

“Aļģu biomasas izmantošanas iespēju analīze Rīgas plānošanas reģiona piekrastē” (ID Nr. RPR/2018/5/SBR)

Pētījumu ziņojuma

Gala ziņojums

Pasūtītājs:

Rīgas plānošanas reģions
Reģ. Nr. 90002222018,
Zigfrīda Annas Meierovica bulvāris 18, Rīga, LV-1050,
tālr. +371 67226430,
fakss +371 67226431,
e-pasts: rpr@rpr.gov.lv

Izpildītājs:

Latvijas Valsts Koksnes ķīmijas institūts

Rīga,
31.01.2019.

Saturs

KOPSAVILKUMS.....	3
ABSTRACT	4
IEVADS	5
Darba uzdevumi.	7
EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA	9
REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS	12
2. Izskaloto aļģu savākšana un to raksturojums	12
3. Aļģu kompostēšana (WP1).....	15
3.1. Komposta izejvielu savākšana un raksturošana	15
3.2. Kompostēšana	18
3.3. Kompostu rakturošana	23
3.4. Pūšļu fuka ietekme uz augiem.....	29
4. Pūšļu fuka ekstrakcija (WP2)	32
SECINĀJUMI	39
PATEICĪBA	40
IETEIKUMI	41
Literatūras saraksts:	44
PIELIKUMS.....	47

KOPSAVILKUMS

Pētījumā veikta Baltijas jūras Rīgas līča krastā izskalotās aļģu biomasas botāniskā sastāva izpēte, fizikāli-ķīmiskais un ķīmiskais raksturojums un izvērtētas izskalotās aļģu biomasas izmantošanas iespējas. Darbā veikta izskaloto aļģu biomasas kompostēšana un salīdzinātas dažādas komposta kompozīcijas ar aļģēm, zāli un zāģskaidām. Izvērtēta izskaloto aļģu un aļģu komposta pielietojanas iespēja lauksaimniecībā un to atbilstība Latvijas Republikas Ministru kabineta noteikumiem un Eiropas Komisijas regulām. Noskaidrots, ka izskalotās brūnaļģes var izmantot lauksaimniecībā kā bioloģisko mēslojumu. Izskalotās zaļāļģes un brūnaļģes var kompostēt kopa ar zāli un zāģskaidām. Iegūtais aļģu komposts ir salīdzināms pēc barības vielu satura ar tirgū esošiem kompostiem. Izstrādāts pagaidu tehniskais reglaments aļģu biomasas kompostēšanai. Lai izvērtētu iespēju no izskalotām brūnaļģēm iegūt ekstraktvielas ar augstu pievienotu vērtību, tika veikta izskalotā pūšļu fuka ekstrakcija un raksturoti iegūtie ekstrakti. Perspektīvākais pūšļa fuka ekstrakcijas produkts ir sulfurētais polisaharīds fukoidāns. Ir uzsākti pētījumi par fukoidāna ietekmi uz cilvēka gremošanas fermentu sistēmu, sadarbībā ar Rīgas Stradiņa universitāti.

Pētījuma ziņojums satur 18 attēlus, 16 tabulas, 1 pielikums ar 4 attēliem. Kopā 48 lpp. Uzrakstīts latviešu valodā.

ABSTRACT

The botanical composition, physical-chemical and chemical characterization of algae biomass washed ashore the Gulf of Riga in the Baltic Sea, were investigated in this study, and application possibilities of the washed out algae biomass were evaluated. The composting of the washed out algae biomass was performed, and different compost compositions with algae, grass and sawdust were compared. Application possibilities for the washed out algae and algae compost in agriculture, and their correspondence to the Regulations of the Cabinet of Ministers of the Republic of Latvia and Regulations of the European Commission, were evaluated. It was found that washed out brown seaweed could be used in agriculture as an organic fertilizer. Washed out green algae and brown seaweed could be composted with grass and sawdust. The compost obtained in this work is comparable by nutrients content with the composts available on the market. Temporary technical regulations for algae biomass composting are elaborated. To evaluate the possibility of obtaining extracts with high added value from washed out algae, the extraction of the washed out *Fucus Vesiculosus* was performed and the obtained extracts were characterized. The most promising *Fucus Vesiculosus* extraction product is sulphonated polysaccharide fucoidan. The research work on the effects of fucoidan on the human digestive enzyme system was started in collaboration with the Riga Stradins University.

IEVADS

Teorētiskā daļa (state-of-art).

Latvijas bioekonomikas stratēģija nosaka, ka nepieciešams pārdomātā veidā izmantot pieejamos dabas resursus, tostarp jūras aļģes, kas pašlaik ir viens no nepilnīgi izmantotajiem dabas resursiem (Latvijas Bioekonomikas stratēģija 2030). Atpūtas vietās peldēšanas sezonas laikā (līdz 15. septembrim) vietējām pašvaldībām ir jāsavāc izskalotās aļģes, kā to nosaka ES direktīva 2006/7/EC. Ik gadu Latvijas krastos tiek izskalotas tūkstošiem tonnu jūras aļģu. Tiek izskalotas gan viengadīgās, gan daudzgadīgās sārtaļģes (piem., *Furcellaria lumbricalis*, *Ceramium* spp.), brūnaļģes (*Fucus vesiculosus*) un zaļāļģes (piem., *Cladophora* spp., *Enteromorpha intestinalis*). Aļģu biomasas kvantitatīvie novērtējumi Rīgas līcī tika veikti 20. gs. septiņdesmitajos gados (Martin *et al.*, 2004). Kopējais aļģu biomasas novērtējums Rīgas līča dienvidu daļā sastādīja 86 271 t. Dominējošā aļģe Rīgas līcī bija pūšļu fuks (*Fucus vesiculosus*) – līdz 90% no biomasas. Salīdzināšanai, pūšļu fuka biomasas krājumi Igaunijas piekrastē tiek novērtēti pat līdz 500 tūkstošiem tonnu (Truus *et al.*, 2001), taču jāņem vērā, ka Igaunijas krasta līnija ir apmēram 3,8 tk km gara un ievērojami pārsniedz Latvijas krasta līniju. Latvijā lielāka vērība tika pievērsta furcelāriju (*Furcellaria lumbricalis*) krājumiem Baltijas jūras Kurzemes piekrastē. Latvijas PSR furcelārijas izmantoja agara ražošanā, kolhozā “Nākotne”, Glūdā, Dobeles rajonā. Ražošana tika slēgta 90. gadu sākumā. Acīmredzot cēloņi bija gan ekonomiskie, gan ekoloģiskie. Pēc naftas tankeru avārijas 1979. g. Ventspils “Antonio Gramshi” un 1981. g. Klaipēda “Globe Asime” furcelāriju daudzums samazinājās no 84 tk t (1978. g.) līdz 15 tk t (1990. g.) (Korolev *et al.*, 1993; Korolev, A. & Fetter, M., 2004). Jaunākie pētījumi par jūras aļģu sanesumiem, kas veikti biedrības “Baltijas krasti” pētījumā “Jūras aļģu sanesumu izvērtēšanas un apsaimniekošanas plans Latvijas piekrastē” parādīja, ka izskaloto aļģu sanesumu izkliede Baltijas jūras Latvijas piekrastē ir ļoti nevienmērīga un grūti prognozējama. Pētījums parādīja, ka aļģu sanesumu daudzums ir atkarīgs no valdošo vēju stipruma un virziena. Rīgas līcī dominē brūnaļģes (*Fucus vesiculosus*) un zaļāļģes (*Cladophora* spp. un *Enteromorpha* spp.). Kā biežākās aļģu izskalošanas vietas Rīgas līcī minētas Salacgrīva, Saulkrasti, Jaunķemeri, Mēlūži un Lapmežciems. Izskaloto aļģu apjomi svārstās plašās robežās no 0 līdz 112 m³/100 m Rīgas līcī un līdz pat 220 m³/100 m Kurzemē atklātās jūras krastā (Balode & Strāķe, 2018). Atstājot aļģes krastmalā vai kāpās, notiek organisko vielu uzkrāšanās augsnē, kas izraisa nevēlamu sukcesiju - piejūras priežu silos ienāk pamežs un lapkoki, savukārt smilšainās pludmales aizaug.

Pasaulē plaši izmanto jūras aļģes. Kopējais ūdens augu patēriņš 2016. gadā Pasaulē sastādīja 31,2 mlj t. Lielāko daļu (96,5%) no šiem ūdens augiem audzē

akvakultūrās (FAO, 2018). Alģes plaši lieto pārtikā, dzīvnieku barībā, kā mēslojumu, kosmētiku un farmācijā. Visplašāk pārtikā alģes izmanto Ķīnā, Japānā un Korejā, taču to popularitāte pieaug arī citās pasaules daļās.

Gadsimtiem ilgi piekrastes iedzīvotāji izmanto izskalotās jūras alģes kā dabīgo mēslojumu (“jūras mēsli”), kas satur augiem nepieciešamās barības vielas - slāpekli, fosforu, kāliju, kā arī mikroelementus. Taču to tūlītēja izmantošana pēc alģu izskalošanas krastā ne vienmēr ir iespējama. Alģu uzglabāšana ir saistīta ar nepatīkamu smaku un šķidro frakciju izdalīšanos no alģēm, kas veicina piekrastes ūdeņu eutrofikāciju. ANO Pārtikas un lauksaimniecības organizācija iesaka izskalotas *Fucus* ģints brūnālģes izzāvēt, samalt un izmantot kā augsnes mēslošanas un ielabošanas līdzekli (FAO, 2003). Alternatīvs, plaši izmantots paņēmiens izskaloto alģu apstrādei ir kompostēšana. Kompostēšana ir aerobs, eksotermisks process, kurā jaukta mikroorganismu asociācija pārstrādā organiskos atkritumus (piem., alģes) līdz humificētam galaproduktam – kompostam un minerālvielām (oglekļa dioksīdam CO₂ un ūdenim H₂O). Alģu biomasu, salīdzinot ar augstāko augu biomasu, satur salīdzinoši maz oglekļa un oglekļa-slāpekļa (C/N) attiecība alģēs ir zema. Šāda biomasu ātri sadalās, un var notikt slāpekļa savienojumu zudumi NH₃ emisijas rezultātā. Tas, savukārt, izraisa nepatīkamo smaku. Lai stabilizētu šādu biomasu mēs piedāvājam alģes kompostēt kopā ar nopļauto zāli un zāģskaidām, šādi palielinot komposta kompozīcijas C/N attiecību. Biežāk minētās alģu kompostu problēmas ir to sāļums, smilšu klātbūtne un smago metālu saturs (Michalak and Chojnacka, 2013). Nopļautās zāles un zāģskaidu pievienošana “atšķaidīs” alģu kompostu un palīdzēs novērst šīs problēmas. Jāatzīmē, ka kompostēšanas laukumu iekārtošanai nav vajadzīgi lieli kapitālieguldījumi, salīdzinot, ar biogāzes iegūšanu no alģēm. Turklāt kompostēšanu var viegli mērogot atkarībā no izskaloto alģu daudzuma.

Mūsdienās pasaulē no jūras alģēm tiek ražoti apmēram 15 miljoni tonnu dažādu produktu, tajā skaitā 250 tk t alģu ekstraktu (Michalak and Chojnacka, 2013). Alģes satur maz tauku, dažādas minerālvielas, vitamīnus, zemmolekulāros savienojumus, olbaltumvielas un polisaharīdus (Rioux & Turgeon, 2015). Polisaharīdi veido vidēji pusi no alģu biomasas. Pazīstamākie alģu ķīmiskās pārstrādes produkti ir dažādi polisaharīdi – hidrocoloīdi. Pārtikā tiek izmantoti alģu hidrocoloīdi – agars (E406), karagināns (E407), furcellarāns (E408) un algināti (E400-405), kas nodrošina produktu struktūras īpašības (emulgatori, biezinātāji un stabilizētāji). Kopējais pārdoto hidrocoloīdu apjoms pasaules tirgū ik gadu pieaug un tuvojas 100 tūkstošiem tonnu gadā un to vidējā cena sastāda no 9 USD/kg karaginānam līdz 17 USD/kg agaram (Porse and Rudolph, 2017). Pārtikas alginātu cena 2015. gadā vidēji sastādīja 14 USD/kg un ir atkarīga no to kvalitātes. Alginātu kvalitāti nosaka guluronskābes klātbūtne alginātā – palielinoties guluronskābes saturam palielinās algināta gēla izturība. Pašreiz alginātu ražošana koncentrējās Ķīnā, kur

alginātu iegūšanai speciāli audzē akvakultūras - brūnaļģes *Laminaria japonica*. Nelielu daudzumu alginātu ražo arī Norvēģijā, Francijā un Čīlē. Rūpnieciski alginātus iegūst arī no *Lessonia*, *Ascophyllum*, *Macrocystis*, *Durvillaea* un *Eclonia* ģinšu brūnaļģēm (Porse and Rudolph, 2017). Latvijas krastos bieži sastopamā brūnaļģe pūšļu fuks *Fucus vesiculosus*, tāpat kā *Ascophyllum spp* pieder pie *Fucaceae* dzimtas. Alginātu saturs pūšļu fukam ir zemāks salīdzinot ar iepriekš minētām rūpnieciski izmantotajām brūnaļģēm. Kā parāda krievu zinātnieku pētījumi alginātu saturs Barenca jūras pūšļu fukā var mainīties plašās robežās no ~ 24% augustā līdz ~ 8,5% aprīlī (Obluchinskaya *et al.*, 2002). Pūšļa fuka alginātu var izmantot, piemēram, zivju konservu ražošanai (Sokolan *et al.*, 2018).

Pūšļu fuks satur arī bioloģiski aktīvas vielas. Pazīstamākais ir sulfūrētais polisaharīds fukoidāns, kam ir aprakstītas antikoagulanta, antitrombotiskās, pretiekaisuma, antivirālās un citas īpašības (Ponce *et al.*, 2003). Tas padara to par perspektīvu produktu farmācijas vajadzībām. Aļģu ekstrakti tiek plaši izmantoti arī kosmētikā. Kosmētikā var izmantot arī Rīgas līcī biežāk sastopamo aļģes kladaforu (*Cladophora glomerata*) (Fabrowska *et al.*, 2017) un pūšļu fuku ekstraktus. Pūšļu fuka ekstrakti ir izmantoti kā antioksidanti pretnovecošanās kosmētikā (Ariede *et al.*, 2017). Iegūstot vienlaicīgi vairākus produktus ar augstu pievienoto vērtību no pūšļu fuka, varētu padarīt ekonomiski pievilcīgu tā savākšanu, attīrīšanu un pārstrādāšanu.

Datu ieguves un analīzes metodes. Lai veiksmīgi realizētu pētījumu, vispirms jāveic izvēlēto pašvaldību (Engures, Jūrmalas, Carnikavas un Saulkrastu) pludmales apsekošana un reprezentatīvo aļģu paraugu ievākšana. Aļģu vākšana kompostēšanai tiks koordinēta ar pašvaldības atbildīgajām personām.

Pētījuma mērķis. Izstrādāt ieteikumus izskaloto aļģu izmantošanai jaunu produktu ražošanai. Turpmākais darbs tiks sadalīts divās darba paketēs: 1. darba pakete (1WP) – “Kompostēšana” un 2. darba pakete (2WP) – “Ekstrakcija”. 1 WP “Kompostēšana” tiks izmantota nešķirota aļģu biomasa.

Darba uzdevumi

- Apsekot Engures, Jūrmalas, Carnikavas un Saulkrastu pludmales un veikt paraugu ievākšanu;
- Noteikt savākto jūras aļģu botānisko sastavu;
- Ekstrakcijas vajadzībam sašķirot aļģes;
- Izpētīt aļģu fizikāli-ķīmiskās īpašības – beramais svars, mitrums, pH, elektrovadītspēja, kas ir būtiski kompostēšanai;

- Izpētīt aļģu ķīmisko sastāvu. Noteikt elementsastāvu N, C, H, S, P, K un smagos metālus, kuru saturu reglamentē likumdošana (Cd, Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Hg). Noteikt komponentu sastāvu – oglekļahidrātus, ekstraktvielas, neorganiskos savienojumus jeb pelnus;
- Sastādīt komposta kompozīcijas ar aļģem un veikt kompostēšanu;
- Izpētīt aļģu komposta ķīmisko sastāvu. Raksturot aļģu komposta humifikaciju.
- Sagatavot kompostēšanas pagaidu tehnisko reglamentu.
- Veikt pūšļa puka ekstrakciju un raksturot galvenos produktus.

EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

Paraugu savākšana. Saskaņā ar pētījuma tehnisko specifikāciju tika apsektas Saulkrastu, Carnikavas, Jūrmalas un Engures novada Lapmežciema pludmales. Manuāli tika savākti izskaloto aļģu paraugi. Kompostēšanai tika izmantotas Jūrmalas pašvaldības savāktās aļģes (mehāniskā savākšana). Salīdzināšanai 2018. gada 2. novembrī Lapmežciemā tika paņemts aļģu paraugs, kas savākts ar speciālu jūras zāļu vācēju “Surf Race”.

Paraugu botāniskā sastāva noteikšana. Aļģu sugu identifikāciju pēc to morfoloģiskām īpašībām veica *Dr. biol.* Ingrīda Puriņa.

Mitruma noteikšana. Gravimetriski pēc žāvēšanas pie 105 °C, izmantojot mitruma noteicēju KERN DBS.

Pelnu noteikšana. Gravimetriski pēc parauga pārpelnošanas pie 575±25 °C 3 h mufelkrāsnī Carbolite.

pH noteikšana. pH tika noteikts 0,1 M KCl šķīdumā. Substrāta ekstrahenta attiecība 1:10.

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

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

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

Metālu noteikšana ar AAS. Paraugi mineralizēti atbilstoši LV standartam LVS ISO 11466:1995.

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

Paraugu termogravimetriskā analīze. Termogravimetriskā analīze tika veikta Mettler Toledo Star System TGA/STDA 851e aparātā slāpekļa atmosfērā. Sildīšanas ātrums 10°C•min⁻¹.

