



samk



Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

SAMI TIAINEN

LEVÄ PAKKAUSKARTONGIN RAAKA-AINEENA

KONETEKNIIKAN TUTKINTO-OHJELMA
2021

Tekijä(t) Tiainen, Sami	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä marraskuu 2021
	Sivumäärä 40	Julkaisun kieli Suomi
Julkaisun nimi Levä pakkauskartongin raaka-aineena		
Tutkinto-ohjelma Konetekniikka		
<p>TIIVISTELMÄ</p> <p>Tämän päivän trendi on ollut etsiä ympäristöystävällisempiä ratkaisuja teolliseen tuotantoon. Muovien tiedetään olevan haitallisia ympäristölle, jonka vuoksi vaihtoehtoista materiaalia on tutkittu ympäristön hyväksi.</p> <p>Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin ja selvitettiin levien käyttöä raaka-aineena painopisteinä pakkausteollisuus. Aineisto kerättiin pääasiassa kirjallisuuskatsauksista, kuten tieteellisistä lehdistä, artikkeleista tai julkaistuista kirjoista. Analyysi suoritettiin tämän tutkimuksen saavuttamiseksi kerättyjen tietojen perusteella.</p> <p>Kirjallisuudessa esiintyvien tutkimustulosten mukaan pakkausmateriaaleja voidaan valmistaa leväbiomassasta eri tavoin. Niiden uskotaan pystyvän kilpailemaan myös syntetettisten muovien kanssa. Levälajit vaikuttavat lupaavilta pakkausmateriaaleina, koska niitä on runsaasti ja ne kasvavat nopeasti. Lisäksi ne tarjoavat joustavuutta tuotantoprosesseihin. Kun levämassa on kerätty, se voidaan jalostaa halutuksi biopohjaiseksi pakkausmateriaaliksi. Merilevien alginaateista voidaan esimerkiksi jalostaa kartonkia ja paperia. Lisäämällä massaa ruskeanmerilevän matriiseihin, jolloin saadaan kuitu-leväkomposiittikalvoja, joilla on hyvät mekaaniset ominaisuudet ja hyväksyttävä hydrofiilisyys pakkausmateriaalille. Etuna on myös se, että leviä on mahdollista kasvattaa kontrolloidusti erikseen rakennetuissa prosesseissa.</p> <p>Toisaalta korjuu- ja vedenpoistoprosessit ovat haastavia ja aikaa vieviä levien korkean vesipitoisuuden vuoksi. Tilannetta vaikeuttaa entisestään se, että täysin sopivaa korjuu- ja vedenpoistomenetelmää ei ollut kehitetty. Levät ovat luonnollisia organismeja, joilla on ollut vähän teollista käyttöä.</p>		
<p><u>Asiasanat</u> Levät, uusiutuva raaka-aine, pakkaus, pakkaustuotanto</p>		

Author(s) Tiainen, Sami	Type of Publication Bachelor's Thesis	Date November 2021
	Number of Pages 40	Language of Publication: Finnish
Title of publication Algae as a Raw Material for Packaging Board		
Degree Program Mechanical Engineering		
<p>ABSTRACT</p> <p>Today's trend has been to look for more environmentally friendly solutions for industrial production of different products. Plastics are known to be harmful to the environment, and therefore an alternative material has been explored to benefit the environment. In this study, the possibility of using algae as a raw material was examined and investigated. At the same time, emphasis was placed on the application packaging industry. The material was collected mainly from literature reviews, such as scientific journals, articles, or published books. The analysis was performed on a basis of data collected to achieve the objectives of this study.</p> <p>The result of the study explains that packaging materials can be made from algae biomass in different ways. They are believed to be able to compete with synthetic plastics. Algae species seem promising as packaging materials because they are abundant and grow rapidly. Besides, they offer flexibility and mechanical strength. Once the algae mass is collected, it can be processed into the desired bio-based packaging material. For example, cardboard and paper can be processed from seaweed alginates. By adding the pulp to brown seaweed matrices to obtain fiber-algae composite films with good mechanical properties and acceptable hydrophilicity for the packaging material. One advantage also shows that it is possible to grow algae in built separated processes.</p> <p>On the other hand, harvesting and dewatering processes are challenging and time consuming due to the high-water content of algae. The situation is further complicated by the fact that a fully suitable harvesting and dewatering methods have not been developed yet. Algae are natural organisms that have had little industrial use.</p>		
<p><u>Key words</u> Algae, Renewable Raw Material, Packaging, Packaging Production</p>		

ALKUSANAT

Tutkimustyö on tukenut omaa kehitystäni työelämän tekniikan ammattilaiseksi. Se on myös antanut mahdollisuuden toteuttaa omaa henkilökohtaistani kiinnostustani tutkia tuotannon eri aloja.

