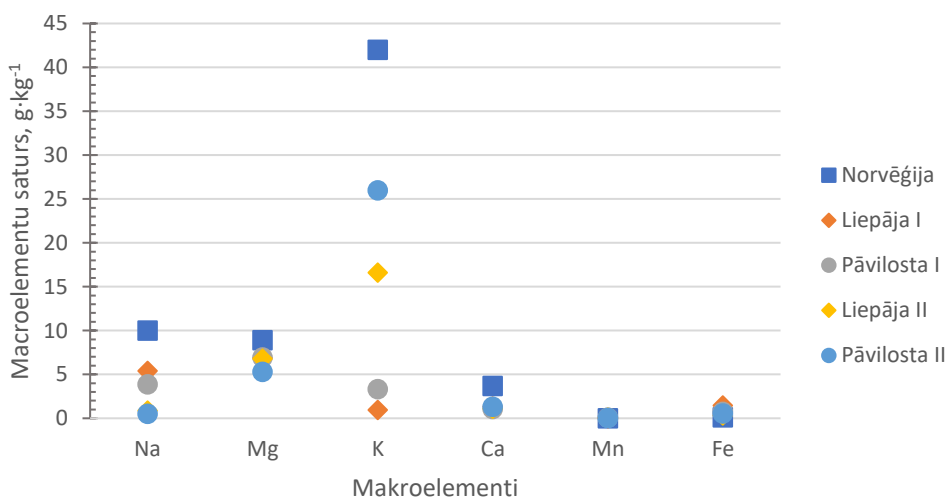
Makroelementu saturs pūšļa fukā tika salīdzināts ar 2004. gada pētījumiem Kakumāe līča piekrastē.³⁵ Pētījumā tika noteikti daži makroelementi *Fucus vesiculosus* aļģēs (skatīt 3.13. att.).



3.13. att. Makroelementu satura salīdzinājums pūšļa fukā Kurzemes un Igaunijas piekrastēs

3.13. attēlā var redzēt, ka Na, Mg un K saturs aļģēs Kurzemes piekrastē ir lielāks salīdzinot ar Ziemeļigaunijā iegūtiem datiem. Na un K gadījumā saturs pārsniedz 10 reizes, Mg gadījumā – 2 reizes. Al, Ca, Mn un Fe saturs aļģēs līdzīgs visās analizētajās piekrastes teritorijās.

Tapāt arī tika salīdzināts makroelementu saturs furcelārijā ar 2017. gada pētījumiem Norvēģijā,³⁶ kur tika noteikti daži makroelementi *Furcellaria lumbricallis* aļģēs ievāktās Norvēģijas piekrastē (skatīt 3.14. att.).



3.14. att. Makroelementu satura salīdzinājums furcelārijā Kurzemes un Norvēģijas piekrastēs

3.14. attēlā var redzēt pretēju tendenci, Na, Mg, K un Ca saturs aļģēs ievāktās Norvēģijas piekrastē ir lielāks, nekā raksturojot Kurzemes piekrastes aļģes. Norvēģijas

piekrastē K saturs aļģēs pārsniedz mana pētījumā rezultātus aptuveni 1,6 reizes. Mn un Fe saturs visiem paraugiem ir līdzīgs.

Savstarpēji izanalizējot 3.13. un 3.14. attēlus izriet, ka Mn un Fe saturs furcelārijā un pūšļu fukā ir līdzīgs gan Kurzemes, gan Igaunijas, gan Norvēģijas piekrastēs. Na, K un Mg saturs aļģēs ievāktās Norvēģijas piekrastē ir vislielākais.

Jūras aļģēs ir iels Ca, K un Mg saturs, kas padara jūras aļģu sanesumus par labu minerālmēslojumu avotu augiem. Viens no minerālmēslojuma kvalitātes radītājiem ir fosfora saturs. Kā jau iepriekš tika minēts, jūras aļģu sanesumi galvenokārt sastāv no furcelārijām, tāpēc P saturs tika noteikts abās sezonās, kā arī kopējam biomasas paraugam (*skatīt 3.12. tabulu*).

3.12. tabula

Fosfora saturs dažādās aļģu sugās Kurzemes piekrastē

Aļģu sugas	Kopējais fosfora saturs, g·kg ⁻¹	
	P	P ₂ O ₅
Furcelārija, Liepāja I	0,27	0,62
Furcelārija, Pāvilosta I	0,46	1,05
Furcelārija, Liepāja II	1,16	2,65
Furcelārija, Pāvilosta II	1,46	3,34
Kopējā aļģu biomasā, Liepāja II	1,09	2,50
Kopējā aļģu biomasā, Pāvilosta II	1,43	3,28

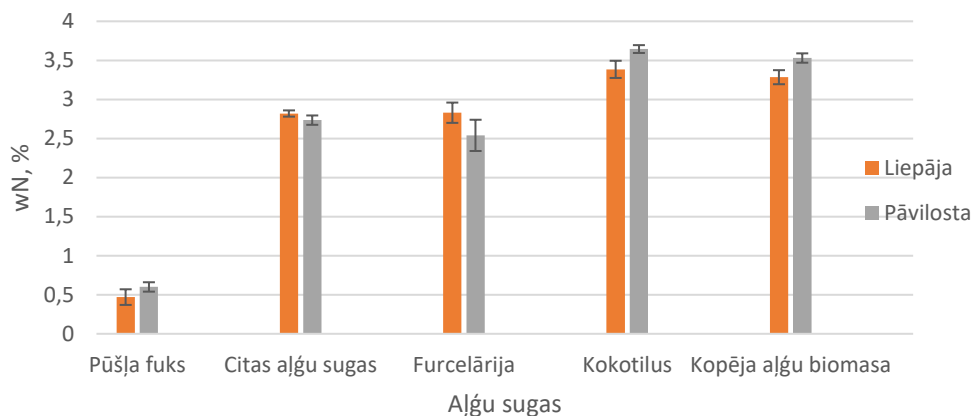
Fosfora saturs tika noteikts ar ICP-MS metodi, un pārrēķināts uz fosfora pentoksīdu, izmantojot aprēķināšanas 3.1. formulu:

$$W_{P_2O_5} = \frac{w_P \cdot M_{P_2O_5}}{M_P} \quad (3.1.)$$

Apskatot 3.12. tabulu, redzams, ka fosfora saturs aļģēs variē no 0,27 līdz 1,46 g·kg⁻¹ un fosfora pentoksīda saturs variē robežās no 0,62 līdz 3,34 g·kg⁻¹. Pāvilostas kopēja aļģu biomasā P saturs ir ap 0,33 %, kas ir vistuvāk organisko mēslojumu noteiktai robežai – 0,5 % pēc MK noteikumiem Nr. 506.²⁹ Tādējādi jūras aļģu sanesumus var izmantot, kā mēslošanas avotu.

3.6. Kopējais oglekļa un slāpekļa saturs dažādās jūras aļģu sugās

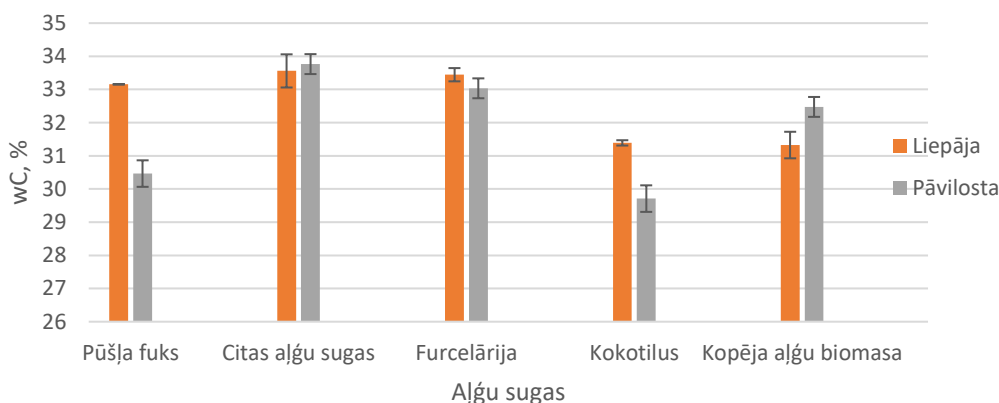
Tika izskaitļots C un N kopējais saturs. 3.15. attēlā atspoguļots slāpekļa procentuālais kopējais saturs dažādās aļģu sugās.



3.15. att. N satura salīdzinājums jūras aļģēs Kurzemes piekrastē

Vislielākais N kopējais saturs ir kokotilus sugas aļģēm, kā arī kopējai aļģu biomasai. Būtiskas atšķirības rezultātos starp paraugu ņemšanas vietu nav.