Paraugu ekstrakcija ar paātrināto šķīdinātāja ekstrakciju. Paātrinātā šķīdinātāja ekstrakcija tika veikta ar ASE 350, Dionex aparātu pie 90 °C un spiediena 10 MPa, inertā (slāpekļa) atmosfērā.

Hromatogrāfiskā ekstraktu analīze (UHPLC-ESI-MS/MS). Ekstrakti tika analizēti ar Acquity UPLC hromatogrāfisko sistēmu (Waters Corp., Singapore), kas savienota ar TOF-MS detektoru (UPLC/Synapt Q-TOF MS, Waters, Milford, MA, USA) ar elektronjonizācijas (ESI) avotu. Ekstrakta hromatogrāfiskai sadalīšanai tika izmantota UHPLC BEH C18 kolonna (2.1 mm × 50 mm i.d., 1.7 μm) (Waters Acquity).

Ekstraktu antioksidantās aktivitātes noteikšana ar DFPH• radikāļu inhibēšanas metodi. Antioksidantās aktivitātes noteikšanai izmanto $1 \cdot 10^{-4}$ mol·L⁻¹ DFPH• šķīdumu metanolā. Antioksidantās aktivitātes noteikšanai pagatavo noteiktas koncentrācijas analizējamo paraugu, kuru izšķīdina dimetilsulfoksīdā un pievieno pie 3,0 mL DFPH• šķīduma. Pēc 15 min mēra maisījuma absorbciju (A) pie $\lambda = 515$ nm. Kā salīdzināšanas šķīdumu izmanto metanolu (Lauberts, 2018).

Neitrālo cukuru noteikšana. Pētāmo paraugu ogļhidrātu monomēru sastāvu nosaka pēc modificētas alditola acetāta metodes (Blakeney *et al.*, 1983). Pētāmam paraugam (apmēram 10 mg) pievienoja 72% sērskābi. Pēc 2 h sērskābi atšķaidīja līdz 3-4 % un veica polisaharīdu hidrolīzi 3 h pie 102 °C. Pēc hidrolīzes šķīdumu atdzesē, neitralizē ar amonija hidroksīda šķīdumu un pievieno iekšējo standartu – metil α -D-glikopiranozi. Monosaharīdus reducēja līdz attiecīgiem alditoliem, alditoli tika acetilēti un to saturu noteica ar gāzes hromatogrāfu (Agilent 6850 Series GC System ar TC17 kolonnu). Kā standarti tika izmantoti - ramnoze, fukoze, arabinoze, ksiloze, galaktoze, mannoze un glikoze.

Uronskābju noteikšana. Aļģu hidrokoloidi vispirms tiek hidrolizēti ar sērskābi līdz attiecīgām uronskābēm, un to kvantitatīvai noteikšanai tiek izmantota krāsainā reakcija starp uronskābēm un *meta*-hidroksidifenilu un sulfamīnskābi tetraborāta klātbūtnē. Krāsaina produkta intensitāti mēra pie 525 nm, izmantojot spektrometru “*Lambda 25*” (Perkin Elmer Ltd). Kā standartu izmanto glikuronskābi (Melton and Smith, 2005).

Humīnskābju izdalīšana no komposta. Humusvielu ekstrakciju veic saskaņā ar Starptautiskās Humusvielu savienības rekomendācijām. Kompostu ekstrahē ar 0,1 M NaOH šķīdumu, istabas temperatūrā (20-22 °C) 24 h inertā atmosfērā, izmantojot laboratorijas kratītāju. Pēc ekstrakcijas paraugu centrifugē (6000 apgr./min) un filtrē. Ekstraktu paskābina ar 4 M HCl līdz pH 1,5. Humīnskābju nogulsnes centrifugē un mazgā ar demineralizētu ūdeni līdz neitrālai pH reakcijai (Tan, 2005).

UV spektru uzņemšana. Kompostu ekstraktiem 0,1 M NaOH šķīdumā uzņēma UV-VIS spektrus diapazonā no 200 nm līdz 700 nm, izmantojot “*Lambda 25*” (Perkin Elmer Ltd) spektrometru.

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

Kompostēšana. Kompostēšana tika veikta SIA “Zeltābele” kompostēšanas telpās, kas iekārtotas bijušajās mehāniskajās darbnīcās. Komposta kompozīcijas tika sastādītas no Jūrmalas pludmalē savāktām aļģēm, zāģskaidām un zāles.

Komposta kaudzēm tika pievienots speciāli sagatavots sējmaterials (no 0,5 līdz 2 litri uz kaudzi), kas saturēja 4 baktēriju celmus (*Pseudomonas* spp., *Nitrosomonas* spp., *Nitrobacter* spp. un *Sarcina* spp.) un 2 sēņu celmus (*Trichoderma lignorum* un *Trichoderma viride*). Sējmateriālu sagatavoja Latvijas Universitātes Mikrobioloģijas un Biotehnoloģijas institūta darbinieki (Zariņa and Utinans, 2003).

Bioloģiskās pārbaudes.

OxiTop metode biodegradēšanas noteikšanai. Lai noteiktu aļģu biomasas organisko vielu biodegramējamību tika izmantota OxiTop metode. Šīs metodes balstās uz spiediena mērīšanu slēgtā sistēmā. Mikroorganismi patērē skābekli veidojot CO₂. CO₂ absorbē NaOH, veidojot retinājumu, kurš var tikt mērīts kā BSP (bioloģiskā skābekļa patēriņš) rādītājs (mg/L). Kā augsnes substrāts tika izmantotas izkarsētas smiltis. Mērījumiem tika izmantots parauga daudzums 20 g/kg. Katras slēgtās sistēmas parauga tilpums tika izvēlēts 100g. http://site.iugaza.edu.ps/nkaheil/files/2016/09/Lab_9.pdf.

Mikrobioloģiskās pārbaudes. Mikroorganismu *Escherichia coli* un *Enterococci* koloniju veidojošās vienības uz gramu komposta noteiktas saskaņā ar LVS ISO 16649-2:2007 un LVS EN 15788:20101 standartiem.

REZULTĀTI UN TO IZVĒRTĒJUMS

1. Izskaloto aļģu savākšana un to raksturojums

Izskaloto aļģu paraugi tika savākti laika posmā no 18. septembra līdz 2. novembrim 2018. gadā pēc ekspedīcijām Saulkrastu, Carnikavas, Jūrmalas un Engures novada Lapmežciema pludmalēs. Manuāli tika savākti izskalojie aļģu paraugi Saulkrastu un Jūrmalas pludmalēs. Kompostēšanas vajadzībām tika izmantotas septembra beigās Jūrmalas pašvaldības mehāniski savāktās izskalojās aļģes. Salīdzināšanai Lapmežciemā 2018. gada 2. novembrī tika paņemts aļģu paraugs, kas savākts ar speciālu jūras zāļu vācēju “Surf Race” (Pielikums, 1. attēls). Carnikavas pludmalē netika savākti paraugi, jo ekspedīciju laikā pludmalē nebija aļģu sanesumi, taču pludmalē tika novērota izskalojā koksne.

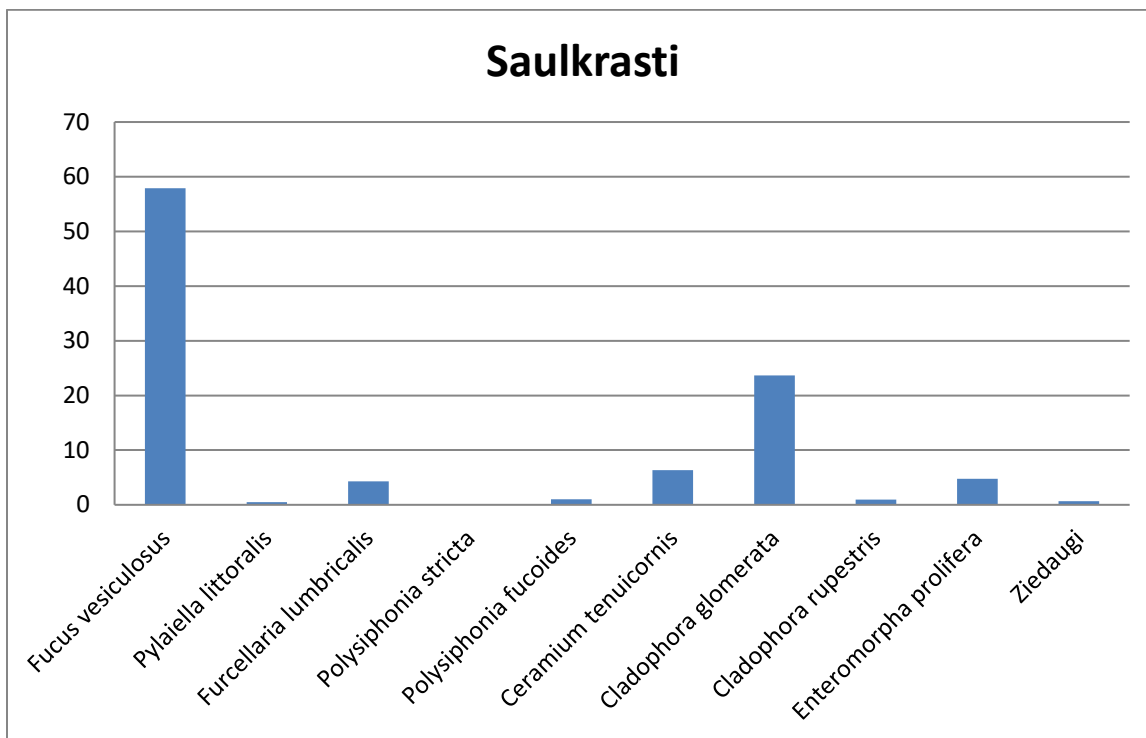
Izskaloto aļģu savākšanas metode būtiski ietekmē smilšu piemaisījumu daudzumu savāktajā biomasā. Neorganisko piemaisījumu (pelnu) saturs mehāniski vācot aļģes sastādīja līdz pat 79,2% no savāktās aļģu biomasas. Salīdzināšanai, mazgātām zaļajām aļģēm (*Cladophora* spp.) pelnu saturs ir 24,7%, bet pūšļu fukam 17,3% no sausnes. Jāatzīmē, ka speciālā jūras zāļu vācēja izmantošana nedaudz samazina smilšu daudzumu savāktajā biomasā, bet neatrisina smilšu problēmu (pelns saturs 65%).

Savāktās aļģes tika sadalītas pēc to anatomiskām pazīmēm pa nodalījumiem un sugām: brūnajām aļģēm (*Phaeophyta*), sārtaļģēm (*Rhodophyta*) un zaļajām aļģēm (*Chlorophyta*). Kopumā tika identificētas 9 makroaļģu sugas.

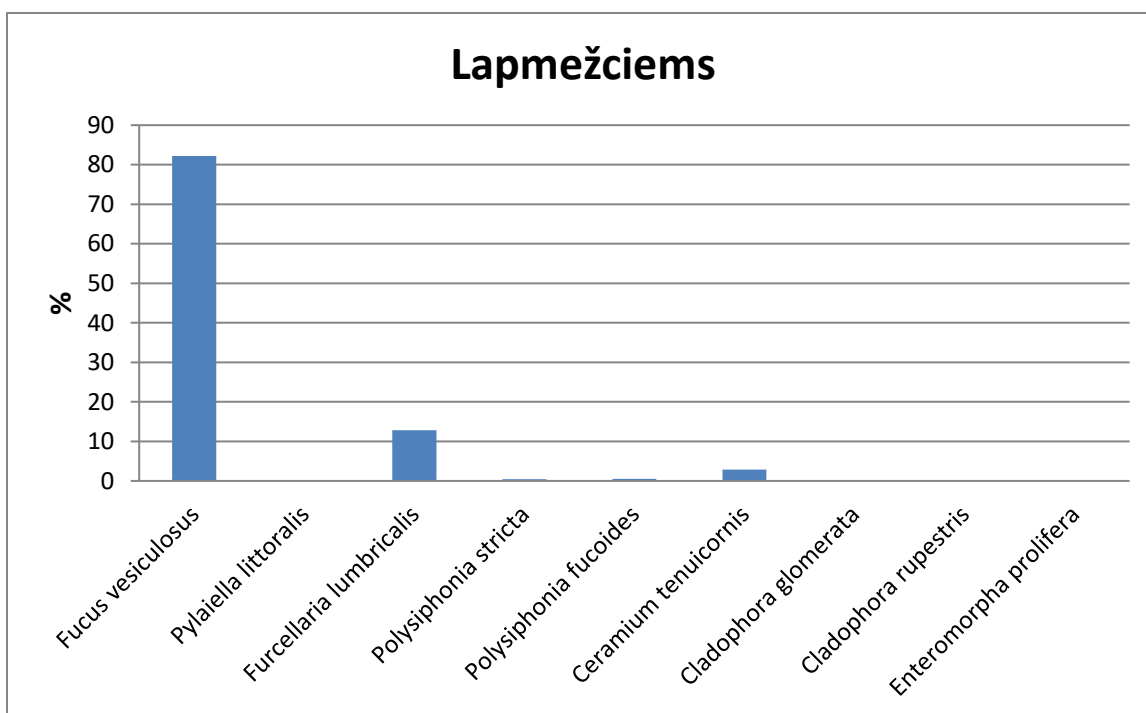
- Brūnajām aļģēm:
 - *Fucus vesiculosus*
 - *Pyraliella littoralis*
- Sārtaļģēm:
 - *Furcellaria lumbricalis*
 - *Polysiphonia stricta*
 - *Polysiphonia fucooides*
 - *Ceramium tenuicornis*
- Zaļajām aļģēm:
 - *Cladophora glomerata*
 - *Cladophora rupestris*
 - *Enteromorpha prolifera*

Dažādās pludmalēs, dažādās dienās savāktos izskalotos aļģu botāniskais sastāvs būtiski atšķīrās (skat. 1.-4. attēlu). Visvairāk savāktās aļģes bija daudzgadīgā brūnajā aļģē pūšļu fukā (*Fucus vesiculosus*) un viengadīgā zaļajā aļģē *Cladophora glomerata*. Rūpnieciski nozīmīgo sārtaļģu *Furcellaria lumbricalis* daudzums bija neliels.

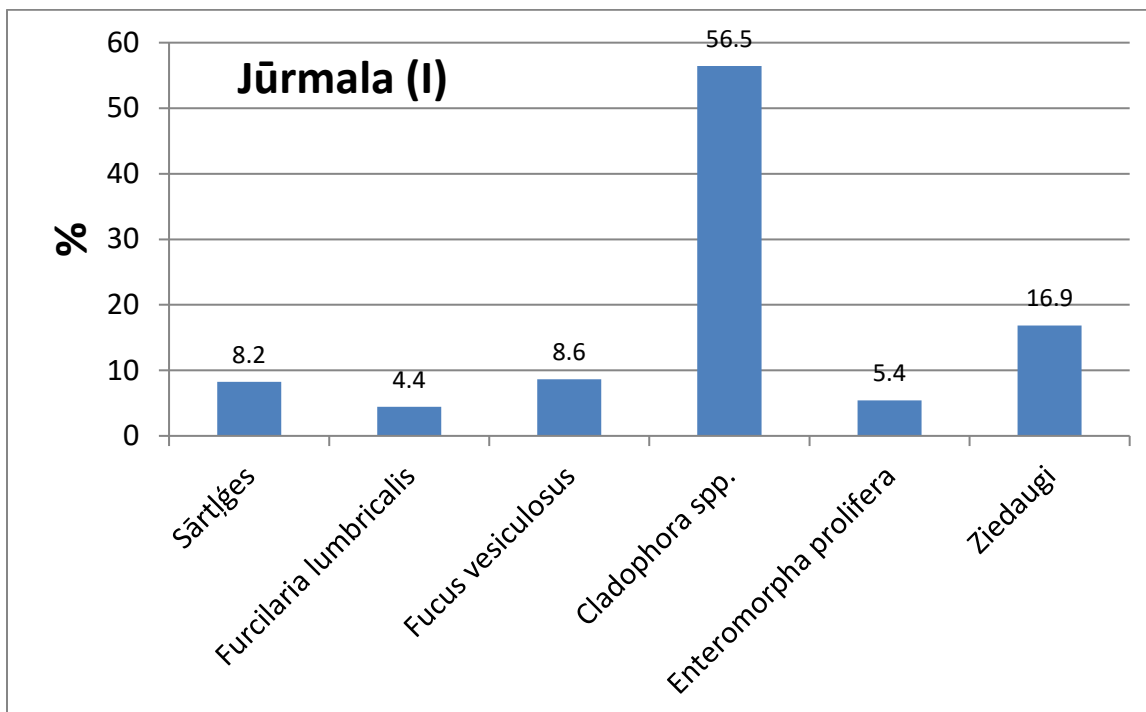
Literatūras apskats parādīja, ka pūšļu fukā ir perspektīva izejviela dažādu produktu ar augstu pievienoto vērtību ekstrahēšanai. Savāktos aļģu botāniskā sastāva analīze apstiprināja, ka pūšļu fukā ir viena no visvairāk rudenī izskalojamiem aļģēm. Respektīvi, Latvijā ir pietiekami lieli pieejamie pūšļu fuka apjomi tā pārstrādei.