Haluan antaa suuret kiitokseni Lehtori Hannelius Timolle hänen antamastaan opastuksesta, avustuksesta ja palautteestaan tutkimustyöhöni.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 MIKSI LEVIÄ KANNATTAA HYÖDYNTÄÄ.....	9
3 LEVÄ: UUSIUTUVA RAAKA-AINE	10
4 LEVÄ RAAKA-AINE	22
5 LEVÄYHDISTEET TUOTANTOPROSESSEISSA	26
5.1 Biomuovit.....	26
5.2 Levien käyttö pakkauskartonkina	27
5.3 Levät paperinvalmistuksessa.....	30
6 PROSESSI KÄYTÄNNÖSSÄ	32
6.1 Käytännön prosessin tulokset.....	34
7 LEVIEN KÄYTTÖ PAKKAUSKARTONGIN TUOTANNOSSA.....	37
7.1 Yleistä	37
8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO.....	38
LÄHTEET.....	40

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

PLA: Poly Lactic Acid

PVC: Polyvinyylidikloridi

CNC: Computer Numerical Control

CNF: Cellulose Nanofibrils

PBR: Photobioreactor / FBR: Fotobioreaktori

ER: Endoplasmic Reticulum

EFB: Empty Fruit Bunch

SAP: Sooda-antrakinoni-prosessi

w/w: Weight per Weight (Konsentraatio)

S:L = Solid:Liquid-ratio

t: Time

T: Temperature

w/v: Weight per Volume (Massakonsentraatio)

*L*₀: The Gauge Length of the Test Specimen (Koekappaleen mittauspituus)

TS: The Tensile Strength (Vetolujuus)

EAB: Elongation at Break (Murtovenymä)

SEM: A Scanning Electron Microscope (Pyyhkäisyelektronimikroskooppi)

-OH-Group: Hydroxy Group

1 JOHDANTO

Muovit ovat yksi suosituimpia materiaaleja pakkausten valmistuksessa. Muovit, kuten polyeteeni (PE), polyvinyylidikloridi (PVC) ja polystyreeni (PS) ovat yleisimmät niiden kestävyuden takia. Kestävyys onkin yksi tärkeimmistä pakkausmateriaalin ominaisuuksista. Muovipakkaukset ovat jopa niin kestäviä, että ne eivät ole itsestään hajoavia, tai niiden hajoaminen kestää satoja, jopa tuhansia, vuosia. Kaatopaikalle kerääntyvien jätteiden määrä on ongelma.

Suurin osa muoveista valmistetaan fossiilisista raaka-aineista, eli öljystä. Fossiiliset raaka-aineet ovat kuitenkin rajallisia ja niiden käyttö johtaa ympäristöongelmiin. Tämä on ollut osasy syy uusiutuvien vaihtoehtojen kehittämiseen.

Teollisuus ja tiedemaailma ovat työskennelleet kehittääkseen vaihtoehtoista uusiutuvaa, kilpailukykyistä ja kestävästä pakkausmateriaalia. Biopolymeerien laatuominaisuudet verrattaessa öljypohjaisiin materiaaleihin ovat hyvin usein heikompia. Laatuominaisuuksien parantamiseksi eräs tapa on noussut ylitse muiden, nimittäin komposiittiteknologia. Biopolymeerien sekoittamisessa synteettisiin tuotteisiin voidaan hyödyntää yksilöllisiä hyviä ominaisuuksia.

Jopa nanomittakaavan selluloosahiukkasista on mahdollista valmistaa pakkauksia. Ympäristösyistä johtuen on yleisenä tavoitteena korvata öljypohjaiset tuotteet uusiutuvilla sekä biohajoavilla materiaaleilla. Pakkausmateriaaleja on valmistettu nanosellupohjaisista kerroksista, jotka voivat olla levän biomassaa. Nämä pakkausmateriaalit tulisivat kilpailemaan synteettisten muovien kanssa. Näiden materiaalien valmistamiseen on kehitelty erilaisia tapoja.

Kaikkialla maailmassa, jossa levästä saatua biomassaa on saatavilla, voitaisiin varmistaa raaka-aineen saanti ympäristöystävällisemmällä tavalla. Tämä edistäisi metsätalouden ja siihen liittyvien toimialojen kestävyttä ja kehitystä, koska tällä hetkellä mm. pakkausmateriaalien valmistukseen käytetään runsaasti puuta. Lisäksi levän kasvatusta rakennetussa ympäristössä, siis erillisissä prosesseissa, on jo mahdollista.

Pelkästään mikroleviä on noin 350 000 lajia. Tämä tulee ottaa huomioon, sillä eri lajit käyttäytyvät eri tavoin. Sopivan lajin valitseminen onkin tärkeää kasvatuksen ja

teollisten sovellusten yhteensopivuuden kannalta. Levät pystyvät sietämään suola- ja jätevesivirtoja. Rehevöityneessä vedessä osa lajeista kasvaa entistä paremmin. Lisään-
tynyt hiilidioksidipitoisuus kasvualustassa ei myöskään ole ongelma, kunhan vain
muuta ravintoaineita löytyy. Siksi jätevettä ja rehevää vettä voidaan pitää resurssina
joissakin olosuhteissa. Mikrolevät luetellaan autotrofisiksi organismeiksi. Yleisesti
kuvailtuna ne kasvavat yksittäisinä soluina kelluen planktonin lailla, ovat nopeimpia
ja tehokkaimpia kasvavia sekä sopeutuvimpia organismeja koko planeetallamme. Jot-
kin levälajeista kasvavat eksponentiaalisen nopeasti. Tämä mahdollistaa nopean sa-
donkorjuujakson, yhdestä kymmeneen päivää lähes ympäri vuoden. Tästä voisi var-
mistua levän toimitus raaka-aineeksi, joka on jatkuvaa ja luotettavaa.