C satura savstarpējs salīdzinājums ir atspoguļots 3.16. attēlā.



3.16. att. C satura salīdzinājums jūras aļģēs Kurzemes piekrastē

Vislielākais C saturs ir novērojams viengadīgām aļģēm un furcelārijai. Salīdzinoši liela masas daļa ir pūšlā fukam un kopējai aļģu biomasai. Vismazākais saturs ir kokotilus sugas aļģēm.

Vienā no pētījumiem C kopējais saturs brūnaļģēs *Undaria pinnatifida* variējas robežās no 24,6 līdz 33,7% un N saturs variējas no 2,1 līdz 3,5 %, ³⁶ maģistra darba pētījumā iegūtie dati ir līdzīgi, tik N saturs variē plašākā diapazonā, to varētu izskaidrot ar aļģu sugu dažādību.

Izvērtējot visus rezultātus, jūras aļģes var izmantot lauksaimniecībā kā minerālmēslojumu, jo smago metālu saturs nepārsniedz LR MK noteikumu Nr. 506. pieļaujamās robežas minerālorganiskiem mēslojumiem. Jūras aļģēs ir augsts makroelementu saturs. Baltijas jūras izskalošanās aļģēs diezgan mazs retzemju elementu saturs, salīdzinot ar okeāna aļģēm, tāpēc to izmantošana kā retzemju avots ir ekonomiski neizdevīga. Tomēr mazs retzemju daudzums veicina augu augšanu, padarot aļģes kā labu alternatīvu rūpnieciski ražotiem mēslojumiem.

SECINĀJUMI

1. Pelnu saturu izskatotā aļģu biomasā ietekmē izskaloto aļģu apjoms un laikapstākļi. Aļģes lietderīgi vākt, kad ir lielāki sanesumi.
2. Kurzemes piekrastē, galvenokārt, dominē sārtaļģe *Furcellaria lumbricallis*, kurai spēja uzkrāt ķīmisko elementu savienojumus ir samērā maza.
3. Vislielākā spēja uzkrāt smagos metāliskos elementus un makroelementus tika novērota viengadīgām aļģēm, kā arī zaļāļģēm. Retzemju elementu uzkrāšanās spēja visās aļģu sugās ir neliela un līdzīga.
4. Jūras aļģēs tika kvantificēts 11 lantonoīdu grupas elementu saturs, no kuriem 6 (Gd, Dy, Ho, Er, Pr un Nd) tika noteikti pirmo reizi Baltijas jūras izskalotās aļģēs. Ce saturs aļģēs ir vislielākais, kas sastāda attiecīgi pusi no Zemes garozā esošā Ce satura. Baltijas jūras aļģes nav izdevīgi izmantot retzemju elementu iegūšanai.
5. Liepājas un Pāvilostas piekrastēs izskalotās aļģes satur smagos metālus, makroelementus un retzemju elementus nelielos daudzumos, kas neietekmē to turpmākās izmantošanas iespējas lauksaimniecībā. Kopējo aļģu biomasu var izmantot lauksaimniecībā kā mēslojumu, jo smago metālu saturs atbilst LR MK noteikumiem Nr. 506. Jūras aļģes var lietot kā mēslojumu augiem, jo fosfora pentoksīda saturs aļģēs ir 0,3 % un slāpekļa saturs ir 3,2 %.

IZMANTOTĀ LITERATŪRA

- (1) Osterberg, K. A future for the Baltic? Scientists Discuss an Environmental Challenge. ISBN 91-86174-83-5, ISSN 0349-0556, 1994, Stockholm.
- (2) Bikovens, O.; Janceva, S.; Vevere, L.; Purina, I.; Tesysheva, G. Co-composting of seaweed with lignocellulosic substratum: effect of the compost composition on compost humic substances, *IJARGE*, **2020**, *16*, 263 - 277, doi: 10.1504/IJARGE.2020.10038085.
- (3) Aļģu apsaimniekošana Latvijas piekrastē, [tiešsaitē] <http://baltijaskrasti.lv/blog/algu-apsaimniekosana-latvijas-piekraste/> [skatīts 27.02.2020.].
- (4) Nacionālā enciklopēdija, Baltijas jūras Latvijas piekraste un Rīgas līcis, [tiešsaitē] <https://enciklopedija.lv> [skatīts 27.02.2020.].
- (5) Martin, G.; Kukk, E.; Kukk, H.; Kotta, J. Historical review of the literature on phytobenthic investigations in the Gulf of Riga, *Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol.*, **2004**, *53*, 236 – 250.
- (6) Baltijas krasti. Jūras aļģu sanesumu izvērtēšanas un apsaimniekošanas plāns Latvijas piekrastē. Nodevums, Rīga, 2018. 4 - 64 lpp.
- (7) The Coast Protection Board of South Australia, What is beach wrack?, *Coastline Factsheet*, **2017**, 38.
- (8) Ruiz-Delgado, M. C.; Vieira, J. V.; Veloso, V. G.; Reyes-Martínez, M. J.; Sallorenzo, I. A.; Borzone, C. A.; García, F. J. The role of wrack deposits for supralittoral arthropods: An example using Atlantic sandy beaches of Brazil and Spain. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **2014**, *136*, 61 - 71, <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.11.016> .
- (9) Villares, R.; Fernandez-Lema, E.; Lopez-Mosquera, M. E. Evaluation of Beach Wrack for Use as an Organic Fertilizer: Temporal Survey in Different Areas. *Springer*. **2016**, *32*, 19 - 36, <https://doi.org/10.1007/s41208-015-0003-5> .
- (10) Mellbrand, K.; Lavery, P. S.; Hyndes, G. Linking Land and Sea: Different Pathways for Marine Subsidies. *Ecosystems*, **2011**, *14*, 732 - 744 <https://doi.org/10.1007/s10021-011-9442-x> .
- (11) Oldham, C.; Lavery, P.; MCMahon, K.; Pattiaratchi, C.; Chiffings, T. Seagrass wrack dynamics in Geographe Bay, Western Australia. Project No DPI 1062/07, 2010, 19 - 190 .
- (12) Źbikowski, R.; Szefer, P.; Latala, A. Comparison of green algae *Cladophora sp.* and *Enteromorpha sp.* as potential biomonitors of chemical elements in the southern Baltic.

- Sci. Total Environ.*, **2007**, 387, 320 - 332, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.07.017> .
- (13) Young, J.; Callaghan, J. Chemical analysis of seagreens Arctic wild wrack seaweed, Food innovation, [tiešsaite] <http://www.seagreens.com/Documents/SheffChemicalAnalysis.pdf> [skatīts 16.04.2020.].
- (14) Zepf, V. Rare earth elements. A new approach to the nexus of supply, demand and use: exemplified along the use of neodymium in permanent magnets, *Springer*, **2013**, 157, 98 - 107, <https://doi.org/10.2113/econgeo.110.4.1137> .
- (15) Goecke, F.; Zachleder, V.; Vítova, M. Rare Earth Elements and Algae: Physiological Effects, Biorefinery and Recycling, *Algal Biorefineries*, **2015**, 339 – 363, https://doi.org/10.1007/978-3-319-20200-6_10 .
- (16) Torn, K.; Martin, G.; Suursaar, U. Beach wrack macrovegetation index for assessing coastal phytobenthic biodiversity, *Proc. Estonian Acad. Sci.*, **2016**, 65, 78 - 87, doi: 10.3176/proc.2016.1.08 .
- (17) Harris, D. C. *Quantitative Chemical Analysis*. 5th edition. USA, 2000. 615 - 640.
- (18) Vīksna, A. Modernās analīzes metodes [tiešsaite]. E-studijas, Rīga <https://estudijas.lu.lv> [skatīts 30.03.2020.].
- (19) Wilschefski, C. S.; Baxter, R. M. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: Introduction to Analytical Aspects. *Clin Biochem Rev.*, **2019**, 40, 115 - 133, <https://doi.org/10.33176/AACB-19-00024> .
- (20) Vīksna, A. Instrumentālās analīzes metodes [tiešsaite]. E-studijas, Rīga <https://estudijas.lu.lv> [skatīts 30.03.2020.].
- (21) Muccio, Z.; Jackson, G. P. Isotope ratio mass spectrometry. *The Analyst*, **2009**, 134, 213 - 222, <https://doi.org/10.1039/B808232D> .
- (22) Rodrigues, C.; Maia, R.; Lauteri, M.; Brugnoli, E.; Maguas, C. Stable Isotope Analysis, *Comprehensive Analytical Chemistry*, 2013, 77 – 99.
- (23) Jolliffe, I. T.; Cadima, J. Principal component analysis: a review and recent developments. *Phil. Trans. R. Soc. A*. **2016**, 374, 20 - 65, <https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202> .
- (24) Irpino, A. “Spaghetti” PCA analysis: An extension of principal components analysis to time dependent interval data, *Pattern Recognition Letters*, **2006**, 27, 504 - 513, <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.09.013> .
- (25) Data Analysis of Mitochondrial Metabonomics, PCA Analysis [tiešsaite] <https://www.mitochondriasci.com> [skatīts 15.04.2021.].