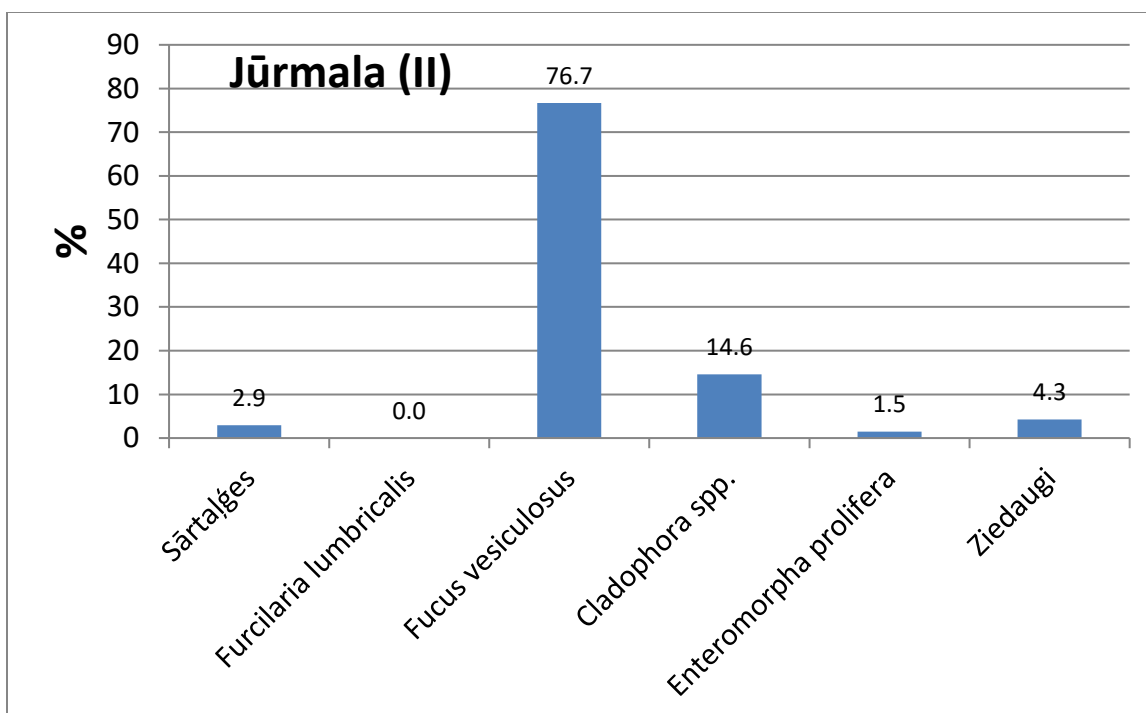
1. attēls. Saulkrastos izskaloto aļģu botāniskais sastāvs (% no sausnes)



2. attēls. Lapmežciemā izskaloto aļģu botāniskais sastāvs (% no sausnes)



3. attēls. Jūrmalā izskaloto “zaļāļģu” botāniskais sastāvs (% no sausasnes)



4. attēls. Jūrmalā izskaloto “brūnāļģu” botāniskais sastāvs (% no sausasnes)

Mūsu iepriekšējos eksperimentos 2018. gada 30. jūlijā tika savākti izskaloto aļģu paraugi akmeņainajā Kaltenes pludmalē (Rojas novads), kur pūšļu fuka saturs sastādīja >95% (skat. Pielikums 1. attēls). Diemžēl nevienā no apsekotajām smilšainām pludmalēm rudenī nevarēja savākt aļģu paraugu ar tik homogēnu aļģu sastāvu. Maksimālais pūšļu fuka saturs sastādīja 82 % Rīgas līča rietumu krastā Lapmežciema pludmalē. Tas parāda biomasas nehomogenitāti. Pirms aļģu ekstrakcijas ir nepieciešama ne tikai to mazgāšana no smiltīm, bet arī šķirošana.

Viena no kompostēšanas priekšrocībām ir tā, ka var pārstrādāt vienlaicīgi visas savāktās aļģes. Nav nepieciešama to šķirošana un mazgāšana. Kompostēšanai tika izmantotas Jūrmalā savāktās aļģes. Ņemot vērā atšķirīgo botānisko sastāvu atsevišķi tika kompostēta aļģu biomasas, kurā dominēja zaļāļģes (3. attēls) un brūnāļģes (4. attēls).

2. Aļģu kompostēšana (WP1)

2.1. Komposta izejvielu savākšana un raksturošana

Kompostēšanai izskalojās aļģes tika savāktas Jūrmalas pludmalē 2018. gadā 29.-30. septembrī saskaņojot aļģu vākšanu ar Jūrmalas pilsētas domes Attīstības pārvaldes Vides nodaļu. Peldēšanas sezona 2018. gadā beidzās 15. septembrī un turpmākā izskaloto aļģu vākšana Jūrmalā notiek pēc to sanesumu uzkrāšanās pludmalē. Kopumā tika savākti 4 m³ izskaloto aļģu. Puse savākto aļģu tika apzīmēta kā “Jūrmalas brūnāļģes”, jo to sastāvā dominēja pūšļu foks (*Fucus vesiculosus*), bet otra puse tika apzīmēta kā “Jūrmalas zaļāļģes”, jo to sastāvā dominēja kladaforas (galvenokārt, *Cladophora glomeratus*).

Savāktām aļģēm tika noteikts beramais svars un mitrums, kas ir svarīgi tehnoloģiskie parametri. 2.1. tabulā redzams, ka izskaloto zaļāļģu beramais svars ir ievērojami lielāks. Bioloģiskā skābekļa patēriņa (BSP) parāda organisko vielu biodegradējamību. BSP noteikšanai tika izmantota OxiTop metode noteikšanai, lai noteiktu aļģu biodegradējamību. Savstarpēji salīdzinot savākto Jūrmalas zaļāļģu un brūnāļģu bioloģisko skābekļa patēriņu varam sagaidīt, ka zaļāļģes sadalīsies ātrāk, nekā brūnāļģes.

2.1. tabula. Komposta izejvielu beramais svars, biodegradējamība un relatīvais mitrums (Wr)

Paraugs	Beramais svars, kg/m ³	BSP*, mg/L	Wr, %
Jūrmalas brūnāļģes	92	879	79,8
Jūrmalas zaļāļģes	343	1104	39,6
Nopļautā zāle	35		48,6
Zāģskaidas	191		69,9

* - BSP – bioloģiskais skābekļa patēriņš

Komposta kaudžu kompozīcijā tika pievienotas arī lapkoku zāģskaidas, kas tika iepirkas Saldus novadā kokzāģētavā un Jaunuces pagastā svaigi pļautā stiebrzāļu (*Graminaceae*) dzimtas zāle. Apsekojot Carnikavas novada pludmali, tika konstatēts, ka pludmalē ir izskalota koksne. Iespējams, ka ar izskaloto koksni varētu aizvietot zāģskaidas komposta kompozīcijā, kuras tika iepirkas kokzāģētavā (cena par 1 m³ sastādīja 8 eiro). Izejvielu raksturošanai pirms kompostēšanas daļa paraugu tika izžāvēta un samalta, izmantojot mājsaimniecības dezintegratoru – kafijas dzirnaviņas.

2.2. tabula. Savākto aļģu pH, elektrovadītspēja un pelnu saturs (no sausnas)

Paraugs	pH	Elektrovadītspēja, mS/cm	Pelnu saturs, %
Jūrmalas brūnaļģes	6,7	5,50	72,0
Jūrmalas zaļāļģes	6,5	8,53	65,9
Nopļautā zāle			13,2
Zāģskaidas	4,9		0,4

Savākto aļģu pH vērtība ir tuva neitrālai (2.2. tabula), kas ir labvēlīga to izmantošanai lauksaimniecībā. Elektrovadītspēja parāda aļģu sāļumu, kas ir svarīgs izskaloto jūras aļģu rādītājs. Elektrovadītspēja lielāka par 8 mS/cm var negatīvi ietekmēt atsevišķus mikroorganismus (Santamria-Romero *et al.*, 2001). Brūnaļģu sāļums ir salīdzinoši neliels, bet zaļāļģu gadījumā tas var negatīvi ietekmēt to izmantošanu.

Pūšļu fuks satur vairāk barības vielas fosforu P un kāliju K salīdzinot ar zaļāļģēm, bet zaļāļģes satur vairāk slāpekli N (2.3. tabula). Oglekļa C saturs aļģēs ir mazāks, salīdzinot ar zāli un koksni, tas parāda, ka aļģes satur mazāk grūti biodegradējamo fenolu savienojumu.

2.3. tabula. Komposta izejvielu elementu sastāvs (no sausnas)

Paraugs	K, %	P _(kop) , %	N, %	C, %	H, %	S, %	C/N
Jūrmalas brūnaļģes	2,36	0,158	1,65	38,2	1,65	3,0	23
Jūrmalas zaļāļģes	0,696	0,059	2,53	35,2	3,21	2,2	14
Nopļautā zāle			2,68	42,5	4,57	0,62	16
Zāģskaidas			0,3	49,1	4,55	0,26	145

Savāktām aļģēm tika noteikts smago metālu saturs (2.4. tabula), lai pārbaudītu to atbilstību Ministru Kabineta noteikumiem Nr 506 “Mēslošanas līdzekļu un substrātu identifikācijas, kvalitātes atbilstības novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi”. Salīdzinot MK noteikumus ar EK regulu 2006/799/EK par eiromarķējuma piešķiršanu augsnes ielabošanas līdzekļiem redzams, ka Cd saturs var būt 2 reizes lielāks. Kā redzams 2.4. tabulā, izskatotajās aļģēs noteikto smago metālu koncentrācija ir ievērojami zemāka par maksimāli pieļaujamo nevēlamo piemaisījumu koncentrāciju mēslošanas līdzekļos un augsnes substrātos. Respektīvi, savākto aļģu biomasu var izmantot lauksaimniecībā. Šie rezultāti saskan ar Latvijas Hidroekoloģijas institūta iepriekš veiktām analīzēm (LHEI, 2017).

2.4. tabula. Smago metālu saturs komposta izejvielās (no sausas)

Paraugs	Zn, mg/kg	Cu, mg/kg	Pb, mg/kg	Cd, mg/kg	Hg, mg/kg
Jūrmalas brūnaļģes	8,2	7,8	0,5	0,3	0,007
Jūrmalas zaļāļģes	11,5	8,9	1,0	0,3	0,008
Nopļautā zāle	9,8	11,4	0,6	0,3	0,006
Maksimāli* pieļaujamā koncentrācija	300	100	100	2	1

* - atbilstoši MK 506. 3. Pielikumam “Nevēlamo piemaisījumu maksimāli pieļaujamā koncentrācija mēslošanas līdzeklī un substrātā”.

Diemžēl, hroma (Cr) un niķeļa (Ni) saturu izejvielās neizdevās noteikt, jo savāktie aļģu paraugi satur ievērojamu daudzumu smilšu un malšanas laikā mehāniski tika noskrāpēti dezintegratora naži. Cr un Ni ir tērauda leģējošā piedeva un tas ievērojami palielināja šo metālu saturu analīžu rezultātos. Mazgātām aļģēm (bez smiltīm) tika noteikts Ni saturs 6 un 10 mg/kg (fukusam un kladoforai, attiecīgi), bet paraugiem ar smiltīm Ni saturs pieauga līdz 56 un 93 mg/kg (Jūrmalas zaļāļģēm un brūnaļģēm, attiecīgi). Cr saturs mazgātam pūšļu fukam sastādīja 9 mg/kg, bet ar smiltīm 228 mg/kg.

2.5. tabula. Komposta neitrālo un skābo ogļhidrātu saturs (no sausas)

Paraugs	Neitrālie cukuri								Uronskābes, %
	Rha*, %	Fuc, %	Ara, %	Xyl, %	Man, %	Gal, %	Glc, %	Kopā, %	
Pūšļu fuks	zīmes	8,87	0,36	2,00	3,29	1,49	7,01	23,0	15,3
Kladofora	0,67	0,38	4,16	2,17	0,69	3,84	22,4	34,3	7,26

* Rha – ramnoze, Fuc – fukoze, Ara – arabinoze, Man – mannoze, Gal – galaktoze, Glc – glikoze.

Pūšļu fukam un kladaforai tika veikta pamatkomponentu analīzes. Aļģu biomasas satur ievērojamu daudzumu ogļhidrātu (Rioux & Turgeon, 2015), tāpēc tika noteikts neitrālo cukuru sastāvs un kopējais skābo cukuru (uronskābju) saturs. Vairums cukuru

ātri sadalās komposta vidē, izņemot celulozi, kas sadalas lēnāk. Kā redzams brūnaļģu un zaļaļģu ogļhidrātu sastāvs būtiski atšķiras. Kladafora satur ieverojamu daudzumu glikānu, kas ietilpst celulozes, cietes un citu polisaharīdu sastāvā. Kladafora satur vairāk ramnozi, arabinozi, galaktozi un glikozi, nekā pūšļu fuks. Savukārt, pūšļu fuks satur vairāk fukozi, mannozi un uronskābes, nekā kladafora. Kopējais uronskābju saturs parāda alginātu saturu pūšļu fukā.

2.2. Kompostēšana

Tika izveidotas 6 komposta kaudžu kompozīcijas no zaļaļģēm, brūnaļģēm, lapkoku zāģskaidam un svaigi plautas zāli (2.6. tabula). Kompostēšana tika uzsākta 2018. gada 3. oktobrī SIA “Zeltābele” slēgtajā angārā, bijušajās mehāniskajās darbnīcas telpās (Pielikums, 2. attēls). Komposta vējrindu augstums sastādīja ~1,2 m, taču kompostēšanas laikā tas samazinājās līdz ~0,8-1 m (Pielikums, 3. attēls). Komposta kaudzēm tika pievienots speciāli sagatavots sējmateriāls, kas satur *Trichoderma* spp. sēnes. Tās ir pazīstamas kā aktīvi celulāzes, hemicelulāžu un laktāžu producenti un šo sēņu iekļaušana sējmateriāla sastāvā nodrošina paātrinātu koksnes lignocelulozes sadalīšanos.

2.6. tabula. Komposta kaudžu kompozīcijas ar aļģēm

Paraugs	Zaļaļģes, kg	Brūnaļģes, kg	Zāģskaidas, kg	Zāle, kg
Komposts 1	-	315	150	95
Komposts 2	-	315	150	-
Komposts 3	200	-	150	70
Komposts 4	200	-	150	-
Komposts 5	120	120	-	-
Komposts 6	50	50	-	25

Komposta stirpās, kurām tika pievienota zāle, jau nākošā dienā strauji sāka paaugstināties temperatūra. Piektajā dienā pēc stirpu ielikšanas komposta 1 un 3 temperatūra sasniedz 60 °C. Stirpās, kurās netika pievienota zāle, temperatūra paaugstinājās lēnāk un maksimālā temperatūra šajās kaudzēs bija 40 °C. Komposta kaudžu temperatūras izmaiņas grafiski parādītas 5., 6. un 7. attēlā.

Pirmajās divās nedēļās pH vērtība visās komposta kaudzēs samazinājās līdz 4-6. Komposta pH izmaiņas pirmajās kompostēšanas nedēļās grafiski parādītas 8. attēlā.

Pirmās divas nedēļas kompostēšanas telpā bija jūtama spēcīga aļģu sadalīšanās smaka, kā arī ar vāja puvušu olu smaka, kas norāda uz anaerobiem apstākļiem komposta kaudzēs un sērūdeņraža rašanos. Pēc divām nedēļām tika veikta komposta stirpu aerācija (mehāniskā irdināšana).

16.10.2018. (14 dienas) irdināšanas laikā tika veikti sekojoši novērojumi:

Komposts Nr. 1. Stirpas malās zāģu skaidas tumši brūnas, zāle sadegusi – melna, aļģes - melnas. Trūdu smaka, nedaudz pēc vecām olām. Parādījās balts pelējums. Visas komponentes saķepušas un grūti irdināmas. Stirpas centrā skaidas un zāle sākotnējā izskatā un smaržo pēc amonjaka. Kaudzē ir arī gaišā krāsā dažas tikko kā veidojušās sēnes. pH vāji skābs (skat. 5. attēls).

Komposts Nr. 2. Kaudze viegli irdināma, smaržo pēc aļģēm. Stirpas tika liktas kārtām, šajā stirpā skaidri redzamas kārtas, kur ir aļģes un kur - skaidas. Arī temperatūra atšķiras, aļģēm – 29 °C, skaidām – 25 °C. Skaidām krāsa nav mainījusies. Savāktās brūnaļģes satur zāles piemaisījumus ar visām saknēm, un tā sāka augt. pH 6,0.

Komposts Nr. 3. Kaudzes malās skaidas tumši brūnas, trūdu smarža. Kaudzes centrā apmēram 20 cm biezumā, skaidas un zāle sākotnējā izskatā, smaržo pēc amonjaka un vecām sapuvušām olām. Pārējā daļā zāle izskatās kā sadegusi, melnā krāsā. Kaudze stipri sablīvējusies, visas komponentes salīpušas un ar grūtībām irdinās. Vietām ir pelējums baltā krāsā un arī sāk augt sēnes baltā krāsā. Mitrums optimāls.

Komposts Nr. 4. Uz stirpas sāk augt zāle. Zāģu skaidas un aļģes sākotnējā izskatā, smaržo pēc jūras aļģēm, temperatūra skaidām 25 °C, aļģēm 29 °C. Aļģes nedaudz saķepušas, apakšā zāģu skaidas sablīvējušās. Smaržo viegli pēc sapuvušām olām, kas jauca kopā ar aļģu smaržu. pH vāji skābs.

Komposts Nr. 5. Aļģes ir sablīvējušās, bet viegli irst, smaržo pēc aļģēm, citu smaržu nav. pH vāji skābs.

Stirpa Nr. 6. Zāle kā sadegusi un saķepusi ar aļģēm viendabīgā masā, melna. Jūtama puvušu olu un amonjaka smaka, irdināt grūti. pH vāji skābs.

Pēc pirmās aerācijas kompostu temperatūra nedaudz pazeminājās, bet jau nākošā dienā tā atkal paaugstinājās līdz iepriekšējam līmenim. Pēc irdināšanas komposta kaudzēs palielinājās pH vērtība (skatīt 8. attēlu). Puvušo olu smaka telpā vairs nebija jūtama, tikai viegla aļģu trūdēšanas smaka.

Otra irdināšana tika veikta 2018. gada 30. oktobrī (28 dienas).

Komposts Nr. 1. Aromāts patīkams, pēc trūdvielām. Krāsa tumši brūna. Vizuāli nevar atšķirt aļģes no skaidām. Mitrums nedaudz par mazu (apmēram 40-50 %). Kaudze tika samitrināta ar ūdeni. Vietām nedaudz balts pelējums. Kaudze sablīvējusies viengabalainā masā. Kaudzes centrā masa nedaudz gaišākā krāsā. pH 6,8.

Komposts Nr. 2. Smarža patīkama, kaudze irdena, nav sablīvējusies, ja ir kāda auga sakne, tad tā sāk augt, dzīt asnus. Mitrums nedaudz par mazu. Kaudze tika samitrināta ar ūdeni. pH neitrāls.