2 MIKSI LEVIÄ KANNATTAA HYÖDYNTÄÄ

Olemme jo jonkin aikaa olleet dilemmassa ympäristön kanssa. Se haastaa ihmisen luovuutta ja kykyä tehdä kestäviä ratkaisuja maapallon elämän sekä olemassaolomme suojelemiseksi. Tarpeellista olisi suojata puhtaita vesistöjä ja maatalousmaita. Ajansaotossa fossiiliset resurssit todennäköisesti muuttuvat yhä vain harvinaisemmiksi ja kalliimmiksi. Silloin biomassan hyötykäytön muuttaminen kilpailukykyisemmäksi voisi olla entistä houkuttelevampaa. (Demirbas, 2011, s. 1).

Levä kasvaa maailmanlaajuisesti eri alueilla, varsinkin Yhdysvalloissa, Indonesiassa, Filippiineillä, Australiassa ja Japanissa. Itämeren alueelta on raportoitu liiallisen levän kukinnan aiheuttavan hälyttävän ongelman. (Mihranyan, 2011, s. 2).

Ikääntyessä ja kuollessaan levä vajoaa lopulta meren pohjaan bakteerien hajotettavaksi. Tämä hajottamisprosessi voi kuluttaa huomattavan määrän happea ja hapensaanti merenpohjaan voi heikentyä. Näin syntyy merenpohjiin anaerobisia, eli hapetomia, vyöhykkeitä. (Mihranyan, 2011, s. 1).

Euroopan unionin tukema erityisprojekti (LIFE96ENV/S/380) suoritettiin Ruotsissa. Tarkoituksena oli selvittää sosioekonominen kannattavuus ja kuinka levien tekninen poistaminen voisi toteuttaa. Pystyttiin osoittamaan, että levämattojen poisto palauttaa ekosysteemin tasapainon. Kysymykseksi kuitenkin jäi mitä tehdä poistetulla levällä. (Mihranyan, 2011, s. 2). Siksi tässä opinnäytetyössä tarkastellaan ja tutkitaan mahdollisuutta käyttää leviä raaka-aineena painottaen pakkausteollisuutta.

Tavoitellessani tämän opinnäytetyön tutkimustavoitteita, pyrin samalla vastaamaan alla lueteltuihin kysymyksiin.

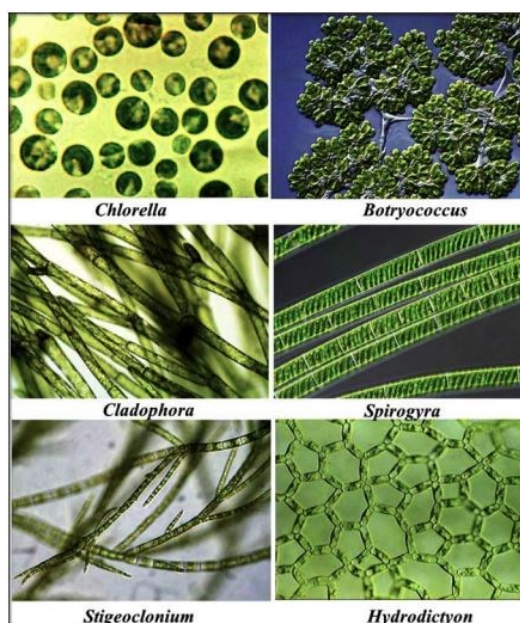
- Mitä hyötyä levän käytöllä on?
- Voiko levä olla verrattavissa muihin pakkausmateriaaleihin, kuten muovit?
- Kuinka leviä kasvatetaan ja mikä voisi olla paras tapa kasvatukseen?
- Kuinka levästä valmistetaan pakkausmateriaalia?

3 LEVÄ: UUSIUTUVA RAAKA-AINE

Tavoiteltaessa suurinta mahdollista leväsatoa on hyvä pyrkiä kantakohtaiseen viljelyyn. Eri kantojen kasvatuksen optimointi riippuu erilaisista tekijöistä. Jotkin niistä voivat olla rajoittavia. Näitä rajoittavia tekijöitä voivat olla lämpötila sekä ravinteiden ja hapen veteen sekoittuminen, käytettävä hydrodynamiikka, kasvatukseen liittyvä kaasunvaihto ja kuplan koko, massansiirto, valosykli ja sen intensiteetti. Minkälainen vesi on laadultaan, pH-tasoltaan, suolapitoisuudeltaan sekä kuinka mineraaleja ja hiiltä säädellään. Huomioitavana on myös solujen hauraus, kasvuntiheys ja kuinka suurella pinta-alalla levä kykenee kasvamaan. Levän kasvatusta rakennetussa ympäristössä on mahdollista hyvinkin erilaisissa viljelyjärjestelmissä. Ne voivat vaihdella matalasta teknologiasta huipputekniikkaan. On mahdollista saavuttaa alhaiset alku- ja käyttökustannukset sekä vähäiset ympäristövaikutukset, vedenkäyttö, maankäyttö ja energiankulutus. (Proksch, 2013, s. 4).