- (26) Jolliffe, I. T. Principal component analysis, 2nd edn. New York, NY: Springer-Verlag, 2002.
- (27) Diamantaras, K.; Kung, S. Principal component neural networks: theory and applications. New York, 1996.
- (28) Linting, M.; Kooij, A. Nonlinear Principal Components Analysis With CATPCA: A Tutorial, *J. Pers. Assess.*, **2012**, *94*, 12 - 25, <https://doi.org/10.1080/00223891.2011.627965> .
- (29) Noteikumi par nevēlamo piemaisījumu maksimāli pieļaujamā koncentrācija mēslošanas līdzekļos un substrātā. 2015. gada 1. septembra Ministru kabineta noteikumi Nr. 506, Ministru kabinets, Rīga <https://likumi.lv/> [skatīts 10.04.2021.].
- (30) Davidsson, A. Seaweed and Algae as a Natural Resource and a Renewable Energy Source, Step 1, 2007, [tiešsaite] <http://wabproject.pl/files/Seaweed%20and%20Algae%20as%20a%20Natural%20Resource%20and%20a%20Renewable%20Energy%20Source%20ENGLISH.pdf> [skatīts 26.04.2021.].
- (31) Volodina, A. Содержание тяжелых металлов в талломах фуцеллярии равновершинной (*Furcellaria lumbricalis* (hudson) j.v. lamouroux) российского сектора юго-восточной балтики, *Естественные и математические науки в современном мире*, **2016**, *7*, 21 – 27.
- (32) Biancarosa, I.; Belghit, I.; Bruckner, C.; Waagbo, N.; Amlund, R.; Heesch H. Chemical characterization of 21 species of marine macroalgae common in Norwegian waters: benefits of and limitations to their potential use in food and feed: Chemical composition of Norwegian marine macroalgae, *JSFAAE*, **2017**, *98*, 2035 - 2042, <https://doi.org/10.1002/jsfa.8798> .
- (33) Pak, S-J.; Seo, I.; Lee, K-Y.; Hyeong, K. Rare Earth Elements and Other Critical Metals in Deep Seabed Mineral Deposits: Composition and Implications for Resource Potential. *Minerals*. **2019**, *9*, 3, <https://doi.org/10.3390/min9010003> .
- (34) Truus, K.; Vaher, M.; Taure, I. Algal biomass from *Fucus vesiculosus* (Phaeophyta): investigation of the mineral and alginate components. *Proc Estonian Acad Sci Chem*. **2001**, *50*, 95 – 103.
- (35) Balaram, V. Rare earth elements: A review of applications, occurrence, exploration, analysis, recycling, and environmental impact, *GEOSCI FRONT*, **2019**, *10*, 1285 - 1303, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2018.12.005> .

- (36) Shim, J.; Kim, J.; Hwang, D.; Choi, H-G.; Lee, Y. Variations in carbon and nitrogen stable isotopes and in heavy metal contents of mariculture kelp *Undaria pinnatifida* in Gijang, southeastern Korea, *ALGAE*, **2017**, 32, 349 - 357, <https://doi.org/10.4490/algaec.2017.32.12.3> .

PATEICĪBAS

Latvijas Valsts Koksnes ķīmijas institūtam rīkotajai Īstermiņa zinātniskajai misijai projektā „Makroaļģu sastāva un potenciālās izmantošanas vērtības noteikšana“ par sadarbību pētījuma veikšanai.

Pētījumu finansiāli atbalstīja Kurzemes plānošanas reģions, INTERREG projektā „Baltijas jūras aļģu ilgtspējīga izmantošana“(GRASS).

Pētniekam Mārim Bērtiņam (LU Ķīmijas fakultātes Analītiskas ķīmijas katedra) par sniegto palīdzību darbā ar ICP – MS un IRMS aparatūrām.

LU 79. starptautiskās zinātniskās konferences, ķīmijas sekcijas tēzes

EVALUATION OF BEACH WRACK ALGAL BIOMASS CHEMICAL COMPOSITION ON KURZEME SHORE

Džesika Butkus^{1,2}, Vīta Rudoviča¹, Oskars Bikovens², Māris Bērtiņš¹

¹ University of Latvia, Faculty of Chemistry, Jelgavas street 1, Riga, Latvia

² Latvian State Institute of Wood Chemistry, Dzerbenes street 27, Riga, Latvia

e-mail: db12151@lu.lv

The total length of the Latvian coast exceeds 500 km. Every year, a large amount of seaweed is washed to the coast forming beach wrack. Algae have a wide range of applications, they are used in pharmacy, industry, food, agriculture, cosmetics [1].

Due to the large inflow of fresh water from rivers and precipitation, anthropogenic water pollution in the Baltic Sea is increasing. Algae, like other marine organisms, have the ability to accumulate various harmful substances [2].

The chemical composition of algal biomass depends on many factors, such as species, location and water pollution levels. In order to optimally master the available resources in the territory of Latvia, the chemical and botanical composition of seaweed on the coast of Kurzeme was evaluated.

The algal biomass washed up on the beaches of Liepāja and Pāvilosta is mainly dominated by such algae species as: red algae *Furcellaria* (*Furcellaria lumbricalis*) and brown algae bladder fuchsia (*Fucus vesiculosus*). Red algae *Coccolytus* (*Coccolytus truncata*) and other algae were also washed out in relatively small quantities, mainly annual kelp and red algae.

Using ICP-MS spectrometric analysis method, the content of 40 chemical elements was determined in seaweed, 11 of which were elements of the lanthanide group, the concentration of which varied from 3.7 µg·kg⁻¹ (Ho) to 5624 µg·kg⁻¹ (Ce). The concentration of heavy metals in algae varies greatly (0.0052 – 705 mg·kg⁻¹). The concentration of Zn varies from 43.2 to 705 mg·kg⁻¹, Cu – 1.65 – 32.2 mg·kg⁻¹, Ni – 3.8 – 10.5 mg·kg⁻¹, Cd – 0.059 – 0.67 mg·kg⁻¹ and Hg 0.0052 – 0.022 mg·kg⁻¹ in algae. The species of algae and the sampling location largely determine the content of chemical elements.

Different species of algae may accumulate metals and metalloid compounds in various ways. The composition of chemical elements in the algal biomass washed out on the beaches of Liepāja and Pāvilosta is in most cases similar, however, the content of individual elements may differ two or more times, for example, chromium (Cr), cobalt (Co), arsenic (As), rubidium (Rb) content in red algae collected on the Liepāja coast larger than in Pāvilosta. They may indicate possible anthropogenic pollution.

References:

- [1] B. Chubarenko, J. et.al. Converting beach wrack into a resource as a challenge for the Baltic Sea (an overview), *Ocean & Coastal Management*, 2020, 105413, ISSN 0964-5691.
- [2] Bikovens, O. (2019) *Alģu biomasas izmantošanas iespēju analīze Rīgas plānošanas reģiona piekrastē*. Pētījuma Nr.RPR/2018/5/SBR Gala ziņojums. Rīga.

Acknowledgment: This research was financially supported by Kurzeme planning region, INTERREG project Growing Algae Sustainably in the Baltic Sea (GRASS).