Komposts Nr. 3. Smarža patīkama – trūdu. Mitrums par mazu. Kaudze tika samitrināta ar ūdeni. Skaidas un aļģes vienādā tumši brūnā krāsā, centrā nedaudz gaišākā krāsā, nedaudz, reti, vietām balts pelējums. pH neitrāls.

Komposts Nr. 4. Smarža laba, mitrums pietiekošs, nedaudz sablīvējies, nezāļu saknes dzen asnus. pH neitrāls.

Komposts Nr. 5. Aromāts labs – trūdu, mitrums pietiekošs, saķepis viengabalains, nezāļu saknes dzen asnus. pH neitrāls.

Komposts Nr. 6. Aromāts patīkams – trūdu, mitrums pietiekošs, sablietējies stipri, jāpieliek spēks, lai izirdinātu. pH neitrāls.

Pēc otras irdināšanas temperatūra visām kaudzēm pazeminājās vidēji līdz 20 °C, kura stabili turējās divas nedēļas. Telpas temperatūra zem 10 °C. Telpā gaiss smaržo pēc patīkamas trūdu smakas.

Trešā irdināšana tika veikta 2018. gada 13. novembrī (42 dienas).

Visas stirpas irdinās viegli, masa viendabīga, mitrums pietiekošs, aromāts patīkams – trūdu. Uz dažām kaudzēm sāka aug zāle (Pielikums, 4. attēls). Tas parāda, ka kompostēšanas termofilajā fāzē netika sasniegta pasterizācijai nepieciešamā temperatūra.

Ceturtā irdināšana tika veikta 2018. gada 30. decembrī (89 dienas).

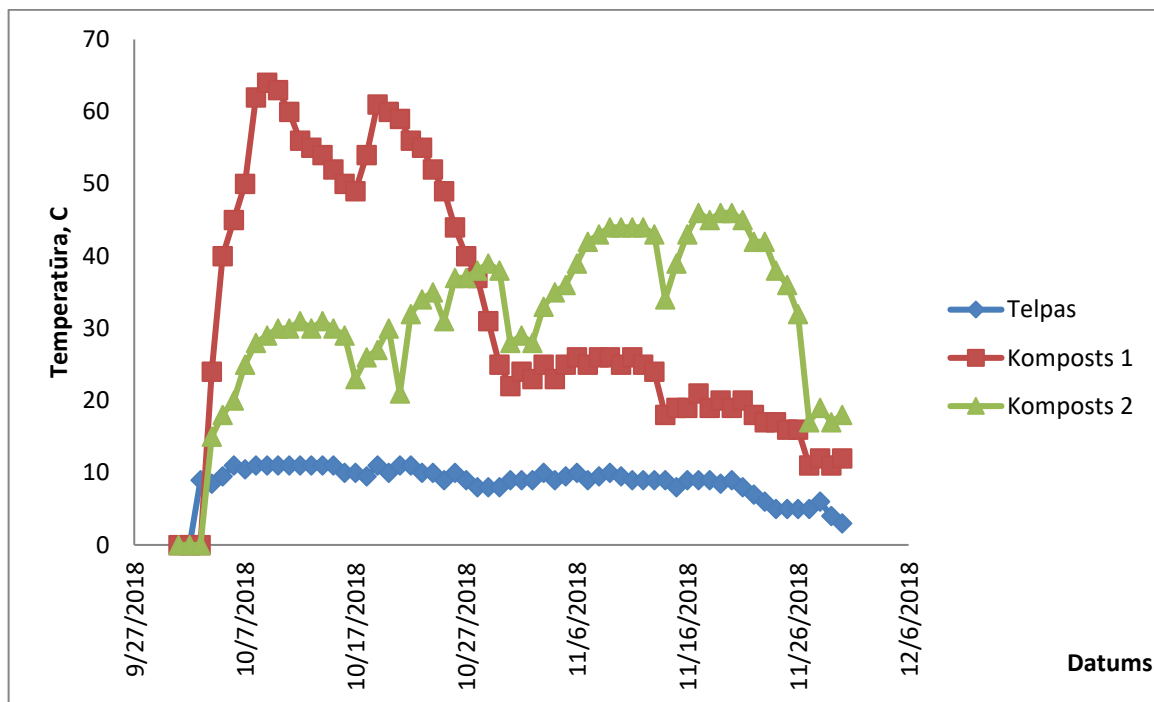
Visas stirpas irdinās viegli, masa viendabīga, mitrums pietiekošs, aromāts patīkams – trūdu.

Pēc komposta irdināšanas no katras komposta kaudzes tika paņemts paraugs un veikta tā analīze, lai noteiktu komposta C/N attiecību (9. attēls). Kompostēšanas laikā oglekļa saturs kompostos samazinās, bet slāpekļa relatīvais saturs pieaug un C/N attiecība samazinās. Izņēmums ir komposts Nr 5, kas sastāvēja tikai no aļģu maisījuma ar jau sākotnēji ļoti zemu C/N attiecību. Komposta Nr 5 C/N attiecība kompostēšanas gaitā pieaug. Tas parāda, ka notiek slāpekļa savienojumu zudumi kompostēšanas laikā.

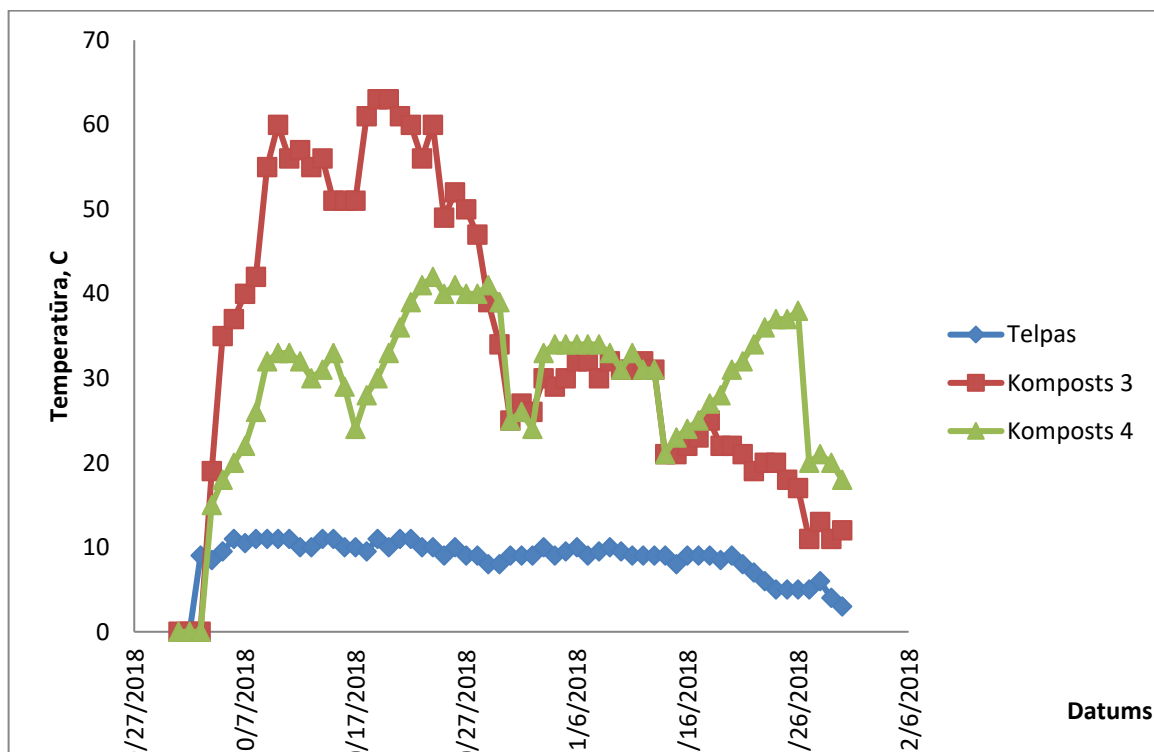
Kopējais kompostēšanas laiks sastādīja 3 mēnešus. Kompostēšanas eksperimenta noslēguma fāzē kopējā kompostējamā masa bija samazinājusies apmēram par 1/3 daļu. Nelabvēlīgie laikapstākļi (zemā gaisa temperatūra rudens-ziemas laikā) kavēja kompostēšanas procesu. Termofilās fāzes temperatūrai ir izšķiroša nozīme komposta pasterizācijā, jo gatavais komposts nedrīkst saturēt patogēnos mikroorganismus, helmintu oļņas un nezāļu sēklas. Kompostēšanas laikā uz kaudzēm, kas sastāvēja tikai no aļģēm (Nr 5) vai aļģēm un zāgskaidām (Nr 2 un 4) sāka dīgt zāle. Tas parāda, ka nezāļu sēklas saglabāja savu dīgtspēju. Komposta kompozīcija, kas sastāvēja no aļģēm un zāles temperatūra strauji uzkāpa līdz 60 °C, bet pēc dažām dienām strauji nokrita.

Palielinoties komposta temperatūrai, piemēram, veicot kompostēšanu siltajā gada laikā, samazinās kompostēšanas laiks, kas nepieciešams komposta pasterizācijai. Kā redzams no 5.-7. attēliem tikai komposta kaudzēs Nr. 1 un Nr. 3 tika sasniegta nepieciešamā temperatūra.

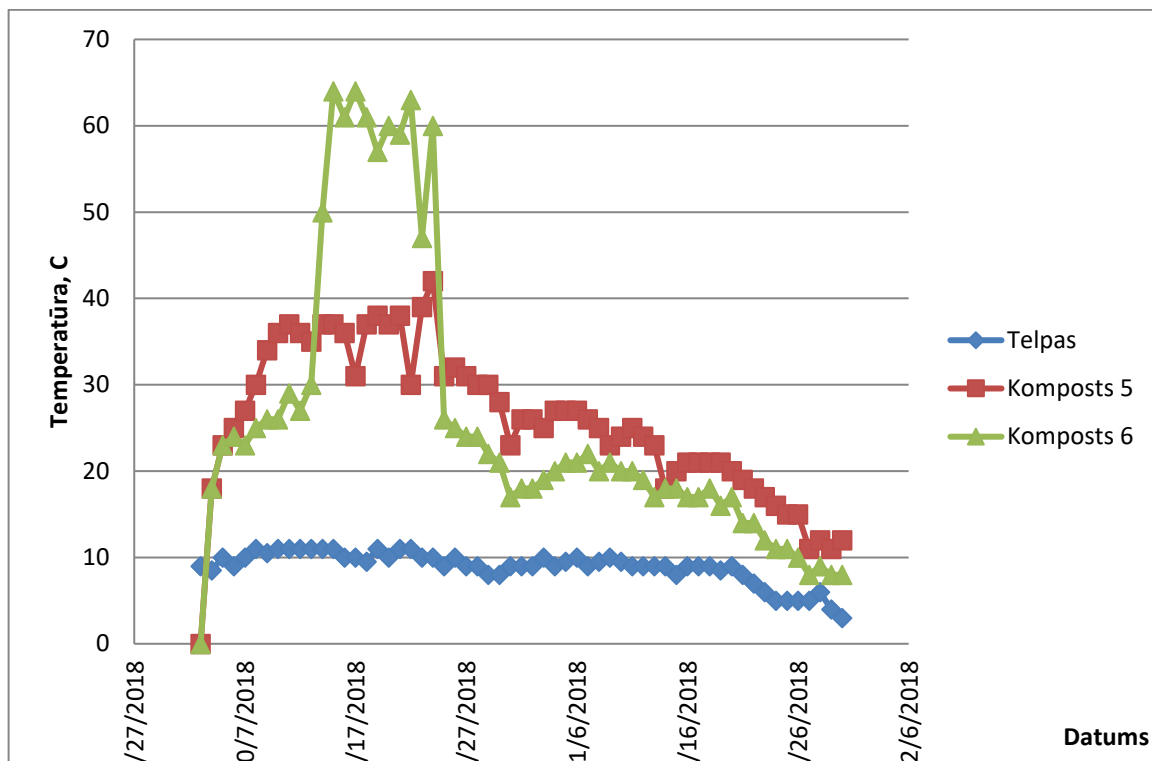
Pašlaik komposts atrodas savā nogatavošanas fāzē un tiek uzglabats SIA “Zeltābele” telpās. Komposts ir pieejams ieinteresētajām pusēm, kā eksperimentāls aļģu kompostu paraugs.



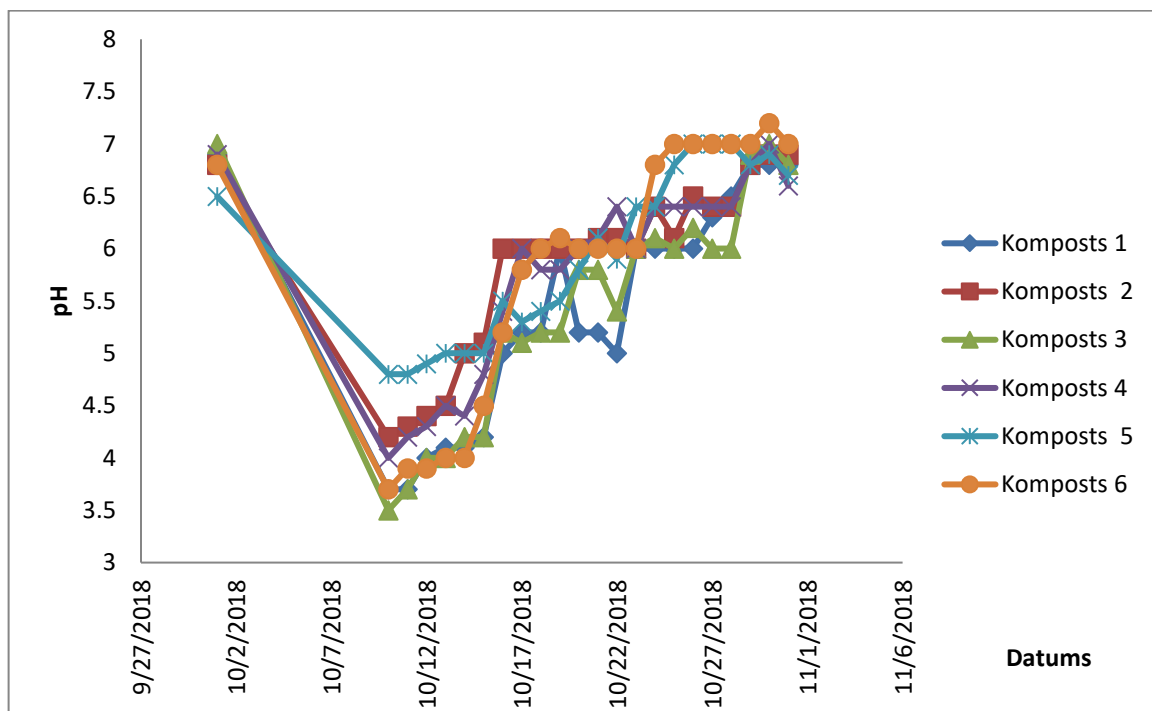
5. attēls. Komposta kaudžu 1 un 2 temperatūras izmaiņas kompostēšanas laikā



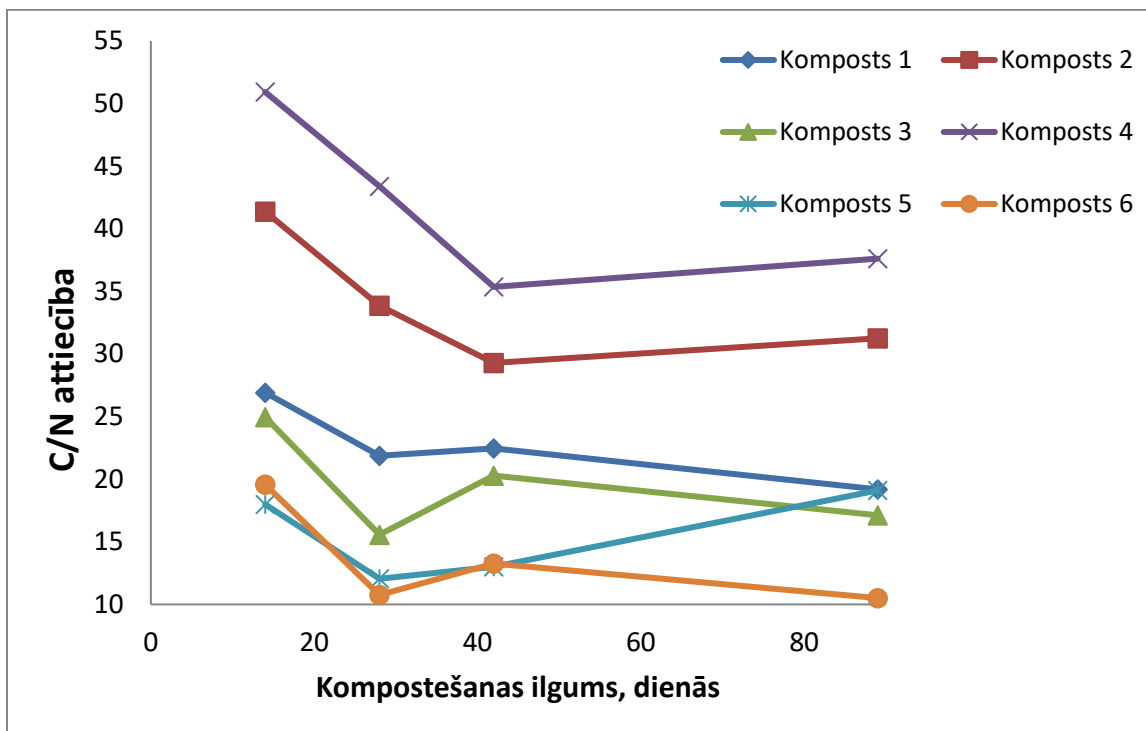
6. attēls. Komposta kaudžu 3 un 4 temperatūras izmaiņas kompostēšanas laikā



7. attēls. Komposta kaudžu 5 un 6 temperatūras izmaiņas kompostēšanas laikā



8. attēls. Komposta kaudžu pH vērtību izmaiņa kompostēšanas laikā



9. attēls. Aļģu kompostu C/N attiecības izmaiņas kompostēšanas laikā

2.3. Kompostu rakturošana

Komposta paraugiem tika veiktas ķīmiskās un bioloģiskās pārbaudes, lai noteiktu komposta gatavību un kvalitāti. Smago metālu saturs kompostā visos kompostos atbilst MK 506 noteikumiem par nevēlamo smago metālu piemaisījumu. Ņemot vērā iepriekšējo neveiksmīgo pieredzi nosakot smago metālu saturu komposta izejvielās, kompostu sasmalcināja ahata pietā. Ka redzams 2.7. tabulā Cr un Ni saturs kompostā ir ievērojami zemāks (1-4 mg/kg) par iepriekš noteiktām Cr un Ni koncentrācijām izskalotajās aļģēs 100-200 mg/kg. Pieņēmums, ka anomāli liels Cr un Ni saturs izskalotajās aļģēs ir saistīts ar paraugu sagatavošanu, apstiprinājās.