Biomassan suurimmat tuotantokustannukset ovat: ravinteiden yhdistäminen, ainesten sekoittaminen, sadonkorjuu, työvoima, päästöt ja ravinteet. Lannoitteiden osuus on noin 4,5–18,5 prosenttia kokonaiskustannuksista riippumatta viljelyjärjestelmästä. (Pandey, ym., 2018, s. 114).

Mikroleväorganismeilta puuttuvat varret, lehdet ja juuret, lisäksi ne ovat yksisoluisia. Niitä kasvaa eri muotoisina, värisinä ja yksinkertaisina solu rakenteina. Vain noin 50 000 lajia mikrolevistä on määritelty. (Min, ym., 2017, s. 122).



Kuva 1. Joidenkin mikrolevälajien morfologiaa (Min, ym., 2017, s. 123).

Mikrolevillä uskotaan olevan noin 350 000 lajia. Lisäksi saman lajin kannat voivat käyttäytyä eri tavoin samoissa kasvuolosuhteissa. Onkin olennaista tutkia sen suurta monimuotoisuutta ja siten eristää potentiaaliset kannat toivottujen teollisten sovellusten käyttöön. Valitun levän lajin toivottuja ominaisuuksia voisi esimerkiksi olla sen kyky sietää erilaisia lämpötiloja ja säteilyä, päivärhythmiä ja kausivaihtelun takia. Mikroleviä kehitetään teknisesti tehokkaiksi, yksinkertainen prosessointi levien biomassan hyödyntämiseksi taloudellisesti ja ympäristöystävällisesti. Levämassojen on pystyttävä tarjoamaan arvokkaita tuotteita nopealla ja tehokkaalla tuottavuudella. (Min, ym., 2017, s. 306). Mainittakoon kuitenkin, että osa näistä kasvatusideoista on tehty maksimoimaan biopolttoaineiden tuotanto. Onko hyvä idea käyttää hiilidioksidipäästöjä ja jätevetä kasvatuksessa, jos tarkoituksena on vaihtoehtoisesti tuottaa tuotteita asiakkaiden käyttöön muuksi kuin polttoaineeksi. (Min, ym., 2017, s. 308–312).

Lisäksi tulisi tehdä tutkimuksia materiaaleista, jotka ovat kosketuksissa elintarvikkeiden kanssa. Esimerkiksi tutkimukset nanoselluloosan haitallisuudesta ovat aiheellisia, joskin toistaiseksi on osoitettu vain vähäisiä haittavaikutuksia. Joka tapauksessa materiaalia ei ole tälläkään hetkellä vielä hyväksytty elintarvikkeiden kanssa käytettäväksi. (Silva, Dourado, Gama, Poças, 2020, s. 21).

Kasvun ja tuotannon nopeuttamiseksi on kehitetty monia tuotantojärjestelmiä. Avoin työviljely on yleisin menetelmä, se perustuu ilmakehään sitoutuneeseen fotosynteesiin. Avoin työviljely luetellaan ulkoviljelyjärjestelmiin, helpon käytettävyyden takia. Luonnollisia avoimia lampia voidaan myös nimittää tähän kategoriaan, mutta on myös pidemmälle kehitettyjä muotoja. Kehittyneimmät avoinviljelytavat ovat kilpa-altaat, säiliöt, matalat biolammet ja pyöreä muotoiset lammet. (Min, ym., 2017, s. 308).

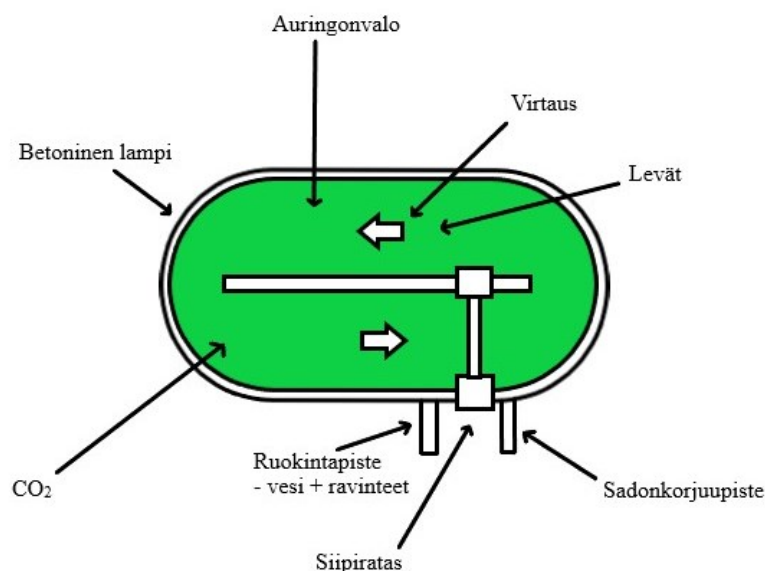


Kuva 2. Kilparata lampi meloilla (Proksch, 2013, s. 6).