Latvijas Valsts Koksnes ķīmijas institūta ziņojums



KURZEMES
PLĀNOŠANAS
REĢIONS



EUROPEAN
REGIONAL
DEVELOPMENT
FUND

**“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.

Reaģentu drošības apzīmējumi un apraksts

Viela	Piktogramma	Bīstamības apzīmējumi	Drošības prasību apzīmējumi
68 % HNO ₃		H272- H290- H314-H331	P210-P220-P280- P303, P361, P353- P304, P340, P310- P305, P351, P338, P310-P370, P378- P403, P233
ICP-MS-68A-A High Purity Standards		H290, H314, H318	P234, P260, P264, P280, P301 +P330 + P331, P303 + P361 + P353, P304 + P340
Argons (Ar)		H280, OSHA-H01	P202, P271, P403, CGA-PG05, CGA- PG10, CGA-PG06, CGA-PG02
Hēlijs (He)		H280, OSHA-H01	P202, P271, P403, CGA-PG05, CGA- PG10, CGA-PG06, CGA-PG02

Ar bīstamības apzīmējumu un drošības prasību apzīmējumu atšifrējumiem var iepazīties mājas lapā:

[https://www.rsu.lv/sites/default/files/imce/Zin%C4%81tnes%20departaments/DDVVI/2011_s_eminari/15122011_Poligrafija_un_tekstils_Riga/02_Kimija%202011\(jauns\).pdf](https://www.rsu.lv/sites/default/files/imce/Zin%C4%81tnes%20departaments/DDVVI/2011_s_eminari/15122011_Poligrafija_un_tekstils_Riga/02_Kimija%202011(jauns).pdf)

Jūras aļģu biomasas paraugu ņemšanas vietas

Vieta	Koordinātes
Liepāja	<ul style="list-style-type: none">• 56.514713.20985769• 56.514646, 20.985728• 56.514409, 20.985835
Pāvilosta	<ul style="list-style-type: none">• 56.888553.21.154037• 56.888202, 21.163551• 56.888146, 21.163455

Izskaloto jūras aļģu biomasas pelnu saturs Liepājas un Pāvilostas piekrastē

Liepāja, augusts							
N.p.k.	$m_{tukša}$, g	$m_{aļģu}$, g	$m_{kopējais\ pēc}$, g	m_{pelni} , g	W_{Pelni} , %	W_{vid} , %	Sn , %
1.	13,0064	3,2643	15,1075	2,1011	64,4	70,1	0,9
2.	19,9973	3,5952	22,3052	2,3079	64,2		
3.	13,0059	3,5733	15,3578	2,3519	65,8		
4.	12,9951	3,6018	15,2924	2,2973	63,8		
Pāvilosta, augusts							
1.	13,0030	3,6673	16,393	3,3900	92,4	93,0	0,5
2.	12,9957	3,6877	16,434	3,4383	93,2		
3.	20,3016	3,6158	23,6814	3,3798	93,5		
4.	19,1969	3,6150	22,5494	3,3525	92,7		
Liepāja, oktobris							
1.	13,0055	3,6897	14,6898	1,6843	45,6	45,9	0,5
2.	12,9974	3,6361	14,6642	1,6668	45,8		
3.	20,3019	3,6244	21,9956	1,6937	46,7		
4.	19,1980	3,6848	20,8769	1,6789	45,6		
Pāvilosta, oktobris							
1.	13,0022	3,6651	15,6413	2,6391	72,0	72,5	0,5
2.	12,9947	3,6690	15,6731	2,6784	73,0		
3.	20,3006	3,6775	22,9763	2,6757	72,8		
4.	19,1960	3,6604	21,8397	2,6437	72,2		

Aprēķina piemērs:

$$W_{pelni} = \frac{m_{pelni}}{m_{aļģu}} \cdot 100 \% = \frac{m_{kopējais\ pēc} - m_{tukša}}{m_{aļģu}} \cdot 100 \% = \frac{15,1075\ g - 13,0064\ g}{3,2643} \cdot 100 \% = 64,4 \%$$

Ķīmisko elementu saturs dažādās jūras aļģu sugās

Aļģu sugas	Ni				Cu				Zn				Cd				Hg				Pb			
	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg
Pūšļu fuks, Liepāja I	4,96	5,04	0,12	0,4	2,10	2,20	0,14	0,4	76,80	77,2	0,6	2	0,057	0,059	0,003	0,010	0,0057	0,0052	0,0007	0,002	ZDR	-	-	-
	5,13				2,30				77,69				0,061				ZDR							
Furcelārija, Liepāja I	3,98	3,8	0,2	0,6	8,80	8,6	0,3	1,0	74,20	73,6	0,8	3	ZDR	-	-	-	0,0067	0,0068	0,00011	0,0003	0,713	0,35	0,02	0,05
	3,70				8,32				73,01				ZDR				0,0069				0,658			
Citas sugas, Liepāja I	6,35	6,2	0,2	0,5	32,45	32,2	0,4	1,2	710,23	705	8	23	0,684	0,67	0,02	0,06	0,0154	0,0151	0,0004	0,0012	5,222	2,5	0,2	0,7
	6,10				31,91				699,51				0,657				0,0148				4,541			
Kokotilus, Liepāja I	9,46	9,3	0,2	0,6	13,76	14,0	0,4	1,1	172,40	175	4	12	0,264	0,2650	0,0015	0,004	0,0207	0,022	0,002	0,005	2,122	1,11	0,03	0,09
	9,20				14,27				177,97				0,266				0,0233				2,215			
Pūšļa fuks, Pāvilosta I	4,43	4,5	0,2	0,5	1,66	1,653	0,008	0,02	28,03	27,7	0,4	1,3	0,071	0,067	0,006	0,02	0,0067	0,0075	0,0012	0,004	ZDR	-	-	-
	4,66				1,65				27,41				0,062				ZDR							
Citas sugas, Pāvilosta I	5,10	5,05	0,08	0,2	28,07	27,8	0,3	1,0	361,38	357	7	20	ZDR	-	-	-	0,0149	0,01487	0,00008	0,0002	6,303	3,18	0,04	0,11
	4,99				27,60				351,95				ZDR				0,0148				6,181			
Kokotilus, Pāvilosta I	10,70	10,5	0,2	0,8	13,65	13,8	0,2	0,7	118,02	117	2	6	ZDR	-	-	-	0,0118	0,0121	0,0005	0,0014	1,732	0,87	0,02	0,05
	10,35				14,00				115,35				ZDR				0,0124				1,686			
Furcelārija, Pāvilosta I	5,62	5,4	0,2	0,7	10,00	9,8	0,3	1,1	63,44	62,8	0,9	3	ZDR	-	-	-	0,0073	0,0079	0,0009	0,003	1,228	0,615	0,014	0,04
	5,28				9,51				62,11				ZDR				0,0085				1,183			
Kopējā aļģu biomas, Liepāja II	7,52	7,63	0,14	0,4	9,97	10,1	0,2	0,6	44,04	43,2	1,2	4	0,287	0,26	0,03	0,10	0,0093	0,0098	0,0006	0,002	2,164	1,0	0,2	0,5
	7,73				10,26				42,40				0,239				0,0102				1,742			
Kopējā aļģu biomas, Pāvilosta II	7,09	7,02	0,09	0,3	12,43	12,36	0,10	0,3	48,94	48	2	5	0,621	0,61	0,02	0,07	0,0152	0,0162	0,0014	0,004	4,974	2,3	0,3	1,0
	6,95				12,29				46,65				0,590				0,0172				4,076			

ZDR - Zem detektēšanas robežas

Alģu sugas	Na				Mg				Al				P				K				Ca			
	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	DI, g/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	DI, g/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	DI, g/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	DI, g/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	DI, g/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	DI, g/kg
Pūšļu fuks, Liepāja I	10,57	10,66	0,13	0,4	11,23	11,4	0,3	0,8	0,27	0,272	0,007	0,02	1,604	1,67	0,09	0,3	24,932	25,1	0,2	0,8	3,029	3,1	0,2	0,5
	10,75				11,62				0,28				1,735				25,283				3,248			
Furcelārija, Liepāja I	5,53	5,4	0,2	0,6	7,14	6,9	0,3	1,0	0,39	0,37	0,03	0,09	0,29	0,27	0,02	0,07	1,04	0,96	0,11	0,3	1,44	1,35	0,13	0,4
	5,26				6,68				0,34				0,25				0,88				1,27			
Citas sugas, Liepāja I	0,616	0,618	0,002	0,007	3,57	3,63	0,08	0,3	2,53	2,4	0,2	0,5	0,753	0,69	0,09	0,3	1,095	1,2	0,2	0,6	1,196	1,15	0,06	0,2
	0,619				3,68				2,31				0,621				1,356				1,113			
Kokotilus, Liepāja I	3,32	3,34	0,02	0,07	7,79	7,88	0,12	0,4	0,97	1,01	0,05	0,14	0,279	0,289	0,015	0,04	0,656	0,67	0,02	0,07	2,147	2,17	0,03	0,09
	3,35				7,97				1,04				0,300				0,688				2,190			
Pūšļa fuks, Pāvilosta I	9,09	9,3	0,3	0,9	8,54	8,8	0,3	0,9	0,31	0,28	0,04	0,11	0,915	0,86	0,07	0,2	20,427	20,6	0,2	0,7	2,908	3,0	0,2	0,6
	9,49				8,98				0,26				0,815				20,753				3,173			
Citas sugas, Pāvilosta I	1,09	1,00	0,13	0,4	4,65	4,5	0,3	0,8	3,17	3,12	0,07	0,2	0,61	0,59	0,02	0,06	1,38	1,372	0,005	0,014	1,17	1,14	0,04	0,11
	0,91				4,27				3,07				0,58				1,37				1,12			
Kokotilus, Pāvilosta I	2,78	2,9	0,2	0,5	7,16	7,25	0,12	0,4	0,83	0,72	0,14	0,4	0,66	0,63	0,05	0,15	7,53	7,3	0,3	0,8	4,82	4,6	0,3	1,05
	3,04				7,34				0,62				0,59				7,14				4,33			
Furcelārija, Pāvilosta I	3,91	3,89	0,03	0,10	7,05	6,96	0,13	0,4	0,35	0,350	0,004	0,011	0,46	0,460	0,006	0,02	3,35	3,33	0,03	0,09	1,08	1,06	0,02	0,07
	3,87				6,86				0,35				0,46				3,31				1,05			
Kopējā alģu biomas, Liepāja II	0,12	0,116	0,002	0,01	5,73	5,80	0,11	0,3	1,25	1,18	0,11	0,3	1,122	1,09	0,04	0,13	9,018	9,09	0,10	0,3	2,330	2,2	0,2	0,6
	0,11				5,88				1,10				1,063				9,162				2,050			
Kopējā alģu biomas, Pāvilosta II	0,11	0,1131	0,0006	0,002	6,07	6,02	0,07	0,2	2,40	2,2	0,3	0,8	1,426	1,431	0,008	0,02	19,850	20,0	0,2	0,5	1,706	1,76	0,07	0,21
	0,11				5,97				2,03				1,437				20,092				1,804			