Visu sešu kompostu pH vērtības ir tuvu neitralām (2.8. tabula), kas pozitīvi vērtējams to pielietošanai lauksaimniecībā. Kompostu elektrovadītspēja ir mazāka (kompostiem 1, 2, 3 un 4) vai vienāda (kompostiem 5, 6), salīdzinot ar savākto aļģu elektrovadītspēju (skat. 2.2. tabula).

MK noteikumi Nr. 506 nenosaka minimālo organisko vielu saturu organiskajos augsnes substrātos, taču saskaņā ar EK regulu 2006/799/EK par eiromarkējuma piešķiršanu augsnes ielabošanas līdzekļiem minimālais organisko vielu saturs augsnes ielabošanas līdzekļos ir 20%. Kā redzams no 2.8. tabulas kompostos, kas satur tikai aļģes vai aļģes un zāli, organisko vielu saturs neatbilst eiromarkējuma piešķiršanas prasībām 15,8% un 17% (100% - pelnu saturs, %).

2.7. tabula. Smago metālu saturs aļģu kompostos

Paraugs	Zn, mg/kg	Cu, mg/kg	Pb, mg/kg	Cd, mg/kg	Hg, mg/kg	Cr, mg/g	Ni, mg/kg
Komposts 1	28,5	4,2	0,64	0,26	0,020	1,6	4,0
Komposts 2	21,0	2,3	0,44	0,28	0,025	0,8	3,6
Komposts 3	24,9	3,5	0,93	0,23	0,016	1,8	2,6
Komposts 4	13,7	1,3	0,67	0,17	0,008	1,2	2,3
Komposts 5	12,4	2,0	0,64	0,30	0,012	1,5	3,9
Komposts 6	27,1	5,0	1,6	0,26	0,016	3,4	4,3
Maksimāli* pieļaujamā koncentrācija	300	100	100	2	1	100	50

* - atbilstoši MK 506. 3. Pielikumam "Nevēlamo piemaisījumu maksimāli pieļaujamā koncentrācija mēslošanas līdzeklī un substrātā".

Salīdzinot kālija un kopējā fosfora saturu 2.9. tabulā redzams, ka vislielākais barības vielu saturs ir kompostā 6. Pievienojot kompostam tikai zāģskaidas, barības vielu saturs samazinās. Savukārt pievienojot zāģskaidas un zāli K un P_(kop) saturs palielinās.

2.8. tabula. Aļģu kompostu pH, elektrovadītspēja un pelnu saturs

Paraugs	pH (KCl)	Elektrovadītspēja, mS/cm	Pelni, %
Komposts 1	7,4	2,11	58,7
Komposts 2	7,1	1,57	61,4
Komposts 3	7,7	1,90	60,2
Komposts 4	7,6	1,09	53,9
Komposts 5	7,4	5,94	84,2
Komposts 6	6,8	5,44	83,0

Kompostēšanas laikā samazinās oglekļa saturs kompostā un samazinās C/N attiecība. Kompostam Nr 1 C/N attiecība samazinājās no 27 (pēc pirmās irdināšanas) līdz 19. Savukārt kompostam ar pārāk zemu C/N attiecību (komposts Nr 5) pastāv risks, ka var notikt slāpekļa savienojumu mineralizācija un gāzveida emisija. C/N attiecība ir viens no parametriem, ko visbiežāk izmanto komposta gatavības noteikšanai. MK noteikumi Nr 506 un EK regula 2006/799/EK nenosaka vēlamo, minimālo vai maksimālo C/N vērtību,

tomēr atsevišķas valstis ir iekļāvušas to komposta standartos. Spānijā maksimālā C/N attiecība zāles kompostiem ir 20 (Real decreto 824/2005). Kā redzams tabulā 2.9. kompostos ar vislielāko koksnes saturu šī attiecība ir >30 un šādu kompostu nevajadzētu rekomendēt izmantot kā mēslošanas līdzekli.

2.9. tabula. Aļģu kompostu elementu sastāvs un barības vielas (no sausnas)

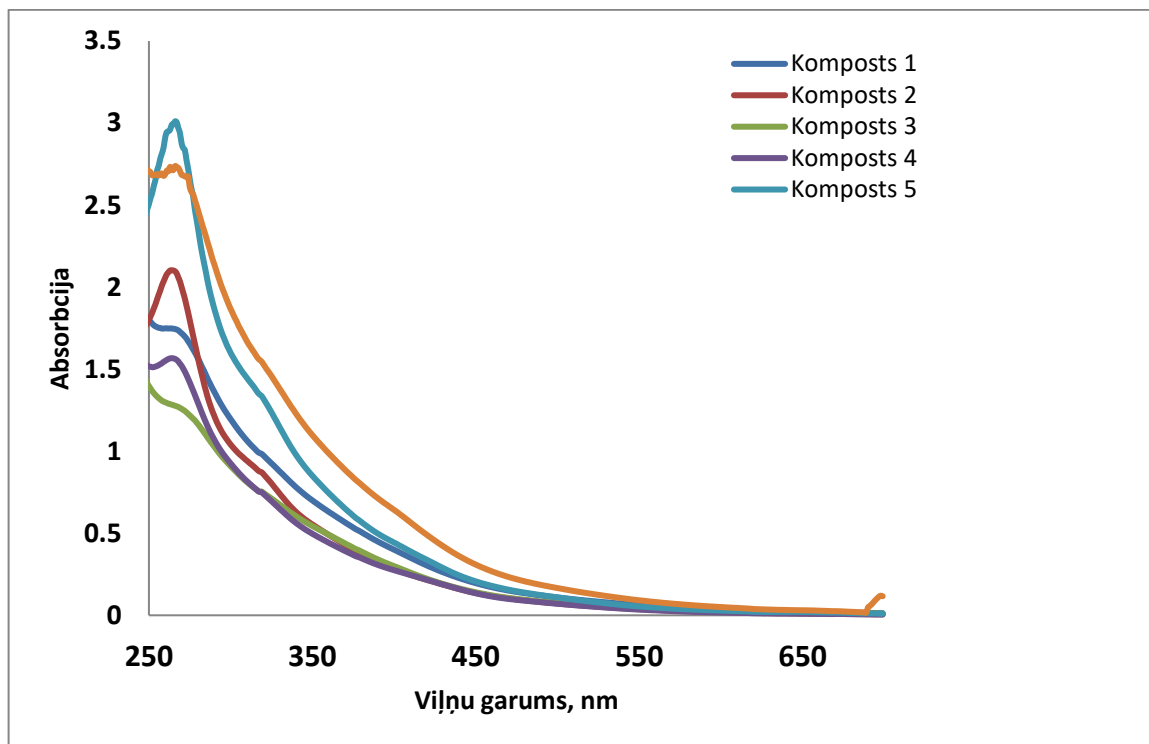
Paraugs	K, %	P _(kop) , %	N, %	C, %	H, %	S, %	C/N
Komposts 1	0,466	0,0746	1,13	21,7	2,03	0,78	19
Komposts 2	0,259	0,0309	0,72	22,5	1,96	0,76	31
Komposts 3	0,516	0,0741	1,07	18,3	1,77	0,52	17
Komposts 4	0,248	0,0261	0,61	22,8	3,30	0,46	38
Komposts 5	0,537	0,0544	1,56	29,9	3,09	3,68	19
Komposts 6	0,713	0,0826	0,94	9,9	1,54	0,87	11

Kompostu biomasa kompostēšanas laikā sadalījusies apmēram par 1/3. Neitrālo cukuru saturs ir būtiski samazinājies. Salīdzinot ar izejvielu ogļhidrātu sastāvu, visvairāk kompostēšanas laikā sadalījās glikāni. Tas parāda, ka lielāka daļa viegli biodegradējamo savienojumu ir sadalījusies. Neskatoties uz biodegradāciju, aļģu komposts joprojām satur vērā ņemamu uronskābju daudzumu (2.10. tabula)

2.10. tabula. Komposta neitrālo un skābo ogļhidrātu saturs (no sausnas)

Paraugs	Neitrālie cukuri							Uronskābes, %
	Fuc, %	Ara, %	Xyl, %	Man, %	Gal, %	Glc, %	Kopā, %	
Komposts 1	1,23	0,43	3,10	0,51	0,66	5,8	11,7	7,18
Komposts 2	1,81	0,26	3,73	0,69	0,62	6,87	14,0	6,56
Komposts 3	0,62	0,51	4,29	0,55	0,62	8,0	14,6	7,27
Komposts 4	1,05	0,39	5,7	0,71	0,65	11,1	19,7	7,24
Komposts 5	1,51	0,20	0,44	0,31	0,38	1,32	4,15	5,29
Komposts 6	0,48	0,43	0,52	zīmes	zīmes	1,41	2,84	2,64

* rha – ramnoze, fuc – fukoze, ara – arabinoze, man – mannoze, gal – galaktoze, glc – glikoze.



10. attēls. Aļģu kompostu 0,1 M NaOH ekstraktu UV spektri

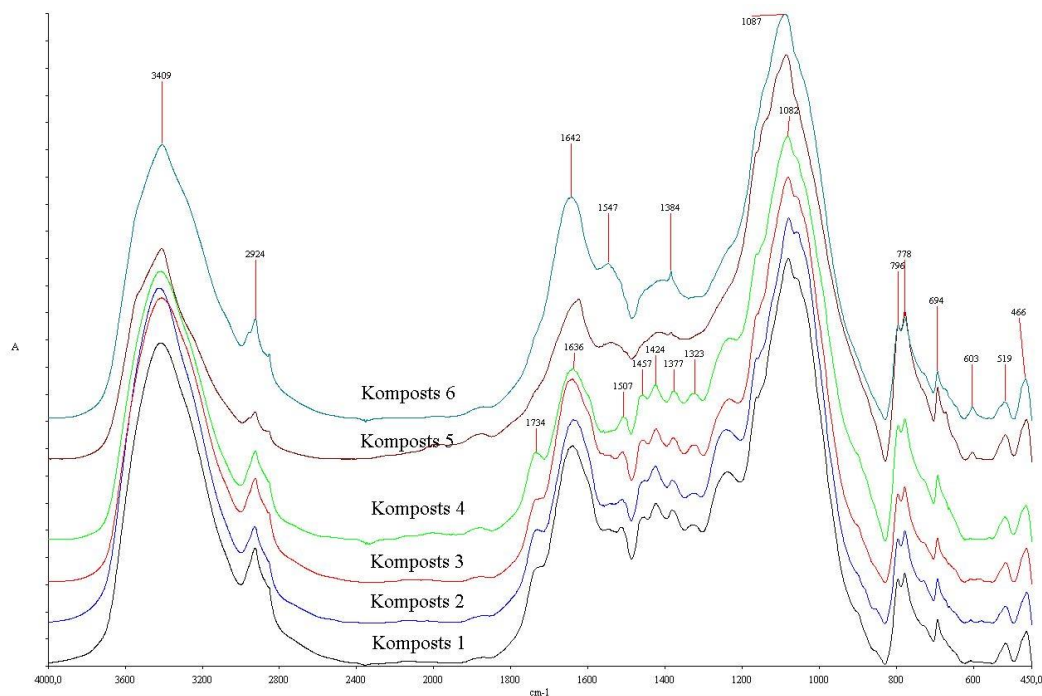
Lai novērtētu kompostu humifikācijas pakāpi, tika uzņemti kompostu sārmu ekstraktu UV spektri (10. attēls). Kā redzams no 10. attēla kompostu sārmu ekstraktu UV spektros ir ļoti redzams absorbācijas maksimums pie 280 nm, kas ir tipisks lignīna aromātiskajiem savienojumiem. Interesanti atzīmēt, ka kompostos Nr 2 un 4, šis absorbācijas maksimums ir intensīvāks salīdzinot ar paraugiem Nr 1 un 3. Tas parāda zāles nozīmi komposta kompozīcijā, jo zaļais lignīns transformējas par šķīstošo humusvielu sastāvdaļu, ātrāk par koksnes lignīnu. UV spektru kvantitatīvai raksturošanai tika mērītas absorbācijas attiecības pie 280 (E_2), 340 (E_3), 465 (E_4) un 665 nm (E_6) nm (Bikovens *et al.*, 2012). Absorbācijas attiecības apkopotas 2.11. tabulā.

2.11. tabula. Komposta 0,1 M NaOH spektru UV attiecības

	E_2/E_4	E_2/E_3	E_3/E_4	E_4/E_6	E_2/E_6
Komposts 1	9.8	2.0	4.9	8.3	81.6
Komposts 2	14.3	2.5	5.7	11.0	157.3
Komposts 3	10.3	1.9	5.3	7.8	80.2
Komposts 4	12.2	2.3	5.3	13.8	167.5
Komposts 5	14.1	2.4	5.9	9.6	135.1
Komposts 6	9.9	2.0	4.9	9.4	93.4

Augstās UV spektru attiecību vērtības norāda uz lielu fulvoskābju vai zemmolekulāro savienojumu klātbūtni ekstraktā, humusvielām kondensējoties palielinās humīnskābju daudzums, un UV spektrs kļūst lēzenāks, attiecīgi samazinās UV attiecības. E_4/E_6 (un E_2/E_6) attiecību var izmantot humifikācijas novērtēšanai, tā negatīvi korelē ar humusvielu polimerizācijas pakāpi. Kā redzams no tabulas 2.11 viszemākās E_4/E_6 vērtības ir kompostiem Nr 1 un 3, kas parāda to vislielāko humifikācijas pakāpi. Jāatzīmē, ka paraugi satur ievērojamu šķīstošo lignīnu daudzumu, kas liek piesardzīgi izmantot mērījumus pie 280 nm (E_2).

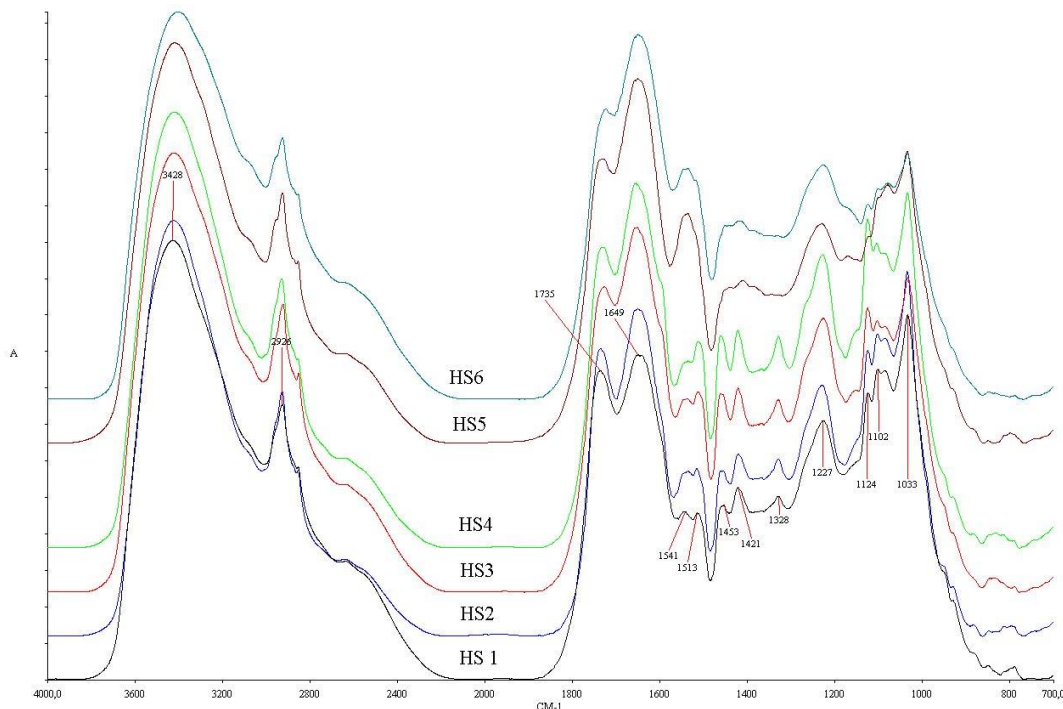
Infrasarkanā (FTIS) spektroskopija ir metode, kas ļauj ātri un ar nelielu parauga daudzumu novērtēt pētāmā objekta funkcionālās grupas, kas atspoguļo tā ķīmisko sastāvu. Kompostu biomasas infrasarkanie spektri apstiprināja, ka visi paraugi satur ievērojamu silikātu daudzumu (absorbcijas maksimumi pie 1080, 466 cm^{-1} , 11. attēls), kas apgrūtina paraugu organiskās daļas raksturošanu. Taču spektra diapazonā no 1600 līdz 1200 cm^{-1} kompostiem 1, 2, 3, 4 var skaidri izšķirt tipiskus lignīna absorbcijas maksimumus (1507, 1460, 1424 cm^{-1}).