Kilpa-altaat on tarkoitettu kaupalliseen mikrolevien viljelyyn, lajit kuten Dunaliella salina, Nannochloropsis ja Chlorella osoittautuivat tutkimuksissa sopivimmiksi tähän viljelytapaan. Altaat ovat teollisesti rakennettuja matalia (noin 0,25–0,4 metriä) soikean muotoisia lampia. Niiden sisäpinta on vuorattu sementillä, PVC:llä tai savella. Lammen jakamiseen voidaan käyttää ohjauslevyjä. Tehokkailla mekaanisilla siipipyörillä ilmastetaan ja samalla sekoitetaan ravinteita, jotta saavutettaisiin biomassan yhtenäinen ja tasaisen kasvu. Suspension muodossa tarvitaan kuitenkin lisäravinteita. Suuremmat lammet voivat vaatia jopa kahdensadan hehtaarin kokoisen alueen toimiakseen, kun taas kilpa-altaille riittää hehtaarin kokoinen alue. Keinotekoista valoa voidaan käyttää energianlähteenä, mutta se ei kuitenkaan edistä kasvua entisestään. (Min, ym., 2017, s. 308).

Avoimet viljelylammet voivat rajoittaa tuottavuutta, hiilidioksidin ja valon tehon leviäminen kaikille altaassa kasvaville leville. Altaan höyrystymishäviö helteisellä säällä on merkittävä syynä altaan suuri pinta-ala verrattuna pieneen syvyyteen. Suuri mikrobien läsnäolo voi johtaa saastumisriskeihin ja levän solukuolleisuuteen kirkkaina päivinä. (Min, ym., 2017, s. 309).

Avoim lampijärjestelmä



Kuva 3. Avoimen viljelylammen mahdollinen toteutus ratkaisu, (Demirbas, 2011, s. 4; Min, ym., 2017, s. 309; Proksch, 2013, s. 6).

Avoimien lampijärjestelmien ongelmat voidaan sivuuttaa valitsemalla seuraava vaihtoehtoinen suljettu tuotantojärjestelmä. Suljetussa fotobioreaktorijärjestelmässä käytetään läpinäkyvää putkistoa suljetulla viljelmällä, jossa vettä kierrätetään pumppausjärjestelmien avustuksella. Tämä järjestelmä soveltuu käyttöön tuotannossa sekä ulko-

että sisätiloissa. Yleisesti tämänkaltaiseen rakennettuun putkimaiseen järjestelmään kuuluu litteitä paneeleita, pystysuoria pylviäitä ja se on sisäisesti valaistu. Levien energianlähteeksi soveltuu luontainen sekä keinotekoinen valo, mutta valon aallonpituuteen ja voimakkuuteen tulee kiinnittää huomiota. Valon säätelyllä on vaikutusta levänkasvun tehokkuuteen. Suljettua fotobioreaktoria (FBR) on käytetty mikrolevän viljelyyn, ks kuva 5. Tällä järjestelmällä soveltuvat kasvatukseen levälajit kuten *Chlorella sorokiniana*, *Haematococcus pluvialis*, *Nannochloropsis* sp., *Phaeodactylum tricornutum* ja *Chlorella vulgaris*. Niiden tuotanto on osoittautunut tehokkaammaksi suljetulla FBR:lla verrattuna avoimeen lampeen. Tämä johtui paremmasta kyvystä ottaa säteilevää energiaa vastaan ja tehokkaammasta viljelyalueen käytöstä. Lisäksi energiankulutuksen arvot vaihtelevat sekoituksen aikana ja kaasun sekä nesteen massansiirrossa. Saadut energia arvot voivat olla erilaisia riippuen käytettävästä FBR:n tyypistä. Ominaista näille järjestelmille suuren hyötysuhteen lisäksi on parempi ympäristön ja kasvuolojen hallinta. Niitä voidaan hallita hiilidioksidin, valon, lämpötilan ja pH-arvon säätelyllä. Myös toiminnan sujuvuus ja vähäinen saastumisriski tekevät niistä oivallisen viljely järjestelmän. Järjestelmällä kuitenkin on haasteensa. Ongelmia voivat aiheuttaa esimerkiksi suurempaan mittakaavaan laajentaminen, optimaalisten olosuhteiden ylläpitäminen, leviä sisältävän veden sekoittaminen, lian kerääntyminen, liian korkea lämpötila, happimolekyylien kertyminen sekä leikkausjännityksestä johtuvat soluvauriot. (Min, ym., 2017, s. 309–311).