Alģu sugas	V				Cr				Mn				Fe				Co				As			
	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	DI, g/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	DI, g/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg
Pūšļu fuks, Liepāja I	0,824	0,84	0,02	0,08	1,01	1,10	0,12	0,4	0,17	0,179	0,005	0,015	0,476	0,468	0,011	0,03	0,103	0,110	0,009	0,03	14,132	14,129	0,003	0,009
	0,860				1,18				0,18				0,460				0,116				14,127			
Furcelārija, Liepāja I	1,87	1,81	0,09	0,3	0,859	0,83	0,04	0,12	0,020	0,018	0,002	0,006	1,53	1,46	0,10	0,3	0,371	0,34	0,04	0,13	2,243	2,18	0,08	0,3
	1,75				0,804				0,0169				1,39				0,310				2,123			
Citas sugas, Liepāja I	6,74	7,0	0,4	1,1	5,18	5,3	0,2	0,7	0,0299	0,0293	0,0008	0,003	4,31	4,40	0,13	0,4	1,018	1,01	0,02	0,05	2,355	2,31	0,07	0,2
	7,25				5,51				0,0287				4,49				0,996				2,261			
Kokotilus, Liepāja I	2,61	2,7	0,2	0,5	2,00	2,10	0,14	0,4	0,0242	0,0244	0,0003	0,0009	1,61	1,66	0,07	0,2	0,619	0,65	0,04	0,12	1,492	1,51	0,03	0,09
	2,85				2,20				0,0246				1,71				0,675				1,536			
Pūšļa fuks, Pāvilosta I	0,852	0,83	0,03	0,10	0,332	0,336	0,005	0,014	0,371	0,376	0,007	0,02	0,420	0,37	0,07	0,2	0,346	0,32	0,03	0,10	6,544	6,46	0,11	0,3
	0,807				0,339				0,381				0,319				0,299				6,382			
Citas sugas, Pāvilosta I	7,65	7,5	0,2	0,6	4,848	4,856	0,011	0,03	0,054	0,0530	0,0009	0,003	4,08	4,04	0,06	0,2	1,199	1,18	0,03	0,09	1,694	1,67	0,04	0,12
	7,36				4,863				0,052				4,00				1,159				1,639			
Kokotilus, Pāvilosta I	2,74	2,6	0,2	0,6	1,34	1,24	0,14	0,4	0,05	0,041	0,008	0,02	1,46	1,3	0,2	0,6	0,936	0,92	0,03	0,08	2,408	2,37	0,05	0,14
	2,44				1,14				0,04				1,17				0,900				2,342			
Furcelārija, Pāvilosta I	2,191	2,17	0,03	0,09	0,458	0,454	0,006	0,02	0,078	0,0770	0,0015	0,005	0,77	0,73	0,05	0,2	1,006	0,98	0,04	0,11	1,902	1,89	0,02	0,05
	2,150				0,450				0,076				0,69				0,956				1,877			
Kopējā alģu biomas, Liepāja II	4,32	4,2	0,2	0,6	2,27	2,18	0,13	0,4	0,08	0,076	0,003	0,008	3,23	3,16	0,10	0,3	0,864	0,84	0,04	0,12	3,747	3,68	0,10	0,3
	4,05				2,09				0,07				3,09				0,810				3,611			
Kopējā alģu biomas, Pāvilosta II	5,94	5,8	0,2	0,5	3,53	3,48	0,07	0,2	0,15	0,147	0,004	0,012	2,951	2,92	0,04	0,13	1,23	1,15	0,10	0,3	3,29	3,30	0,02	0,07
	5,70				3,43				0,14				2,891				1,08				3,32			

Aļģu sugas	Se				Rb				Sr				Sb				CS				Ba			
	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg
Pūšļu fuks, Liepāja I	0,0770	0,075	0,003	0,010	11,25	11,32	0,09	0,3	890,6	893	3	9	204,9	204,1	1,1	3	0,0476	0,0472	0,0005	0,002	125,2	124	2	6
	0,0722				11,38				894,9				203,4				0,0468				122,2			
Furcelārija, Liepāja I	0,19	0,18	0,02	0,05	1,16	1,11	0,08	0,2	95,12	94,1	1,4	4	167,26	166,6	1,0	3	0,032	0,030	0,002	0,007	12,96	12	0,8	2
	0,17				1,05				93,16				165,87				0,029				11,88			
Citas sugas, Liepāja I	0,685	0,66	0,04	0,13	5,90	6,1	0,2	0,7	64,89	64,3	0,8	2	211,10	210,5	0,8	3	0,366	0,372	0,009	0,03	43,91	44,7	1,1	3
	0,626				6,22				63,77				209,92				0,378				45,44			
Kokotilus, Liepāja I	0,390	0,394	0,005	0,015	1,89	1,96	0,10	0,3	148,60	151	4	11	220,90	220	2	5	0,082	0,086	0,006	0,02	20,27	21	0,8	3
	0,397				2,04				153,77				218,49				0,090				21,45			
Pūšļa fuks, Pāvilsta I	0,097	0,0982	0,0013	0,004	9,03	8,99	0,06	0,2	1043,67	1042,7	1,3	4	228,82	229,6	1,0	3	0,046	0,043	0,005	0,02	138,68	139,5	1,2	4
	0,099				8,95				1041,78				230,29				0,039				140,38			
Citas sugas, Pāvilsta I	0,623	0,630	0,010	0,03	6,007	6,03	0,04	0,12	67,62	67	2	5	119,28	119,8	0,7	2	0,315	0,316	0,002	0,007	29,50	29,3	0,3	0,8
	0,637				6,060				65,46				120,23				0,318				29,11			
Kokotilus, Pāvilsta I	0,480	0,484	0,007	0,02	5,00	4,94	0,09	0,3	286,64	283	5	14	245,47	248	4	11	0,072	0,068	0,006	0,02	19,58	18	2	5
	0,489				4,88				279,93				250,74				0,064				17,16			
Furcelārija, Pāvilsta I	0,157	0,154	0,003	0,010	2,661	2,67	0,02	0,05	90,23	89	2	6	219,41	218	2	5	0,031	0,0303	0,0010	0,003	8,02	7,9	0,2	0,7
	0,152				2,685				87,45				217,20				0,030				7,70			
Kopējā aļģu biomas, Liepāja II	0,38	0,36	0,03	0,10	7,93	7,934	0,011	0,03	147,85	145	4	13	308,13	308,4	0,4	1,3	0,14	0,131	0,008	0,02	22,73	22	0,7	2
	0,34				7,94				141,68				308,72				0,13				21,70			
Kopējā aļģu biomas, Pāvilsta II	0,56	0,55	0,02	0,05	13,90	13,88	0,02	0,07	93,95	94,4	0,6	1,8	217,46	218,1	0,8	3	0,22	0,219	0,002	0,006	27,55	27	1,0	3
	0,53				13,86				94,80				218,66				0,22				26,11			