11. attēls. Aļģu kompostu FTIS spektri

Lai novērtētu koksnes ietekmi uz komposta humusvielām, tika veikta kompostu humusvielu ekstrakcija un izdalītas kompostu humīnskābes. Komposta humīnskābēm (HS) tika uzņemti FTIS spektri. Komposta humīnskābju iznākums pēc attīrīšanas no komposta Nr 2 un 4 bija apmēram 2 reizes mazāks salīdzinot ar kompostu Nr 1 un 3 (0,5 un 1%, attiecīgi). Kā redzams 12. attēlā, kompostu 1, 2, 3, 4 humīnskābju spektros var novērot tipiskus lignīna absorbcijas maksimumus. Respektīvi, tas vēlreiz apstiprina, ka

koksnes lignīns transformējās par šķīstošo humusvielu komponenti. Tādējādi nodrošinot to aromātiskumu, un potenciāli lielāku izturību apkārtējā vidē ($1507, 1460, 1424 \text{ cm}^{-1}$).



12. attēls. Aļģu kompostu humīnskābju (HS) FTIS spektri

Visiem kompostiem tika veiktas mikrobioloģiskās pārbaudes. Vislielākais *Escherichia coli* - 540 KVV/g un *Enterococci* - 110 KVV/g tika noteikts kompostā 1. Vismazākais *Escherichia coli* - <10 KVV/g un *Enterococci* - <10 KVV/g tika noteikts kompostos 2 un 4. Šie rezultāti atbilst MK noteikumos Nr 506 minētām maksimāli pieļaujamajām koncentrācijām 1000 KVV/g *E.coli* un *Enterococci*.

Iegūtie rezultāti parāda, ka izskalošanās brūnaļģes un zaļāļģes var veiksmīgi kompostēt. Zāles pievienošana intensificē kompostēšanas procesu, veicina temperatūras paaugstināšanos un nodrošina komposta pasterizāciju. Koksnes pievienošana veicina stabilu humusvielu jeb trūdvielu rašanos kompostēšanas procesā. Vislabākie rezultāti tika iegūti vienlaicīgi kompostējot zaļāļģes un brūnaļģes kopā ar zāli un koksni.

Salīdzinot iegūto eksperimentālo kompostu Nr 1 un 3 barības vielu saturu K – 0,5%, P – 0,07%, N – 1,1% ar tirgū esošo zāles kompostu barības vielu saturu redzams, ka šie lielumi ir līdzīgi un pat labāki (Piem., mēslošanas līdzeklis “Komposts (Apstrādāts organiskais mēslošanas līdzeklis)”, apliecības Nr G0.06-0864-12. Ražotājs - SIA “Zeltābele”. Barības vielas K_2O – 0,6%, P_2O_5 – 0,15%, N – 0,4%).

Komposta tirgus cena svārstās plašās robežās no 1 Euro par 1 L, līdz 100 Euro par 1 m^3 , kas atbilst 0,10 Euro par 1 L (cenas minētas ar PVN). 1 Euro/L ir viena litra iepakojums puķu audzešanai, savukārt 100 Euro/ m^3 ir ražotāja vairumtirdzniecības cena. Latvijā 2017. gadā ievesto un saražoto augsnes substrātu apjoms bija 71 348 m^3 , tajā

skaitā Latvijā saražoto substrātu apjoms bija 79% no kopējā apjoma. Salīdzinājumā ar 2016. gadu Latvijā ievesto substrātu apjoms 2017. gadā palielinājies vairāk nekā trīs reizes (LR ZM, 2018). Tas parāda, ka augsnes substrātu tirgus Latvijā ir augošs. Jāatzīmē, ka pašreiz augsnes substrātu tirgū dominē kūdras substrāti. Latvijai ir ļoti lieli kūdras krājumi, taču kūdra ir ļoti lēni atjaunojošais dabas resurss. Varam prognozēt, ka samazinoties kūdras krājumiem vai likumdošanai ES līmenī, kūdras cena paaugstināsies un komposts kļūs konkurētspējīgaks.

Iegūtie rezultāti par izskaloto aļģu biomasas kompostēšanu un komposta kompozīcijas ietekmi uz komposta humusvielām apkopotu un sagatavoti iesniegšanai Starptautiskajā Humusvielu konferencē, kas notiks Latvijas universitātē, Rīgā, Latvijā no 05. līdz 08. jūnijam 2019. gadā. Ziņojuma provizorisks nosaukums - Bikovens, O., Janceva, S., Purina, I., Vevere, L., Telysheva, G. „Co-composting of seaweed with lignocelulosic substratum: effect of compost composition on compost humic substances”

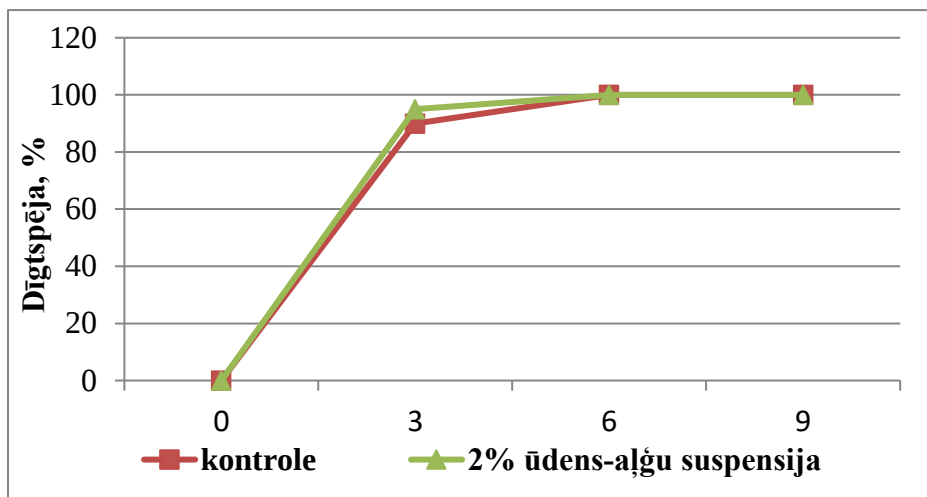
2.4. Pūšļu fuka ietekme uz augiem.

Aļģu izmantošanai lauksaimniecībā ir senas tradīcijas. Jāatzīmē, ka visos eksperimentālajos kompostos K un P_(kop) saturs ir mazāks salīdzinot ar nekompostētu pūšļu fuku (2.3. tabula). Respektīvi, ja ir nepieciešams maksimāli liels K un P_(kop) saturs ir lietderīgi izmantot svaigu pūšļu fuku. Tas saskan ar ANO Pārtikas un lauksaimniecības organizācija rekomendācijām fuku žāvēt, samalt un šādā veidā izmantot lauksaimniecībā (FAO, 2003). Ņemot vērā lielo smilšu saturu, mēs varam ieteikt vispirms veikt aļģu mazgāšanu, jo, maļot nemazgātas aļģes, tiek intensīvi bojāts malšanas mašīnu nažu tērauds, un paraugs tiek piesārņots ar smagajiem metāliem. Mēs pārbaudījām brūnaļģu izmantošanas iespējas graudkopībā, izmantojot miežus (*Hordeum vulgare*) kā testa kultūru. Neskatoties uz to, ka Latvijā pēdējos gados ir kritusies miežu sējplatība un kopraža, Pasaulē mieži ir ceturtā visaudzētākā labība pēc kviešiem, rīsiem un kukurūzas.

Pūšļu fuka ietekme uz miežu (*Hordeum vulgare*) sēklu dīgšanu.

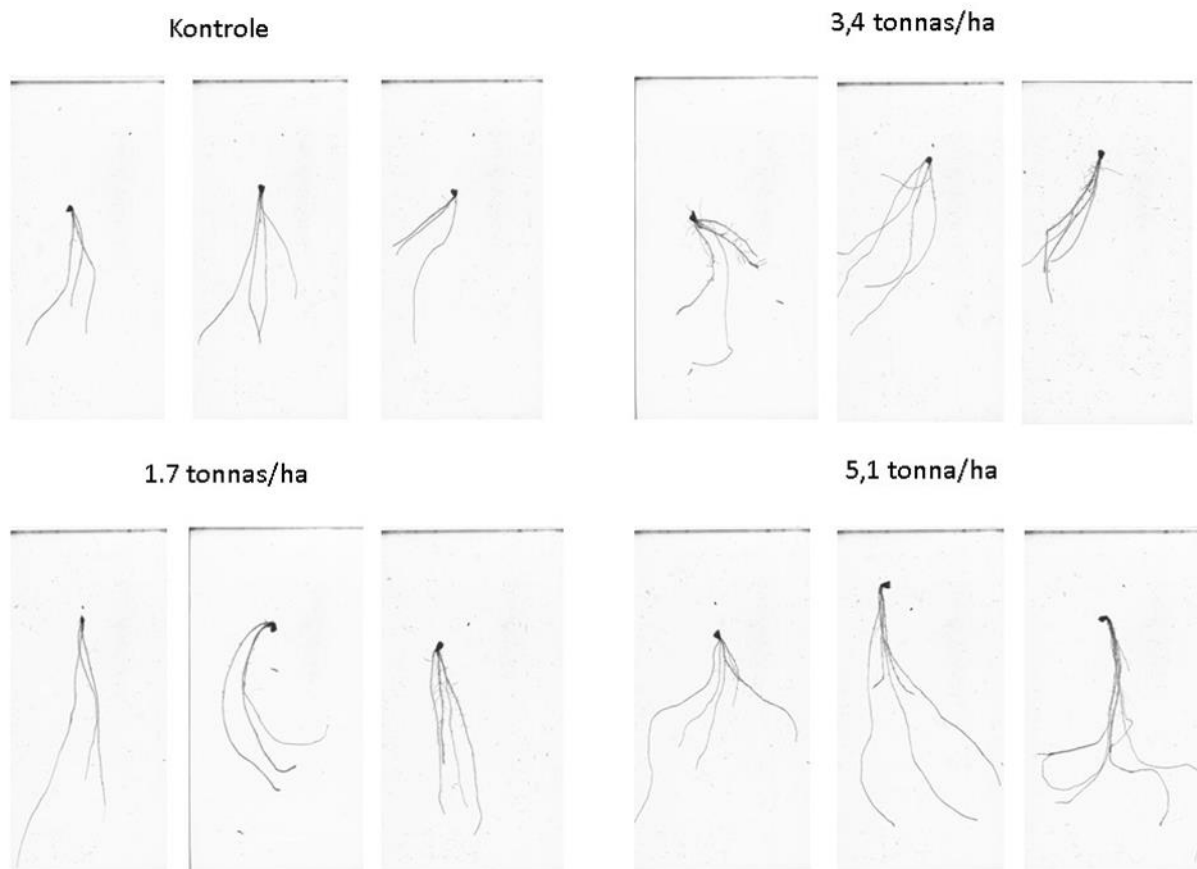
Ņemot vērā izskaloto aļģu sāļumu tika vispirms tika veikta aļģu fitotoksiskuma pārbaudes uz sēklu dīgšanu. Dīgšanas testiem kā izpētes objekti tika izvēlētas miežu sēklas. Sēklas tika diedzētas stikla petri traukos 2% pūšļu fuka ūdens suspensijā. Kontroles testam tika izmantots tīrs destilēts ūdens. Sēklas tika diedzētas tumsā 22 °C temperatūrā. Uzdīgušās sēklas tika uzskaitītas 3 reizes 9 dienās. Katrā testā bija 20 sēklas. Katram testam tika veikti 3 atkārtojumi. Veicot dīgšanas testus tika noteikta maksimālā dīgspēja (final germination percentage), dīgšanas ātrums un vienmērīgums, kas ir būtiski rādītāji augkopībā. Dīgšanas norise ir attēlota kā dīgšanas dinamikas līkne (germination progress curve) uz x atliekot laiku, bet uz y ass- uzdīgušo miežu sēklu skaitu attiecīgajā brīdī, izsakot procentos (%). Savstarpēji salīdzinot abu testu miežu sēklu dīgstspēju, abos

variantos tā bija līdzīga (skatīt 13. attēlu). Veicot uzdīgušo sēklu uzskaiti, trešajā dienā uzdīgušo sēklu skaits abos testos bija ap 90 %. Iegūtie rezultāti parādīja, ka pūšļu fuks neuzrāda nekādu inhibējošo ietekmi uz miežu dīgšanu.



13. attēls. Miežu sēklu dīgšanas dinamikas līkne

Pūšļu fuka ietekme uz miežu sakņu sistēmas attīstību. Lai novērtētu pūšļu fuka ietekmi uz miežu sakņu augšanu un attīstību, laboratorijas apstākļos tika veikti veģetācijas testi. Veģetācijas testi tika veikti 50 mL plastmasas traučīšos, kas tika piepildīti ar augsnes substrātu „Sulfinor”. Augsne satur > 90% organisko vielu, pH 5,5-6,5; Ca -1,1%, Mg -0,06%, mitrums 60 %, frakcijas izmērs 0-10 mm. Augsnes ielabošanai pūšļa fuks tika iestrādāts augsnē 10-30 ± 0,1 g/kg (1,7-5,1 t /ha) daudzumā. Otrā eksperimentā kā augsne substrāts tika izmantota iepriekšminētā kūdra sajaukta ar smiltīm (1:1, w/w). Katrā traukā tika iesētas 10 miežu sēklas. Katrs eksperiments tika atkārtots 3 reizes. Miežu sēklu dīgšanas un augšanas apstākļi bija sekojoši: 18°C, gaisa mitrums 90%, gaismas intensitāte 30%. Veģetācijas periods ilga 20 dienas. Pēc 20 dienām, izmantojot kalibrējošo skeneri STD-160CT un programmu WinRhizo2002C, tika veikta sakņu sistēmas analīze nosakot kopējo sakņu garumu, sakņu galiņu skaitu, sakņu atzarojumu skaitu un vidējo dīgsta garumu (14. attēls).



1

14. attēls. Skenētas miežu saknes izmantojot kalibrējošo skeneri STD-160CT

Pārbaudot pūšļu fuka kā miežu sēklu augšanas aktivatoru, tika konstatēts, ka palielinoties aļģu koncentrācijai (līdz 5,1 t/ha) tiek labāk sekmēta miežu sakņu sistēmas augšana un attīstība. Palielinoties sakņu matiņu skaitam palielinās auga spēja uzņemt barības vielas no augsnes.

2.12. tabula. Pūšļu fuka ietekme uz miežu sēklu sakņu sistēmas augšanu un attīstību kā augsni izmantojot kūdru

Paraugs	Kopējais sakņu garums, cm	Sakņu galiņu skaits	Sakņu atzarojumu skaits	Vidējais dīgsta garums, mm
Kontrole	55	394	294	26
Aļģes 1,7 t/ha	58	402	316	28
Aļģes 3,4 t/ha	62	416	314	30
Aļģes 5,1 t/ha	92	709	386	29

Dažādos substrātos aļģu efekts var atšķirties tāpēc tika pārbaudīta aļģu ietekme arī nabadzīgākā augsnes substrātā, kas saturēja smiltis un kūdru.

2.13. tabula. Pūšļu fuka ietekme uz miežu sēklu sakņu sistēmas augšanu un attīstību kā augsni izmantojot kūdru sajauktu ar smiltīm

Paraugs	Kopējais sakņu garums, cm	Sakņu galiņu skaits	Sakņu atzarojumu skaits	Vidējais dīgsta garums, mm
Kontrole	32,2	31,4	22,9	26
Aļģes 1,7 t/ha	32,1	40,8	25,1	28
Aļģes 3,4 t/ha	44,1	58,3	44,6	30
Aļģes 5,1 t/ha	54,7	56,1	61,6	29

Neskatoties uz to ka komposts pašlaik vēl atrodas nogatavošanas fāzē tika veikti veģetācijas eksperimenti izmantojot gurķu sēklas (*Cucumis sativus*). Gurķis ir stenobionta augs, t.i. labi aug labvēlīgos stabilos apstākļos un ļoti jutīgi pret mēslošanu ar slāpekļa mēslojumu (Chang *et al.*, 2017).

2.14. tabula. Komposta ietekme uz gurķu sakņu sistēmas augšanu un attīstību (komposta deva 4,6 t/ha)

	Kopējais sakņu garums, cm	Sakņu galiņu skaits	Vidējais dīgsta garums, cm
Komposts 1	49±5	131±25	11,2±0,3
Komposts 2	61±6	128±19	12,7±1,0
Komposts 3	63±6	150±21	12,1±1,3
Komposts 4	55±6	117±13	12,1±0,5

Iegūtie rezultāti parāda, ka visefektīvāk uz gurķu sakņu sistēmas attīstību iedarbojās komposts Nr 3.