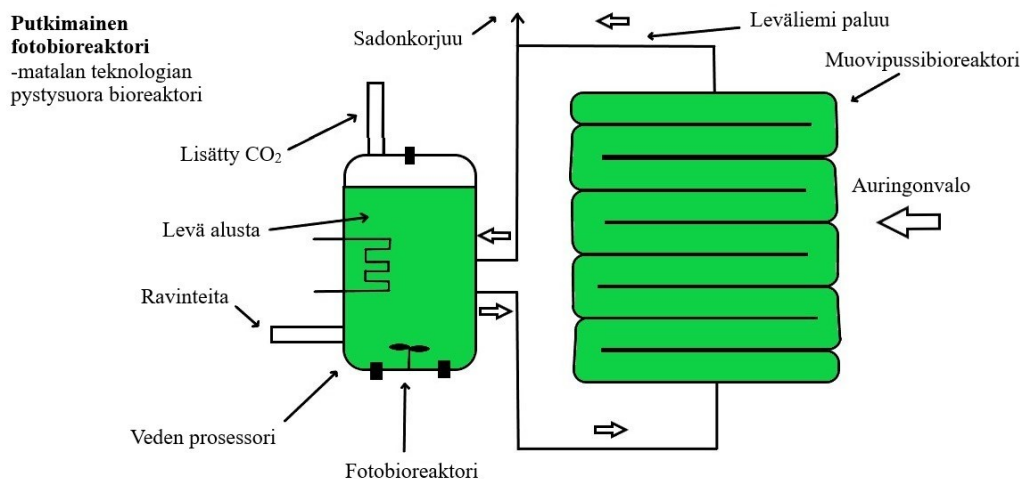


Levät muovipussissa

Bioreaktori Saksan
Klötze kaupungissa

Kolmiomainen bioreaktori

Kuva 4. Levien viljelymenetelmiä erilaisilla bioreaktori toteutuksilla (Proksch, 2013, s. 6).



Kuva 5. Yksi suljetun fotobioreaktori viljelyjärjestelmän toteutus tapa (Demirbas, 2011, s. 4; Proksch, 2013, s. 6).

Yhdeksi ratkaisuksi on kehitetty hybridiviljelmäjärjestelmä yhdistämään kasvun vaiheet avoimista sekä suljetuista järjestelmistä. Ensimmäisessä vaiheessa kasvatetaan FBR:n kontrolloidussa tilassa levää lisäten tarvittavia yhdisteitä samalla minimoiden saastumisen riskejä. Toisessa vaiheessa ohjataan levää ajoratalammikolle ja altistetaan ravinnekuormitukselle. (Min, ym., 2017, s. 311).

Mikrolevät pystyvät saamaan energiansa kasvamiseen orgaanisesta hiilestä valon sijaan. Tätä kasvua nimitetään heterotrofiseksi kasvuksi. Hiilenlähteinä voidaan pitää esimerkiksi mannoosia, galaktoosia, laktoosia, sakkaroosia, fruktoosia, glyserolia, aseptaattia ja glukoosia sekä halvempaan vaihtoehtona maissijauhehydrolysaattia. Heterotrofinen viljely mahdollistaa kasvatuksen ilman valoa. Mikäli valon laatu, voimakkuus tai absorptiotehokkuus on ongelmallinen ja rajoittaa tuotantoa, silloin tämä viljely vaihtoehto voi olla sopiva. Tähän viljelymenetelmään voi kuitenkin ilmetä ongelmia. Hiililähteiden käytöstä voi aiheutua lisäkustannuksia, joita kuitenkin voidaan alentaa käyttämällä elintarvike jätteitä ja jäteveettä. Sisäviljelyn ansiosta saastumisriskin epätodennäköisyyttä voidaan pitää myös etuna. Huomiona kerrottakoon, että sokerit voivat siltikin saastuttaa viljelmän. (Min, ym., 2017, s. 311–312).

Mixotrofinen viljely on fototrofisen sekä heterotrofisen viljelyn yhdistelmä. Kasvua täydennetään orgaanisilla hiililähteillä. Tämä monimutkainen viljelyprosessi kehitettiin paikkaamaan heterotrofista viljelyä ja lisäämään kasvun nopeutta entisestään. Valon voimakkuus ja lämpötila ovat ratkaisevia tuotannon kannalta. Ne hallitsevat voimakkaasti sisältöä ja koostumusta. Tällä viljelytavalla on mahdollista lyhentää kasvusykliä ja auttaa minimoimaan pimeistä aikajaksoista johtuvaa biomassan menetystä.

Levälajit kuten *Nannochloropsis oculata*, *C. sorokiniana* ja *C. vulgaris* ovat osoittaneet tutkimuksissa menestyvän paremmin mixotrofisen viljelyn aikana. Ongelmana on huono energian muuntotehokkuus ja saastumisen riski, kuitenkin tätä tapaa voidaan pitää energiatehokkaampana kuin autotrofinen kasvu. (Min, ym., 2017, s. 7).