Alģu sugas	La				Ce				Pr				Nd				Sm				Eu			
	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg
Pūšļu fuks, Liepāja I	0,373	0,369	0,006	0,02	0,769	0,767	0,003	0,009	0,086	0,087	0,002	0,005	0,372	0,3706	0,0014	0,004	0,071	0,070	0,003	0,008	0,013	0,0126	0,0011	0,003
	0,365				0,765				0,088				0,370				0,068				0,012			
Furcelārija, Liepāja I	0,667	0,673	0,008	0,03	1,398	1,400	0,003	0,008	0,148	0,150	0,003	0,009	0,647	0,646	0,002	0,006	0,133	0,136	0,004	0,011	0,024	0,0231	0,0006	0,002
	0,679				1,402				0,152				0,644				0,138				0,023			
Citas sugas, Liepāja I	2,858	2,88	0,03	0,09	5,563	5,566	0,005	0,014	0,647	0,643	0,005	0,014	2,582	2,56	0,03	0,10	0,480	0,4804	0,0005	0,002	0,087	0,0862	0,0012	0,004
	2,898				5,569				0,640				2,537				0,481				0,085			
Kokotilus, Liepāja I	2,840	2,83	0,02	0,06	5,298	5,292	0,008	0,02	0,621	0,620	0,002	0,005	2,552	2,553	0,002	0,007	0,455	0,457	0,003	0,009	0,081	0,082	0,002	0,006
	2,812				5,286				0,618				2,555				0,459				0,083			
Pūšļa fuks, Pāvilosta I	0,585	0,55	0,04	0,13	1,181	1,15	0,05	0,15	0,140	0,1387	0,0015	0,004	0,552	0,5547	0,0032	0,010	0,108	0,105	0,004	0,013	0,018	0,0169	0,0012	0,004
	0,523				1,111				0,138				0,557				0,102				0,016			
Citas sugas, Pāvilosta I	2,907	2,93	0,04	0,11	6,201	6,19	0,02	0,06	0,662	0,665	0,005	0,014	2,650	2,653	0,004	0,011	0,480	0,482	0,002	0,005	0,087	0,086	0,002	0,008
	2,959				6,171				0,668				2,655				0,483				0,084			
Kokotilus, Pāvilosta I	2,885	2,87	0,02	0,06	5,621	5,624	0,004	0,013	0,600	0,604	0,006	0,02	2,519	2,511	0,011	0,03	0,466	0,4666	0,0012	0,004	0,075	0,074	0,002	0,005
	2,859				5,627				0,609				2,503				0,467				0,073			
Furcelārija, Pāvilosta I	0,609	0,608	0,002	0,005	1,285	1,295	0,013	0,04	0,135	0,133	0,002	0,005	0,583	0,5823	0,0006	0,002	0,116	0,1157	0,0010	0,003	0,019	0,01875	0,00007	0,0002
	0,607				1,304				0,132				0,582				0,115				0,019			
Kopējā alģu biomas, Liepāja II	1,57	1,569	0,007	0,02	2,96	2,98	0,02	0,07	0,373	0,375	0,003	0,008	1,507	1,504	0,004	0,011	0,282	0,280	0,003	0,008	0,047	0,045	0,003	0,010
	1,56				3,00				0,377				1,502				0,278				0,042			
Kopējā alģu biomas, Pāvilosta II	1,91	1,95	0,06	0,2	4,27	4,25	0,02	0,07	0,40	0,393	0,006	0,02	1,80	1,789	0,009	0,03	0,355	0,356	0,002	0,007	0,055	0,057	0,003	0,009
	1,99				4,23				0,39				1,78				0,358				0,059			

Alģu sugas	Gd				Dy				Ho				Er				Yb				Hf			
	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg
Pūšļu fuks, Liepāja I	0,066	0,064	0,003	0,009	0,053	0,050	0,004	0,014	0,004	0,0037	0,0005	0,002	0,026	0,0251	0,0012	0,004	0,021	0,020	0,002	0,005	8,44	8,48	0,06	0,2
	0,062				0,047				0,003				0,024				0,019				8,52			
Furcelārija, Liepāja I	0,146	0,144	0,004	0,011	0,112	0,110	0,002	0,007	0,016	0,0157	0,0007	0,002	0,058	0,056	0,003	0,009	0,043	0,0422	0,0005	0,002	18,83	18,81	0,03	0,10
	0,141				0,109				0,015				0,053				0,042				18,79			
Citas sugas, Liepāja I	0,451	0,4514	0,0008	0,002	0,343	0,345	0,003	0,008	0,062	0,061	0,002	0,006	0,163	0,165	0,003	0,008	0,145	0,141	0,005	0,02	117,80	119	2	6
	0,452				0,346				0,059				0,167				0,138				120,47			
Kokotilus, Liepāja I	0,472	0,4732	0,0014	0,004	0,307	0,304	0,004	0,013	0,053	0,0531	0,0006	0,002	0,1479	0,1481	0,0004	0,0011	0,1112	0,113	0,003	0,008	50,54	50,9	0,5	2
	0,474				0,301				0,053				0,1484				0,1150				51,28			
Pūšļa fuks, Pāvilosta I	0,093	0,090	0,005	0,014	0,070	0,067	0,004	0,013	0,008	0,0070	0,0011	0,003	0,038	0,036	0,002	0,007	0,029	0,028	0,002	0,006	8,00	7,94	0,08	0,2
	0,087				0,064				0,006				0,034				0,026				7,88			
Citas sugas, Pāvilosta I	0,486	0,489	0,005	0,015	0,360	0,361	0,002	0,005	0,0656	0,0654	0,0003	0,0008	0,1864	0,1865	0,0002	0,0005	0,1503	0,147	0,004	0,013	78,657	78,9	0,4	1,2
	0,493				0,362				0,0652				0,1866				0,1444				79,220			
Kokotilus, Pāvilosta I	0,451	0,453	0,003	0,010	0,284	0,282	0,004	0,011	0,048	0,0470	0,0008	0,002	0,131	0,132	0,002	0,007	0,101	0,097	0,005	0,014	33,52	32,7	1,2	4
	0,455				0,279				0,046				0,134				0,094				31,88			
Furcelārija, Pāvilosta I	0,126	0,1256	0,0002	0,0005	0,09535	0,09536	0,00002	0,00005	0,013	0,01333	0,00012	0,0004	0,051	0,0501	0,0006	0,0019	0,040	0,0398	0,0004	0,0012	17,245	17,30	0,08	0,2
	0,126				0,09538				0,013				0,050				0,040				17,351			
Kopējā alģu biomas, Liepāja II	0,294	0,288	0,009	0,027	0,225	0,223	0,002	0,007	0,037	0,0369	0,0007	0,002	0,114	0,110	0,006	0,018	0,095	0,0942	0,0014	0,004	40,63	40,8	0,3	0,8
	0,281				0,221				0,036				0,106				0,093				41,00			
Kopējā alģu biomas, Pāvilosta II	0,329	0,3297	0,0010	0,003	0,250	0,253	0,004	0,012	0,045	0,0452	0,0009	0,003	0,138	0,135	0,005	0,014	0,111	0,1101	0,0014	0,004	61,31	60,6	1,1	3
	0,330				0,256				0,046				0,132				0,109				59,81			