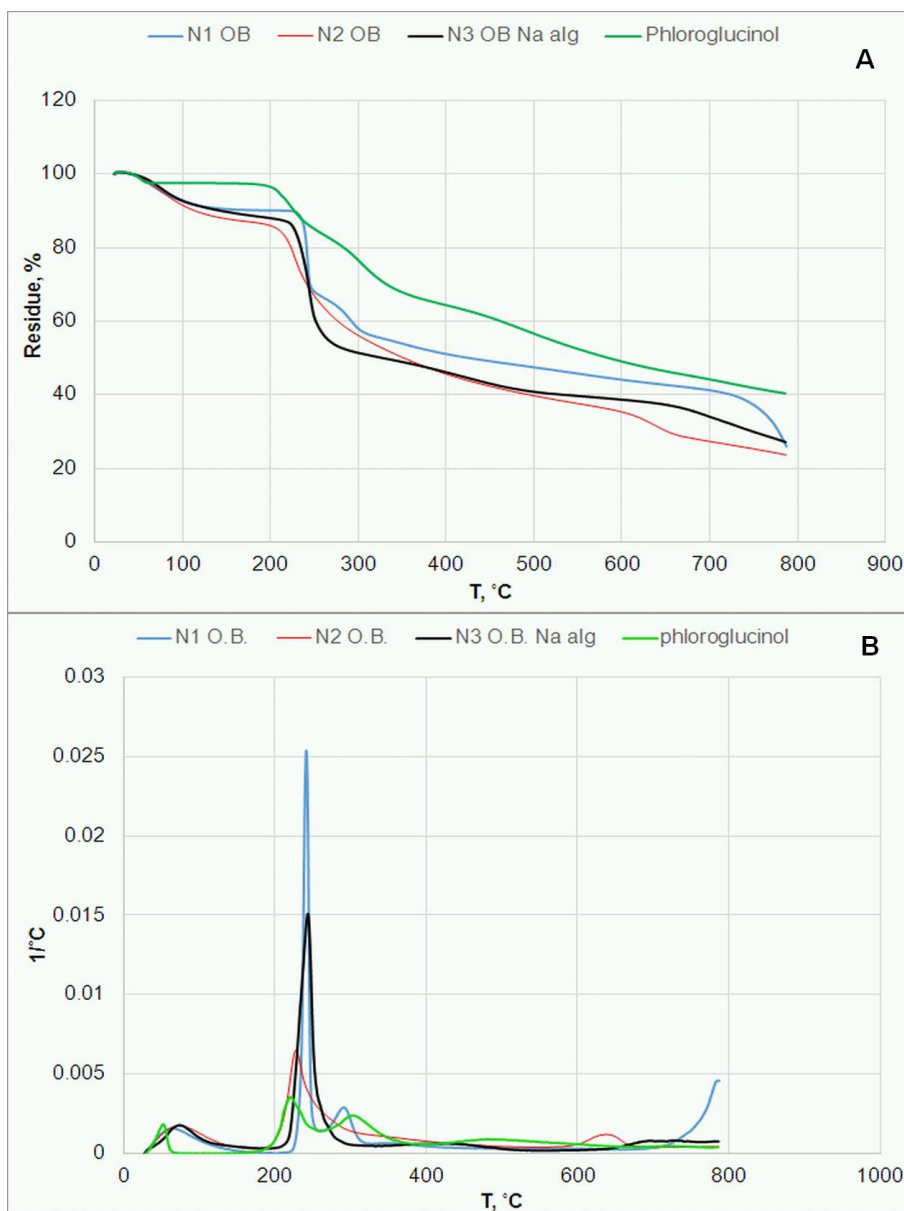
3. Pūšļu fuka ekstrakcija (WP2)

Balstoties uz literatūras apskatu un mūsu iepriekšējiem pētījumiem, var izvirzīt pieņēmumu, ka pūšļu fuks var būt vērtīga izejviela biokimikāliju ražošanai. Pūšļa fuka

galvenās priekšrocības ir izejvielu pieejamība. Tā ir viena no visbiežāk sastopamām izskalojamām jūras aļģēm Rīgas līča piekrastē. Atsevišķās vietās to daudzums sastāda 90 un vairāk procentu un to ir viegli atdalīt no pārējam jūras aļģēm. Pūšļa fuks satur minerālvielas, vitamīnus, bioloģiski aktīvus zemmmolekulāros savienojumus un polisaharīdus. Pārtikas un Veterināra dienesta uztura bagātinātāju reģistra ir vairāki produkti ar pūšļa fuka ekstraktu. Piemēram, MASTOFIT “Evalar”®, Vodorosli dolgoletija /Fukuss, SLIM TRIO, XYNG™ uc. (<https://registri.pvd.gov.lv/ub>). Neskatoties uz bioloģiski aktīvu savienojumu klātbūtni pūšļu fukā, pagaidām zāļu reģistrā nav reģistrēti medikamenti no pūšļu fuka.

Izpētot literatūru mēs fokusējāmies uz galveno mērķa produktu sulfurēto polisaharīdu fukoidānu. Pirms fukoidāna ekstrakcijas no pūšļa fuka ir nepieciešams veikt etanola ekstrakciju, un etanola ekstrakts satur bioloģiski aktīvus florotanīnus. Savukārt izekstrahētais atlikums satur hidrocoloīdu alginātu. Igaunijas pētnieki (Truus *et al.*, 2001) parādīja, ka alginātu viskozitāte ir atkarīga no ekstrakcijas temperatūras. Tāpēc pirms pūšļu fuka ekstrakcijas tika pārbaudīta nātrija algināta, fukoidāna un florotanīnu monomēra floroglucīna termiskā stabilitāte, izmantojot termogravimetrisko analīzi.

Termogravimētriskā analīze parāda masas zudumu parauga sildīšanas laikā (15. attēls). Neliels masas zudums pie 105 °C atbilst sorbētam ūdenim. Savukārt paraugu sadalīšana sākas pie 180 °C. Respektīvi, visi savienojumi ir stabili plašā temperatūras diapazonā un paraugus var ekstrahēt paaugstinātā temperatūrā.



15. attēls. Fukoidāna, nātrijs algināta un floriglicīna termogravimetriskās līknes (A) un diferencialās līknes (B) (N1 – fukoidāns “Sigma Aldrich”, N2 – no pūšļu fuka izekstrahētais fukoidāns, N3 – nātrijs algināts).

Iepriekšējos eksperimentos paraugi tika ekstrahēti izmantojot sekojošu ekstrakcijas shēmu: ekstrakcija ar heksānu → ekstrakcija ar etilacetātu → ekstrakcija ar 85% etanolu → ekstrakcija ar 2% CaCl_2 šķīdumu (“pilnā” ekstrakcija) (Bikovens *et al.*, 2017). Acīmredzot šī shēma ir pārāk komplicēta. Tāpēc tā tika vienkāršota. Ekstrakcija ar 85% etanolu → ekstrakcija ar 2% CaCl_2 šķīdumu → (ekstrakcija ar 4% nātrijs karbonāta šķīdumu) (“saīsināta” ekstrakcija). Ekstrakcijai izmantoja paātrinātā šķīdinātāja ekstrakciju, kas ļauj ietaupīt ekstrakcijas laiku un reagentus.

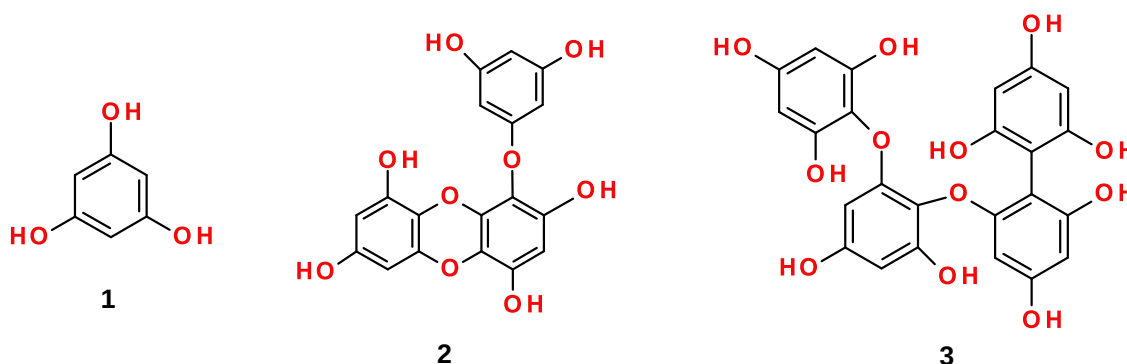
3.1. tabula. Ekstraktvielu iznākums no pūšļu fuka

Ekstrahents	“Pilnā” ekstrakcija Iznākums, %*	“Saīsinātā” ekstrakcija Iznākums, %
Heksāns	0,9±0,2	-
Etilacetāts	3,1±0,1	-
85% etanols	7,3±0,4	6,8±0.5
2 % CaCl ₂	10,1±0,2	9,8±0.3

* - rezultāti no Bikovens *et al.* (2017)

Kā redzams no 3.1. tabulas ekstraktvielu iznākums pēc saīsinātās shēmas ir statistiski līdzīgs iepriekš iegūtajiem rezultātiem. Kopējo polifenolu noteikšanai izmantojām Folina-Čikolto spektrofotometrisko metodi. Polifenolu saturs pūšļu fuka 85% etanola ekstraktā iegūtā pēc “saīsinātās” ekstrakcijas shēmas sastādīja 222±22 GSE (gallusskābes ekvivalenti)/g. Tas ir līdzīgs fenolu saturam, kas tika iegūts iepriekš (230±10 GSE/g), bet mazāks salīdzinot ar polifenolu saturu etilacetāta ekstraktā (430±30 GSE/g).

Florotanīnu pierādīšanai etanola ekstraktā tika izmantota masspektrometrija. Individuālu savienojumu identifikācija parādīja, ka iegūtais etanola ekstrakts satur florotanīnus, kuru pamatā ir ekola (2), fukodifloroetola (3), un fukofloretole oligomēri (16. attēls). Iegūtā etanola ekstrakta antioksidantā aktivitāte IC₅₀ bija 90 mg/L, kas ir mazāka par iepriekš iegūto ekstraktu aktivitāti.

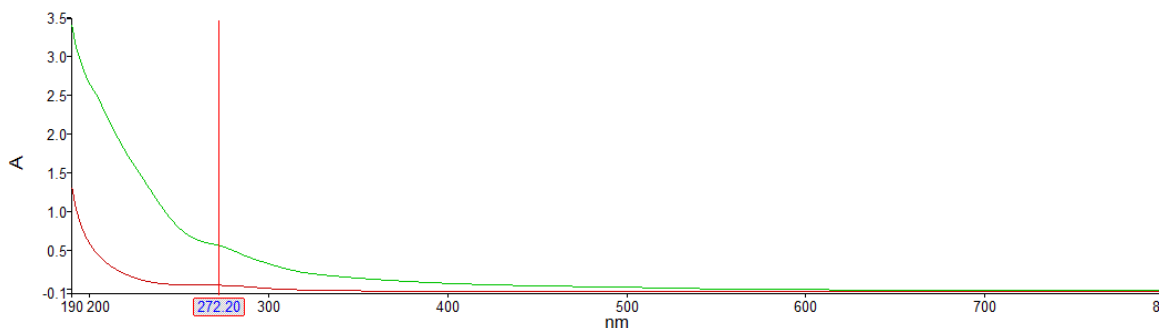


16. attēls. Florotanīnu monomēri – floriglicīns (1), ekols (2) un fukodifloroetols (3)

Fukoidāna ekstrakcijai tika izmantots CaCl₂ šķīdums. Kalcija sāļu klatbūtnē var selektīvi izšķīdināt fukoidānu, jo algināti un olbaltumvielas kalcija jonu klatbūtnē nešķīst. Iegūto CaCl₂ šķīdumu attīrīja no zemmolekulāriem savienojumiem, izmantojot dialīzes membrānas ar caurlaidību 1000 Da. Iegūto ekstraktu liofili izžāvēja, uzņēma FTIS un UV spektrus, un veica cukuru analīzi. Salīdzināšanai izmantoja “Sigma Aldrich” >95% tīrības

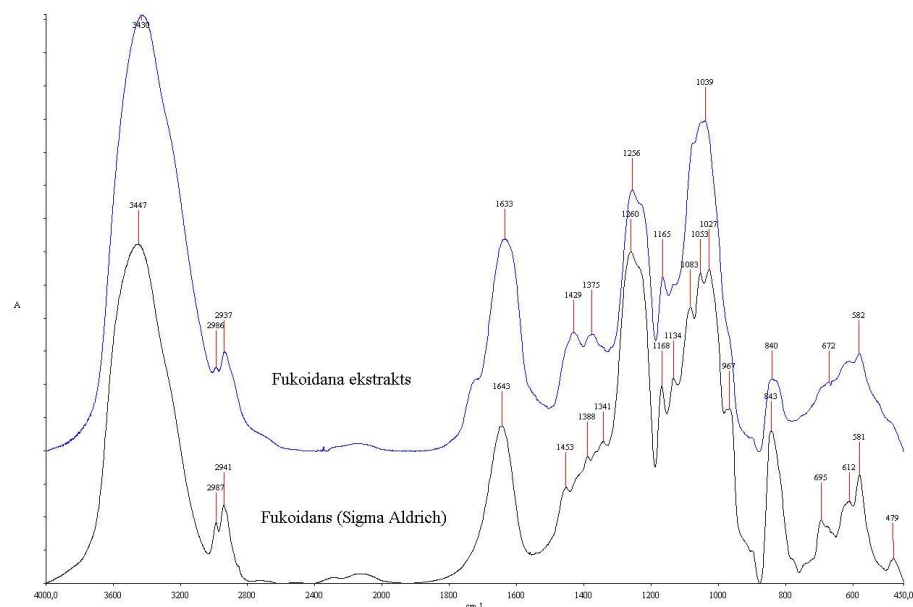
fukoidānu, kas iegūts no pūšļu fuka (*Fucus vesiculosus*)
<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/f8190?lang=en®ion=LV>.

Fukoidāns nesatur hromoforas grupas un plašā UV-VIS diapazonā tas ir caurspīdīgs, bet mūsu iegūtais ekstrakts ir gaiši brūnā krāsā, kas UV spektros parādās kā neliela absorbcija, kas pieaug UV diapazonā, bez izteiktiem maksimumiem un nelielu pārliekumu pie 272 nm (17. attēls).



17. attēls. Fukoidāna (sarkanā līnija - 95%, Sigma Aldrich) un fukoidāna saturoša ekstrakta UV-VIS spektri

FTIS spektri (18. attēls) parādīja, ka izdalītais preparāts satur ievērojamu daudzumu fukoidānu ($S=O$ asimetriskās svārstības pie 1230, 845 cm^{-1}) un iespējamus ogļhidrātu piemaisījumus.



18. attēls. Fukoidāna un fukoidānu saturoša ekstrakta FTIR spektri

Lai pārbaudītu ogļhidrātu piemaisījumu klātbūtni, tika veikta iegūtā ekstrakta neitrālo cukuru analīze (3.2. tabula).

3.2. tabula. Fukoidāna un fukoidānu saturoša ekstrakta neitrālo cukuru sastāvs

Paraugs	Neitrālie cukuri							Kopā
	Rha, %	Fuc, %	Ara, %	Xyl, %	Man, %	Gal, %	Glc, %	
Fukoidāns (Sigma Aldrich)	-	34,3 ±0,9	-	-	-	-	-	34,3±0,9
Fukoidāna ekstrakts	0,46 ±0,08	33,5 ±1,7	0,39 ±0,19	-	1,60 ±0,19	3,54 ±0,16	1,86 ±0,12	41,4±1,5

* rha – ramnoze, fuc – fukoze, ara – arabinoze, man – mannoze, gal – galaktoze, glc – glikoze.

Iegūtie rezultāti apstiprināja pieņēmumu par ogļhidrātu piemaisījumiem iegūtajā ekstraktā. Iespējams, tās ir šķīstošās hemicelulozes. Savukārt fukozes saturs ir līdzīgs kā fukoidāna preparātā.

Lielo fukoidāna saturu iegūtajā ekstraktā apstiprina arī elementu analīzes rezultāti – sēra saturs ekstrakta sastāda 6,9%, kas atbilst apmēram 20% sulfogrupu.

Ne vienmēr ir nepieciešama tik augsta tīrība, kāda tā ir Sigma Aldrich preparātam. Iegūtam fukoidānu saturošam ekstraktam ir vērā ņemama bioloģiskā aktivitāte. Iegūtais ekstrakts 10.12.2018 ir nodots pārbaudēm Rīgas Stradiņu universitātes Cilvēku fizioloģijas un bioķīmijas katedras Asoc. Prof. Jeļenai Krasilņikovai. Provizorisks rezultāti liecina, ka iegūtais fukoidānu saturošais ekstrakts pozitīvi ietekmēja cilvēka gremošanas sistēmas fermentus - pankreatisko lipāzi un aktivizēja lingvālo amilāzi, kas atvieglo cietes hidrolīzi un uzlabo gremošanas sistēmu (Krasilnikova, 2018).

Pūšļu fuks satur hidrocoloīdu alginātu. Uronskābju saturs pūšļu fukā sastādīja 15,3%. Tika veikti eksperimenti, lai izdalītu alginātskābi no pūšļu fuka. Izejas pūšļa fuka šķīdība nātrija karbonāta šķīduma sastāda 59%. Rodas tumši brūns viskozs ekstrakts, kura dzidrināšanai tika izmantota ūdeņraža pārskābe (Podkorytova and Aminina, 1989). Pēc ūdeņraža pārskābes pievienošanas ekstrakts kļuva gaiši brūns un pēc paskābināšanas (pH 2) no tā izkrita alginātskābes gēls. Šķīdumu centrifugēja, filtrēja un pēc žāvēšanas ieguva alginātskābi ar iznākumu 8%. Tas ir neliels iznākums, kas sastāda apmēram pusi no noteiktā kopējā uronskābju satura pūšļa fukā. Igaunijas pētnieki parādīja, ka Baltijas jūras pūšļu fuka alginātam ir salīdzinoši neliela viskozitāte, kas atkarīga no ekstrakcijas temperatūras (Truus *et al.*, 2001). Mūsdienās alginātu ražošanai aļģes ar augstu alginātu saturu audzē akvakultūrās (Porse and Rudolph, 2017) un pūšļu fuka izmantošana alginātu ekstrakcijai ir neizdevīga. Taču alginātskābi var ekstrahēt nevis no svaigām aļģēm, bet no atlikuma pēc fukoidāna ekstrakcijas, kā to apraksta Sokolan *et al.* (2018). Tas dotu iespēju racionāli izmantot izejvielas un vienlaikus iegūt alginātskābi kā blakusproduktu. Tomēr jāņem vērā, ka fukoidāns ir nišas produkts ar lielu pievienoto vērtību, bet salīdzinoši nelielu tirgu, bet algināts ir lieltonnāžas produkts. Fukoidāna un algināta iznākums ir salīdzināms, un šādos apjomos alginātu ražošana būtu neefektīva pēc autora domām.

Mūsu iepriekšējie pētījumi parādīja, ka izekstrahēto pūšļa fuka atlikumu pēc ekstrakcijas ar CaCl_2 var izmantot kā augsnes mēslošanas līdzekli (Bikovens *et al.*, 2017). Izekstrahētais atlikums satur pat vairak slāpekļa savienojumu, kā izejas pūšļu fuks un neinhibē augu dīgšanu un attīstību.

Ekstrakcijas ražošana neatrisina pludmales sakārtošanas problēmu, tomēr tā var pavērt iespēju vietējiem iedzīvotājiem vākt izejvielas (pūšļu fuku) un sagatavot tās (šķirot, mazgāt) ekstrakcijas pārstrādei. Ekstraktu ražošanai var izmantot jau esošās ekstrakcijas ražotnes, tomēr tehnoloģijas izstrādāšanai ir nepieciešami atsevišķi pētījumi. RSU speciālistu atzinuma - fukoidāns ir perspektīvs produkts uztura traucējumu korekcijai, taču pirms tā izmantošanas ir nepieciešami plašāki pētījumi.