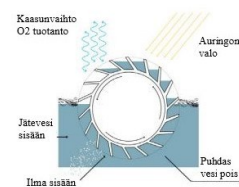
Levien ravinto ja kemialliset vaatimukset voisivat mahdollistaa käyttämättömien resurssien hyötyntöön. Näitä käyttämättömiä resursseja olisivat aurinkoenergia, rakennusten hiilidioksidipitoiset pakokaasut, ylimääräinen lämpö ja jätevesi. Tämä tosin voi vaatia lisäsuunnittelua integroimisen ja synergian toteuttamisessa rakennusten välillä. Mainittakoon muutama tällainen mielenkiintoinen tutkimuksissa kehitelty viljelysuunnitelma. Esimerkiksi rakentamisen integrointi ja aurinkoenergian talteenotto. Sen sijaan, että viljely tapahtuisi syrjässä, voitaisiin rakennuttaa viljelmät aurinkoenergian keräämiseksi esimerkiksi rakennusten julkisivuille. Toisena ideana hiilidioksidin sitominen. Rakennusten hiilidioksidipitoiset kaasut ohjattaisiin asennetuilla ja ohjatuilla järjestelmillä leväviljelmille. Kolmantena suunnitelmana oli jätevedenkäsittelyn tuki. Tarkoituksena olisi parantaa jätevedenkäsittelylaitoksien ekologisuutta entisestään. Viljely perustuu hyödyntämään levien kykyä kasvaa ravinteita sisältävissä jätevesissä. Neljäntenä näkökohtana suljetuksi silmukaksi kutsuttu, levänviljelyn integroiminen. Integroimalla levänviljelyä monimutkaisiin suljetun silmukan järjestelmiin voitaisiin luoda hiilineutraalia tai jopa hiilinegatiivista suoritustoimintaa rakennukseen. (Proksch, 2013, s. 9).



Julkisivujärjestelmä



Leväviljely maisemana



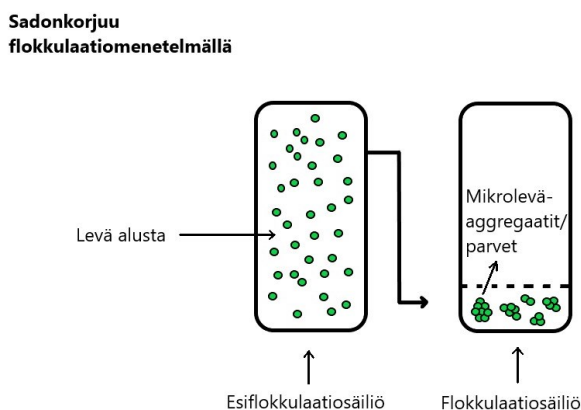
Leväjätevedenkäsittelyjärjestelmä

Kuva 6. Suunniteltuja integroituja synergiatoteutuksia (Proksch, 2013, s. 11).

Levä jatkaa kasvamistaan yhdestä kymmeneen päivää koko ajan riippumatta leväkannasta tai kasvatustavasta. Tämän kasvuajan jälkeen levämassa poimitaan. Levien

korkean vesipitoisuuden takia sadonkorjuu ja prosessointi voi olla haastava tehtävä. Kehittäessä kustannus- ja energiatehokasta korjuumenetelmää, leväkannan valinta on tärkeä. (Proksch, 2013, s. 8).

Biomassatuotannon kokonaiskustannuksista levän sadonkorjuuprosessin osuutta voidaan pitää 20–30 prosentin suuruisena. Lähes 90 prosenttia tuotannossa tarvittavista laitteista kuuluu sadonkorjuu- ja vedenpoistomenetelmiin. Kustannustehokkaat sadonkorjuumenetelmät tulisi suunnitella sopiviin tarpeisiin, sillä yhtä ainoata ratkaisua ei ole. Yleisiä menetelmiä nimeltään ovat sentrifugointi, suodatus, sedimentointi, ultrasuodatus ja flokkulointi. Tehokkuuden lisäämiseksi näitä menetelmiä tulisi mahdollisesti käyttää yhdessä. Suunnitellessa tehokasta sadonkorjuutekniikkaa, kriteerit täyttäviä huomiota on hyvä tietää. Esimerkiksi se, mitä levien ominaisuuksia halutaan, vaikuttaa myös lopputuotteeseen. Jos prosessin aikana kierrätetään ravinteita ja vettä, on selvitettävä, kuinka yhdistetään laimennettu suspensio sekä solujen erottaminen. Jatkokäsittelyssä on välttämätöntä erottaa lipidit. (Min, ym., 2017, s. 312–313).



Kuva 7. Flokkulaatio aggregoi mikroleväsoluja, ja niin mikrolevä tahnaa saadaan (Min, ym., 2017, s. 315).