Alģu sugas	Ta				Tl				Li				Sc				Ge				Y				
	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	DI, mg/kg	
Pūšļu fuks, Liepāja I	0,285	0,286	0,002	0,005	0,0030	0,00296	0,00007	0,0002	1,69	1,71	0,03	0,10	0,114	0,112	0,002	0,007	2,292	2,318	2,30	0,02	0,06	0,496	0,45	0,06	0,2
	0,287				0,0029				1,73				0,110				0,412								
Furcelārija, Liepāja I	0,296	0,291	0,007	0,02	0,0114	0,01138	0,00008	0,0002	1,74	1,70	0,06	0,2	0,157	0,15	0,02	0,05	2,843	2,720	2,78	0,09	0,3	0,827	0,78	0,07	0,2
	0,287				0,0113				1,65				0,136				0,734								
Citas sugas, Liepāja I	0,394	0,388	0,009	0,03	0,0202	0,0206	0,0005	0,002	4,42	4,37	0,07	0,2	0,718	0,80	0,12	0,4	5,666	5,647	5,656	0,013	0,04	2,152	2,11	0,06	0,2
	0,382				0,0209				4,33				0,892				2,067								
Kokotilus, Liepāja I	0,292	0,295	0,004	0,013	0,0184	0,0182	0,0002	0,0007	1,69	1,62	0,09	0,3	0,288	0,278	0,014	0,04	5,268	5,209	5,24	0,04	0,13	1,857	1,83	0,04	0,13
	0,298				0,0181				1,55				0,268				1,795								
Pūšļa fuks, Pāvilosta I	0,326	0,322	0,006	0,02	0,0035	0,0034	0,0002	0,0007	1,31	1,40	0,12	0,4	0,090	0,089	0,003	0,008	2,055	2,015	2,03	0,03	0,09	0,542	0,51	0,04	0,12
	0,317				0,0032				1,49				0,087				0,487								
Citas sugas, Pāvilosta I	0,211	0,210	0,002	0,007	0,0122	0,0125	0,0004	0,0013	4,64	4,59	0,07	0,2	0,8075	0,8072	0,0005	0,0014	5,224	5,300	5,26	0,05	0,2	2,303	2,27	0,05	0,2
	0,208				0,0129				4,54				0,8069				2,230								
Kokotilus, Pāvilosta I	0,495	0,487	0,011	0,03	0,0136	0,0137	0,0002	0,0005	1,67	1,71	0,06	0,2	0,304	0,27	0,05	0,15	5,086	5,084	5,085	0,002	0,006	1,707	1,73	0,03	0,11
	0,480				0,0138				1,75				0,234				1,756								
Furcelārija, Pāvilosta I	0,278	0,274	0,006	0,02	0,0045	0,0046	0,0002	0,0005	1,30	1,289	0,012	0,04	0,111	0,114	0,005	0,014	2,336	2,325	2,331	0,008	0,02	0,628	0,622	0,009	0,03
	0,269				0,0048				1,28				0,117				0,615								
Kopējā aļģu biomas, Liepāja II	0,292	0,293	0,002	0,006	0,0118	0,0116	0,0003	0,0009	2,15	2,19	0,05	0,2	0,33	0,316	0,013	0,04	3,37	3,28	3,32	0,06	0,2	1,43	1,423	0,005	0,02
	0,294				0,0114				2,22				0,31				1,42								
Kopējā aļģu biomas, Pāvilosta II	0,258	0,253	0,007	0,02	0,0129	0,0128	0,0003	0,0008	2,85	2,84	0,02	0,07	0,56	0,53	0,04	0,12	3,65	3,75	3,70	0,07	0,2	1,67	1,63	0,05	0,14
	0,248				0,0126				2,82				0,50				1,60								

Alģu sugas	Ni			Cu			Zn			Cd			Hg			Pb		
	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg
Zaļalģēs, Liepāja II	3,625	3,618	0,010	26,73	26,77	0,05	13,00	12,89	0,15	ZDR*	-	-	0,051	0,049	0,002	3,017	3,06	0,06
	3,611			26,81			12,79			ZDR*			0,047			3,097		
Furcelārija, Liepāja II	5,015	5,06	0,07	17,48	17,3	0,2	173,30	173,9	0,8	0,234	0,236	0,002	0,288	0,28	0,02	0,458	0,454	0,006
	5,108			17,21			174,50			0,237			0,263			0,450		
Kokotilus, Liepāja II	10,282	10,25	0,04	14,66	14,71	0,07	174,19	174,7	0,7	0,369	0,367	0,002	0,410	0,413	0,003	0,893	0,894	0,002
	10,223			14,76			175,21			0,366			0,415			0,896		
Citas sugas, Liepāja II	6,263	6,23	0,05	55,07	55,7	0,9	615,71	615,1	0,9	0,752	0,754	0,003	0,772	0,778	0,008	3,171	3,22	0,06
	6,192			56,27			614,43			0,757			0,783			3,262		
Zaļalģēs Pāvilosta II	6,017	5,98	0,05	23,12	23,11	0,02	14,19	14,16	0,05	0,368	0,374	0,009	0,045	0,043	0,003	2,415	2,48	0,09
	5,950			23,09			14,13			0,380			0,040			2,538		
Furcelārija, Pāvilosta II	7,430	7,40	0,04	16,17	16,3	0,2	151,12	150,7	0,7	0,385	0,378	0,011	0,287	0,285	0,002	1,030	1,02	0,02
	7,380			16,48			150,19			0,370			0,284			1,001		
Kokotilus, Pāvilosta II	11,459	11,52	0,09	12,37	12,34	0,03	145,86	145,2	0,9	1,721	1,723	0,002	0,410	0,41	0,003	0,848	0,845	0,004
	11,580			12,32			144,55			1,724			0,414			0,842		
Citas sugas, Pāvilosta II	8,319	8,28	0,05	43,13	42,6	0,8	515,26	514,8	0,7	1,688	1,694	0,008	0,714	0,708	0,007	3,074	3,09	0,03
	8,242			42,04			514,25			1,700			0,703			3,115		

ZDR - Zem detektēšanas robežas

Aļņu sugas	Na			Mg			Al			P			K			Ca		
	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg
Zaļalģēs, Liepāja II	0,182	0,186	0,006	4,754	5,2	0,7	0,944	0,89	0,08	0,044	0,048	0,005	3,365	3,5	0,2	0,296	0,32	0,04
	0,190			5,699			0,835			0,052			3,595			0,352		
Furcelārija, Liepāja II	0,948	0,88	0,09	7,338	6,8	0,8	0,114	0,103	0,015	1,191	1,16	0,05	16,046	16,6	0,7	1,034	1,11	0,10
	0,818			6,219			0,092			1,124			17,094			1,181		
Kokotilus, Liepāja II	0,652	0,66	0,02	4,828	4,75	0,11	0,209	0,213	0,006	0,523	0,515	0,012	9,236	8,7	0,7	4,338	4,8	0,6
	0,674			4,672			0,217			0,507			8,252			5,171		
Citas sugas, Liepāja II	0,423	0,40	0,03	2,840	2,77	0,09	1,344	1,25	0,14	0,742	0,73	0,02	11,997	11,98	0,03	1,331	1,31	0,03
	0,387			2,707			1,147			0,717			11,957			1,291		
Zaļalģēs Pāvilsta II	0,171	0,180	0,012	1,834	1,824	0,014	0,792	0,78	0,02	0,072	0,074	0,003	12,893	12,84	0,07	0,915	0,925	0,014
	0,188			1,814			0,758			0,076			12,796			0,935		
Furcelārija, Pāvilsta II	0,510	0,515	0,007	5,142	5,3	0,2	0,155	0,159	0,006	1,385	1,46	0,10	25,546	26,0	0,6	1,349	1,33	0,03
	0,520			5,427			0,163			1,531			26,442			1,307		
Kokotilus, Pāvilsta II	0,294	0,287	0,010	3,121	3,18	0,08	0,210	0,208	0,002	0,762	0,81	0,07	22,480	21,8	0,9	2,278	2,22	0,08
	0,280			3,237			0,207			0,867			21,175			2,159		
Citas sugas, Pāvilsta II	0,364	0,35	0,02	1,215	1,27	0,07	1,366	1,46	0,14	0,810	0,806	0,005	31,557	31,8	0,3	1,853	1,82	0,05
	0,333			1,321			1,563			0,803			31,977			1,786		

Aļņu sugas	V			Cr			Mn			Fe			Co			As		
	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg
Zaļalģēs, Liepāja II	7,332	7,43	0,13	5,630	5,57	0,08	45,12	45,5	0,5	10,215	10,4	0,3	1,140	1,09	0,07	2,370	2,40	0,04
	7,518			5,511			45,85			10,589			1,039			2,428		
Furcelārija, Liepāja II	1,555	1,62	0,09	0,321	0,34	0,03	77,46	77,8	0,5	0,359	0,357	0,002	0,594	0,597	0,003	4,368	4,376	0,012
	1,677			0,359			78,18			0,356			0,599			4,385		
Kokotilus, Liepāja II	2,047	2,06	0,02	0,937	0,96	0,03	237,50	237,9	0,6	0,773	0,780	0,010	1,337	1,346	0,013	3,919	3,90	0,02
	2,075			0,974			238,36			0,787			1,355			3,885		
Citas sugas, Liepāja II	7,676	7,59	0,12	4,603	4,57	0,04	190,10	189,9	0,2	3,327	3,34	0,02	1,693	1,66	0,04	2,395	2,387	0,011
	7,500			4,545			189,79			3,352			1,632			2,379		
Zaļalģēs Pāvilosta II	3,509	3,54	0,04	2,873	2,81	0,08	56,82	57,1	0,5	1,728	1,79	0,08	1,230	1,24	0,02	4,659	4,61	0,07
	3,563			2,755			57,47			1,848			1,260			4,559		
Furcelārija, Pāvilosta II	2,146	2,16	0,02	0,539	0,547	0,011	44,72	45,3	0,8	0,560	0,568	0,011	1,393	1,395	0,003	4,574	4,60	0,04
	2,172			0,555			45,85			0,576			1,397			4,631		
Kokotilus, Pāvilosta II	4,284	4,22	0,08	0,480	0,474	0,009	19,59	20,0	0,5	0,181	0,176	0,006	2,523	2,47	0,07	0,333	0,329	0,006
	4,165			0,467			20,32			0,172			2,425			0,324		
Citas sugas, Pāvilosta II	2,103	2,112	0,013	4,107	4,06	0,07	13,68	13,72	0,06	2,246	2,27	0,03	1,864	1,90	0,06	0,886	0,883	0,004
	2,121			4,011			13,76			2,295			1,946			0,881		