SECINĀJUMI

Apsēkotajās Saulkrastu, Jūrmalas un Engures novada pludmalēs jūras sanesumos rudenī dominēja brūnaļģe pūšļu fuks (*Fucus vesiculosus*) un kladofora (*Cladophora glomeratus*). Carnikavas pludmalē aļģu sanesumi pētījuma laika netika konstatēti. Izskaloto aļģu biomasas sastāvs ir heterogēns. Tika identificētas 9 aļģu sugas.

Izskaloto aļģu biomasā satur ievērojamu daudzumu smilšu. Smilšu saturu var samazināt vācot aļģes ar speciālu tehniku, piemēram, jūras zāļu vācēju “Surf Race”. Aļģu ekstraktu iegūšanai ir nepieciešams aļģes šķirot un mazgāt.

Brūnaļģes satur vairāk K un P nekā zaļāļģes, savukārt N satur vairāk zaļāļģes. Brūnaļģu nelielais sāļums, zemais smago metālu saturs un veiktās pārbaudes ļauj rekomendēt to izmantošanu lauksaimniecībā svaigā vai samaltā veidā, kas saskan ar ANO Pārtikas un lauksaimniecības organizācijas rekomendācijām.

Izskalojot zaļāļģes un brūnaļģes var veiksmīgi kompostēt arī rudens sezonā. Ieteicamā komposta kompozīcijā sastāv no zaļāļģēm vai brūnaļģēm, zāles un zāģskaidām. Zāle nodrošina augstu temperatūru kompostēšanas laikā, bet zāģskaidas nodrošina stabilu trūdvielu veidošanos.

Kompostēšanas laikā nepatīkamu smaku emisija bija minimāla pirmajās nedēļās. Pēc komposta kaudžu aerācijas gāzveida emisija beidzās. Tika sagatavotas eksperimentālās komposta partijas, kas ir pieejamas projekta pasūtītājam.

Balstoties uz literatūras apskatu, var izvirzīt pieņēmumu, ka pūšļu fuks ir vērtīga izejviela, no kuras vienlaikus var iegūt dažādus produktus ar pievienoto vērtību pārtikas, kosmētikas un iespējams farmācijas vajadzībām. Pašlaik Latvijas tirgū ir virkne uztura bagātinātāju, kas satur pūšļa fuka ekstraktus, bet zāļu ražošanā pagaidām pūšļa fuku neizmanto.

Izmantojot ekstrakciju, no pūšļa fuka var iegūt etanola ekstraktu ar antioksidantām īpašībām, sulfūrētu polisaharīdu fukoidānu un hidrokoloidu alginātu. Etanola ekstrakta antioksidantā aktivitāte ir neliela. Iespējams, ka no etanola ekstrakta var izdalīt bioloģiski aktīvus savienojumus florotanīnus. Fukoidāna iznākums no pūšļa fuka sastāda ~7%. Sadarbībā ar Rīgas Stradiņa universitāti uzsākti fukoidāna aktivitātes pētījumi attiecībā uz gremošanas sistēmas fermentiem. Alginātskābes iznākums no pūšļa fuka un tā viskozitāte ir zemāka salīdzinot ar tirdzniecības produktu un tā ražošana no pūšļa fuka varētu būt neizdevīga.

PATEICĪBA

Rezultātus, kas ir atspoguļoti atskaitē, ir iegūvuši Latvijas Valsts Koksnes ķīmijas institūta lignīna ķīmijas laboratorijas līdzstrādnieki *Dr.chem.* Oskars Bikovena vadībā: *Dr.sc.ing.* S. Janceva, *Dr.biol.* I. Puriņa, *M.Sc.* L. Lauberte, *Dr.habil.chem.* G. Teliševa; kā arī LV KĶI Lignīna laboratorijas līdzstrādnieki *M.Sc.* L. Vēvere, *M.Sc.* A. Andersone, *M.Sc.* L. Jašina, *Dr.chem.* M. Lauberts sadarbībā ar SIA “Zeltābele” (valdes loceklis I. Jakušina).

Atsevišķi gribu pateikties Rīgas Purvciema vidusskolas ķīmijas un bioloģijas skolotājiem Tatjanai Sahno un Marinai Kazadajevai, kuru vadībā 11 a klases skolnieki, šī projekta ietvaros, izstrādāja savus zinātniski pētnieciskos darbus.

IETEIKUMI

Eksperimentāli parādīts, ka LVKĶI pieeja nepārtikas augu biomasas kompostēšanai, ko iepriekšējo projektu ietvaros izstrādāja LVKĶI komanda sadarbībā ar SIA “Zeltābele”, nodrošina arī efektīvu pētamo aļģu transformāciju, ko apstiprina procesa parametru izmaiņu dinamika (temperatūra, ilgums, kompostējama maisījuma pH), un kas garantē komposta kvalitāti. Iegūta komposta sertifikācijai, kā arī tehnoloģisko parametru un, atbilstoši, procesa tehnoloģiska reglamenta noteikšanai/precizēšanai, ir nepieciešams veikt eksperimentu lauku kompostēšanas apstākļos, kuros kompostēšanas procesu būtu jāplāno uzsākt ne agrāk par maiju, jo sākoties aukstam laikam (novembris, decembris, janvāris) komposta nobriešana palēninās un tas nepaspēj sasniegt pilnīga brieduma stadiju līdz atkal sākas siltums. Iesniegtais tehnoloģiskā reglamenta pamatprojekts iekļauj galveno operāciju secību un kopējo raksturojumu aprakstu, kas ir nepieciešami, lai realizētu kompostēšanu, kā arī procesa un produkcijas kvalitātes vēlamās kontroles paņēmienus. Balstoties uz veikto pētījumu rezultātiem tika sastādīti pagaidu tehniskie noteikumi eksperimentālo aļģu komposta partiju sagatavošanai rudenī.

Pagaidu tehniskie noteikumi

Konkrētie pagaidu tehniskie noteikumi ir pielietojami izskaloto zaļāļģu un brūnāļģu kompostēšanai. Zaļāļģu kompostēšanai aerēšanai biežums var atšķirties (skat. Piezīmes). Rudens sezonā kompostēšana tiek veikta slēgtās, bet vēdināmās telpās. Telpām ir jābūt ar ūdensnecaurlaidīgu segumu un ūdeņu savākšanas sistēmu, lai novērstu gruntsūdeņu piesārņošanu.

Vēlamā telpas temperatūra dienas laika $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ kompostēšanas sākumstadijā.

1. Komposta izejvielas:

- a. Izskalotu brūnāļģu vai zaļāļģu maisījums. Brūnāļģu maisījumā pūšļu fuks sastāda vairāk kā pusi no izskalošanās aļģu biomasas. Iespēju robežās vēlams izmantot aļģes ar mazāku smilšu saturu. Smilšu saturu var samazināt ar aļģu sijāšanu;
- b. Svaigi plauta zāle, galvenokārt graudzāļu dzimtas;
- c. Lapkoku zāģskaidas. Nedrīkst izmantot skujkoku zāģskaidas!
- d. Speciāli sagatavots sējmateriāls, kas satur lignocelulozi noārdošus mikroorganismus. Zarina, D., Utinans, F. Latvian Patent No 13022, 20.09.2003.

2. Komposta kompozīcijas piemērs:

- a. Brūnaļģes 315 kg;
- b. Zāle 95 kg;
- c. Zāģskaidas 150 kg;
- d. Sējmateriāls 2 l.

3. Komposta vējrindas sastādīšana.

Komposta kaudzes izejvielas liek secīgi pa kārtām Zāģskaidas-Alģes-Zāle-Sējmaterials-Alģes-Zāle-Sējmateriāls. Komposta komponentu sajaukšana notiek mehāniski irdinot kaudzi. Sastādot komposta kompozīciju jāievēro optimalā oglekļa slāpekļa attiecība robežās no 30 līdz 40. Komposta kaudzes mitrumam jābūt no 50-60%. Ja mitrums ir lielāks par 70% pievieno papildus sausās skaidas, lai novērstu anaerobu apstākļu veidošanos.

4. Kompostēšanas process.

- a. Kompostēšanas laikā kontrolē kaudzes temperatūru, mitrumu, pH un gāzu emisiju;
- b. Kompostēšanas laikā regulāri veic komposta kaudzes aerēšanu, mehāniski irdinot kaudzi ik pēc 2 nedēļām. Pēc trešās aerēšanas kaudzes irdina pēc mēneša;
- c. Kompostēšanas laikā komposta kaudzes temperatūra nedrīkst pārsniegt 80 °C. Ja temperatūra sasniedz 80 °C veic komposta kaudzes papildus ventilēšanu.
- d. Samazinoties komposta kaudzes mitrumam zem 50% komposta kaudzi mitrina ar savākto "komposta sulu" vai ūdeni tā, lai, saspiežot kompostu rokā, veidotos stabila pika, bet neizdalītos šķidrums.
- e. Ja komposta kaudzes pH samazinās zem 5 komposta kaudzi apstrādā ar dolomīta miltiem.
- f. Vēlamais kompostēšanas termofilās stadijas garums divas nedēļas, lai nodrošinātu komposta pastērizāciju (10 dienas temperatūra >55 °C, vai 5 dienas >60 °C).
- g. Komposta atdzišana ilgst 2-3 mēnešus.

5. Gatavais komposts.

Gatavam kompostam ir jāatbilst kvalitātes prasībām, kas noteiktas MK noteikumos Nr 506 "Mēslošanas līdzekļu un substrātu identifikācijas, kvalitātes atbilstības novērtēšanas un tirdzniecības noteikumi". Komposta mitrums nedrīkst pārsniegt 75%. Neskatoties uz to, ka Latvijas likumdošana neregulē komposta C/N attiecību, vēlams, lai tā būtu <20 (Spānijas dekrēts par mēslošanas līdzekļiem - Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes.). Smago metālu un mikroorganismu nevēlamo

piemaisījumu maksimāli pieļaujamā koncentrācija mēslošanas līdzeklī un substrātā nosaka MK noteikumu Nr 506 3. Pielikums.

Uz komposta iepakojuma jābūt norādītam $\text{pH}_{(\text{KCl})}$, elektrovadītspējai, mS/cm, organiskām vielām (%), kopējam slāpeklim (N), kopējam fosforam (P_2O_5), kopējam kālijam (K_2O) un mitrumam (%). Mēslošanas līdzekļu un substrātu reģistrāciju un apriti uzrauga LV ZM Valsts Augu aizsardzības dienests.

Piezīmes. Zaļāļģu biomasu var veiksmīgi kompostēt kopā ar zāli un zāģskaidām. Ņemot vērā, ka zaļāļģēm ir lielāks beramais svars un mazāka porozitāte kompostēšanas laikā komposta kaudzē var veidoties anaerobie apstākļi un komposta kaudzes aerāciju sākumā jāveic biežāk, ka brūnāļģēm.

Pavasārī-vasarā aļģu komposta vējrinčas var iekārtot ārpus telpām, āra kompostēšanas poligonos.

Literatūras saraksts:

Ariede, M.B., Candido, T.M., Jacome, A.L.M., Velasco, M.V.R., de Carvalho, J.C.M., Baby, A.R. (2017) Cosmetic attributes of algae – A review. *Algal Res.* **25**: 483-487.

Balode, M., Strāķe, S. (2018) Jūras aļģu sanesumu izvērtēšana Latvijas piekrastē (ziņojums). Seminārs "Jūras aļģu sanesumu izvērtēšanas un apsaimniekošanas plāna izstrādes rezultāti Latvijas piekrastē, saimnieciskā darbība un vides aizsardzība" Lapmežciems, Engures novads. 02. novembris 2018. http://www.plj.lv/docs/1062/___Prezent___cija_LAPMEZCIEMA_SEMIN___R___02112018.pptx

Bikovens, O., Lepane, V., Makarõtševa, N., Dizhbite, T., Telysheva, G. (2012) The complementary use of UV, EPR and SEC to study the structural changes of humic substances during wood waste composting. In book: *Functions of Natural Organic Matter in Changing Environment*. p. 113-115. Springer Netherland. doi: 10.1007/978-94-007-5634-2_20

Bikovens, O., Ponomarenko, J., Janceva, S., Lauberts, M., Vevere, L., Telysheva, G. (2017) Development of the approaches for complex utilization of brown algae (*Fucus vesiculosus*) biomass for the obtaining of value-added products. In book: Raupaliene, A. (ed.) *Proceedings of the 8th International Scientific Conference Rural Development 2017: Bioeconomy Challenges*. p. 218-221. doi: 10.15544/RD.2017.091.

Chang, R.X., Michel Jr., F.C., Gan, J.J., Wang, Q., Wang, Z.Z., Li, Y.M. (2017) Effect of single and combined herbicides in compost on growth of sensitive crops: green bean, cucumber, and tomato. *Compost Science & Utilization*. **25**:sup1, S23-S30.

Fabrowska, J., Kapuscinska, A., Łeska, B., Feliksik-Skrobich, K., Nowak, I. (2017) In vivo studies and stability study of *Cladophora glomerata* extract as a cosmetic active ingredient. *Acta Poloniae Pharmaceutica – Drug Research*. **74**(2): 633-641.

FAO (2003) A guide to the seaweed industry. Rome. ISBN 92-5-104958-0.

FAO (2018) The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals. Rome. ISBN 978-92-5-130562-1.

Korolev, A., Fetter, M. (2004) Monitoring of macro algae and blue mussels stocks in the Eastern Baltic. In: *USA-Baltic International Symposium, BALTIC 2004*; Klaipeda; Lithuania; 15.06.-17.06.2004. Article number 7296834.

Korolev, A., Kuznetsova, T., Drozdetsky, V. (1993) Investigations of the *Furcellaria lumbricalis* distribution and abundance at the eastern coast of the Baltic Sea. International Council for the Exploration of the Sea. Baltic Fish Committee. C.M.1993/L:39

Krasilnikova, J. (2018) personīga komunikācija.

Latvijas Bioekonomikas stratēģija 2030. (2017) Zemkopības Ministrija. Informatīvais ziņojums. tap.mk.gov.lv/doc/2017_08/ZMZino_310717_LIBRA.831.doc (skatīts 31.01.2019.)

Latvijas Hidroekoloģijas Institūts (LHEI). (2017) Rīgas plānošanas reģionā ietilpstošajā jūras piekrastē izskaloto makroaļģu izmantošanas iespējas biomēslošanai. Metālu saturs izskalotajās aļģēs. (ziņojums)

Martin, G., Kuk, E., Kuk, H., Kotta, J. (2004) Historical review of the literature on phytobenthic investigations in the Gulf of Riga. Proc. Estonian Acad. Sci. Chem. **53**(4): 236-250.

Melton, L.D., Smith, B.G. (2005) Determination of the Uronic Acid Content of Plant Cell Walls Using a Colorimetric Assay. In book: Handbook of Food Analytical Chemistry. Vol. 1-2. p. 735-738. John Wiley and Sons Ltd. DOI: 10.1002/0471709085.ch17

Michalak, I. and Chojnacka, K (2013) Algal compost – toward sustainable fertilization. Rev. Inorg. Chem. **33**(4): 161-172.

Obluchinskaya, E.D., Voskoboinikov, G.M., Galunkin, V.A. (2002) Contents of alginic acid and fuccidan in *Fucus* algae of the Barents sea. Appl. Biochem. Microbiol. **38**(2): 186-188.

Podkorytova, A.V., Aminina, N.M. (1989) Osobenosti poluchenija pischevogo alginata natrija iz fukusovyh vodoroslei. Rybnoe hozjajstvo, N7, p.95. (krievu val.)

Ponce, N.M.A., Pujol, C.A., Damonte, E.B., Flores, M.L., Stortz, C.A. (2003) Fucoidans from the brown seaweed *Adenocystis utricularis*: extraction methods, antiviral activity and structural studies. Carbohydrate Res. **338**: 153-165.

Porse, H. and Rudolph, B. (2017) The seaweed hydrocolloid industry: 2016 updates, requirements, and outlook. J. Appl. Phycol. **29**(5): 2187-2200.

Rioux, L.E., Turgeon, S.L. (2015) Seaweed carbohydrates. In book: Tiwari, B.K., Troy, D.J. (Eds) Seaweed Sustainability. Food and Non-Food Applications. Elsevier Inc. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-418697-2.00007-6>

Santamaría-Romero, S., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J.J., Galvis-Spinola¹, A., Barois-Boullard, I. (2001) Dynamic and relationships among microorganisms, C-organic and N-total during composting and vermicomposting. *Agrociencia* **35**(4): 377-384.

Sokolan, N.I., Kuranova, L.K., Voron'ko, N.G., Grohovskiy, V.A. (2018) Investigation of the possibility of producing sodium alginate from the product of processing fucus algae. *Vestnik VGUIT*. **80**(1): 161-167. (Krievu val.)

Tan, K.H. (2005) Soil sampling, preparation, and analysis – second edition. NY: Taylor & Franciss group, 623.

Truus, K., Vaher, M., Taure, I. (2001) Algal biomass from *Fucus vesiculosus* (*Phaeophyta*): Investigation of mineral and alginate components. *Proc. Estonian Acad. Sci. Chem.* **50**(2): 95-103.

Zariņa, D. and Utinans, F. (2003) Method for biocomposting the organic waste in field conditions. Latvijas patents No 13022, 20.09.2003.

Sastādīja:

Oskars Bikovens

Apstiprināja:

Direktors Uģis Cabulis

Datums:

31.01.2019.

PIELIKUMS



1. Attēls. Jūras zāļu vācējs “Surf Race”, Lapmežciems, Engures novads. 02.11.2018.



2. Attēls. SIA “Zeltābele” kompostēšanas angārs, Jaunauce.



3. Attēls. Eksperimentālās komposta kaudzes ar aļģēm. 19.10.2018.



4. Attēls. Komposta kaudzes Nr. 2 un 5 ar sadīgušu zali. 13.11.2018.