Alģu sugas	Se			Rb			Sr			Sb			Cs			Ba			La			Ce		
	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, g/kg	Wvid, g/kg	Sn, g/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg	W, mg/kg	Wvid, mg/kg	Sn, mg/kg
Zaļalģes, Liepāja II	0,771	0,773	0,002	26,274	26,20	0,10	8,254	8,4	0,2	21,325	21,37	0,07	2,451	2,455	0,006	58,881	58,7	0,2	7,930	7,92	0,02	15,391	15,35	0,06
	0,774			26,130			8,488			21,417			2,459			58,596			7,900			15,303		
Furcelārija, Liepāja II	0,146	0,148	0,002	11,243	11,236	0,010	76,158	76,4	0,3	1,452	1,454	0,003	0,057	0,056	0,002	24,362	24,365	0,005	0,236	0,241	0,008	0,492	0,497	0,007
	0,149			11,229			76,561			1,457			0,055			24,369			0,247			0,502		
Kokotilus, Liepāja II	0,354	0,356	0,003	6,270	6,260	0,015	385,650	385,70	0,07	1,763	1,765	0,002	0,034	0,036	0,003	35,484	35,55	0,09	1,438	1,430	0,010	2,428	2,46	0,04
	0,358			6,249			385,756			1,766			0,038			35,613			1,423			2,486		
Citas sugas, Liepāja II	0,772	0,774	0,004	4,829	4,821	0,011	57,335	57,5	0,3	3,652	3,655	0,005	0,251	0,255	0,005	41,395	41,31	0,12	2,211	2,20	0,02	3,931	3,91	0,03
	0,777			4,813			57,741			3,658			0,258			41,221			2,182			3,894		
Zaļalģes Pāvilo sta II	0,528	0,54	0,02	14,910	14,86	0,07	15,369	15,43	0,08	2,130	2,17	0,06	0,137	0,140	0,004	31,346	31,30	0,06	2,802	2,82	0,02	4,562	4,62	0,08
	0,561			14,810			15,486			2,210			0,143			31,256			2,831			4,670		
Furcelārija, Pāvilo sta II	0,158	0,156	0,003	16,351	16,36	0,02	78,446	78,6	0,3	1,616	1,610	0,009	0,030	0,032	0,002	27,722	27,81	0,12	0,508	0,511	0,005	1,065	1,12	0,08
	0,154			16,374			78,848			1,604			0,033			27,896			0,515			1,174		
Kokotilus, Pāvilo sta II	0,051	0,049	0,003	1,918	1,910	0,011	184,276	184,8	0,7	0,243	0,246	0,004	ZDR*	-	-	31,500	31,45	0,07	0,107	0,116	0,012	1,095	1,11	0,02
	0,047			1,902			185,297			0,249			ZDR*			31,408			0,124			1,126		
Citas sugas, Pāvilo sta II	0,434	0,42	0,03	5,817	5,83	0,02	51,911	51,89	0,02	1,445	1,47	0,03	0,286	0,284	0,002	7,548	7,546	0,003	2,457	2,459	0,003	4,276	4,277	0,002
	0,398			5,843			51,878			1,486			0,282			7,544			2,461			4,279		

ZDR - Zem detektēšanas robežas

Izotopu attiecība C un N izotopuun kopējais oglekļa un slāpekļa saturs dažādās jūras aļģu sugās

Alģes	m _{parauga} , mg	δ ¹⁵ N, ‰	Vid	Sn	δ ¹³ C, ‰	Vid	Sn	mN, mg	mC, mg	wN, %	Vid	Sn	wC, %	Vid	Sn
Pūšļa fuks, Liepāja I	4110	3,02	2,6	0,5	-27,78	-27,9	0,2	22,4	1362,9	0,54	0,47	0,10	33,16	33,155	0,007
	4190	2,26			-28,08			16,6	1388,9	0,40			33,15		
Citas aļģu sugas, Liepāja I	4390	5,14	5,0	0,2	-30,70	-31,0	0,5	125,3	1458,6	2,85	2,82	0,04	33,22	33,6	0,5
	4290	4,85			-31,37			119,9	1454,4	2,79			33,9		
Furcelārija, Liepāja I	4330	5,67	5,9	0,3	-30,70	-30,5	0,3	126,5	1442,8	2,92	2,83	0,13	33,32	33,4	0,2
	4210	6,06			-30,26			115,2	1413,4	2,74			33,57		
Kokotilus, Liepāja I	4120	5,44	5,34	0,15	-28,05	-28,08	0,03	142,5	1290,8	3,46	3,39	0,11	31,33	31,39	0,08
	4120	5,24			-28,10			136,2	1295,5	3,31			31,45		
Pūšļa fuks, Pāvilosta I	4220	2,19	2,08	0,15	-22,92	-23,4	0,6	23,6	1275,7	0,56	0,6	0,06	30,23	30,5	0,3
	4330	1,98			-23,78			27,6	1329,5	0,64			30,7		
Kokotilus, Pāvilosta I	4280	4,52	4,42	0,13	-27,16	-26,9	0,4	154,6	1282,8	3,61	3,65	0,05	29,97	29,7	0,4
	4260	4,33			-26,60			156,7	1254,7	3,68			29,45		
Citas aļģu sugas, Pāvilosta I	4450	4,59	4,63	0,06	-31,06	-30,9	0,2	119,9	1472,4	2,69	2,74	0,06	33,09	33,8	1,0
	4030	4,68			-30,71			112	1388,1	2,78			34,44		
Furcelārija, Pāvilosta I	4090	4,75	4,80	0,07	-29,79	-30,0	0,3	98,3	1359,9	2,4	2,5	0,2	33,25	33,0	0,3
	4360	4,85			-30,18			116,6	1431	2,68			32,82		
Kopēja aļģu biomasa, Pāvilostas II	4120	3,82	3,73	0,13	-29,59	-29,7	0,2	147	1346,1	3,57	3,53	0,06	32,67	32,5	0,3
	4320	3,64			-29,83			150,9	1394,7	3,49			32,28		
Kopēja aļģu biomasa, Liepāja II	4130	5,28	5,24	0,07	-26,72	-26,9	0,3	132,9	1282,6	3,22	3,29	0,09	31,05	31,3	0,4
	4270	5,19			-27,17			143,1	1349,4	3,35			31,6		

Maģistra darbs „Jūras krastā izskaloto aļģu biomasas ķīmiskā sastāva izvērtējums Kurzemes piekrastē” izstrādāts LU Ķīmijas fakultātes Analītiskās ķīmijas katedrā.

Ar savu parakstu apliecinu, ka pētījums veikts patstāvīgi, izmantoti tikai tajā norādītie informācijas avoti un iesniegtā darba elektroniskā kopija atbilst izdrukai.

Autors: _____ Džesika Butkus
(personiskais paraksts) (paraksta atšifrējums)

Rekomendēju darbu aizstāvēšanai

Vadītāja: Dr. chem., Vita Rudoviča: _____
(personiskais paraksts) (datums)

Vadītājs: Dr. chem., Oskars Bikovens: _____
(personiskais paraksts) (datums)

Recenzents: Mg. Chem. pētniece, Gunita Celma: _____
(personiskais paraksts) (datums)

Darbs iesniegts Ķīmijas fakultātē: _____ (datums)

Dekāna pilnvarotā persona, metodiķe: _____ Ilze Gaile
(personiskais paraksts) (datums)

Darbs aizstāvēts maģistra gala pārbaudījuma komisijas sēdē:

_____ protokols Nr. _____
(datums) (protokola Nr.)

Komisijas sekretāre, lektore: _____ Zenta Balcerbule
(personiskais paraksts) (datums)