Flokkulaatio on sadonkorjuumenetelmä, joka sopii käytettäväksi erilaisten levien laajamittaiseen keräämiseen. Menetelmän aikana mikrolevän solut törmäilevät toisiinsa ja tarttuvat yhteen. Yhdessä ne muodostavat aggregaatin (flokki). Lisäysten avustuksella (luonnollisia tai synteettisiä) flokkulantit tulevat osaksi kasvualustaa. Lopputuloksena saadaan mikrolevätahnaa, josta kaksikymmentä prosenttia on kuiva-ainetta. Onkin ehdotettu kaksivaiheista käytäntöä alentamaan kustannuksia. Ensin flokkulaatio esikonsentroidaan ja toisessa vaiheessa vettä poistetaan. Flokkulaatiosta on kehitetty kaksi eri menetelmää. Ensimmäinen menetelmä on yhdistetty flokkulaatio jossa

voidaan käyttää myös epäorgaanisia flokkulantteja sekä polymeerejä. Mikrolevät tulee käsitellä hapettimilla ennen flokkulaatiota sen tehokkuuden parantamiseksi. Toinen menetelmä on autoflokkulaatio. Esimerkiksi *Ankistrodesmus falcatus* ja *Scenedesmus obliquus* lajin solut pystyvät tuottamaan flokkia luonnollisesti reagoidessaan ympäristörasituksiin. Rasituksia ovat pH-arvon ja liuenneiden aineiden muutokset, kuten typpi ja happi. Tätä reaktiota voidaan käyttää hyväksi, tosin autoflokkulaatio on epäluotettavaa ja hidasta. Kaikille levien tyypeille ei kuitenkaan sovi flokkulantit ja flokkulaatiomenetelmät. Meressä elävien mikrolevien teollinen flokkulaatio on edelleen mysteeri. (Min, ym., 2017, s. 313–316).

Toinen sadonkorjuumenetelmä on ultraäänen aggregaatio, jossa mikrolevää kerätään ultraäänen aiheuttaman aggregaation avulla. Soveltuu myös erääseen jatkokäsittelyyn, jossa öljyä uutetaan. Ultraääni yhdistettynä tehostettuun sedimentaatioon voidaan pitää erotustekniikkana. Sen etuja ovat ympäristöystävällisyys, likaantumattomuus, keskeytymätön toiminnallisuus, ei mekaanisia vikoja. Menetelmästä ei myöskään koidu leikkausvaurioita tai jännitysaurioita johtuen ultraäänen alhaisesta äänenpaineesta ja korkeammasta taajuudesta. Prosessi suoritetaan kammiossa, joka on resonoiva, koostuu heijastimesta ja muuntimesta. Viljeltyä levää pumpataan jatkuvalla syötöllä resonoivaan kammioon. Silloin kun laite käynnistyy, syntyy maksimi- ja minimienergiakentät. Tämä saa solut ajautumaan alueelle, joka on akustinen potentiaalienergian minimaali, tätä kutsutaan solmutasoksi. Solujen kertyminen aiheutuu hiukkaspartikkelien vuorovaikutuksista sekä akustisista vuorovaikutuksista. Tämän jälkeen mitätöidään ultraääniaaltokenttä väliaikaisesti saaden suuret levien aggregaatit menemään sedimentaatioon painovoiman ansiosta, tätä toistetaan niin kauan, kunnes suurin mahdollinen tuotto on saavutettu. Jopa yli 90 prosenttia biomassasta voidaan saada talteen tällä menetelmällä. Hiukkastiheys sekä solukoko voivat olla pieniä lopputuloksena. Ultraäänen aggregaatio - sedimentointimenetelmä saattaa olla mahdollon suurella mitataavalla korkean energiantarpeen takia. (Min, ym., 2017, s. 316).

Kellunnaksi, joka on tavallaan flotaatiota, nimitetty kolmas tapa on sadonkorjuumenetelmä painovoimaa hyväksi käyttäen. Solut kulkeutuvat nesteepinnalle kaasujen tai ilmakuplien kiinnittyessä kiinteisiin hiukkasiin. Voidaan soveltaa levän luonnollista ominaisuutta, kuten itsestään kelluvuutta tai pientä tiheyttä. Kelluntamenetelmän hyviä puolia ovat sen ympäristöystävällisyys, kohtalainen käyttöhintaa, vähän reaktioaikaa, joustava ja sedimentaatiota parempi hyötysuhde. Sopii myös tavallistakin

pienempien yksisoluisten mikrolevien keräämiseen, joiden halkaisija voi olla pienemmillään 500 mikrometriä.

On tapauksia, jolloin prosessia on pystytty helpottamaan kemiallisilla tai luonnollisilla ”keräilijöillä”. Hyviä luonnollisen vaahdotuksen induktoreita ovat esimerkiksi N-asetyyli-N-N-N-trimetyyli ammoniumbromidia (CTAB) ja natriumdodekyylisulfaattia (SDS), yleisesti ne ovat luonnollisesti metyloitua munan ovalbumiinia. Kuplan koon mukaan kellutusmenetelmää voidaan jakaa kolmeen luokkaan. Nämä luokat ovat elektrolyyttinen vaahdotus, hajotettu ilmakellunta ja liunneen ilman vaahdotus. Elektrolyyttinen vaahdotus on hyvin tehokas, mutta energia intensiivinen, eikä sitä siksi pidetä sopivana vaihtoehtona. Se on etenkin tehokas sovellettuna suolaisessa vedessä kasvaville lajeille turvallisuus, ympäristöystävällisyys, kustannus, energiatehokkuus, valikoivuus ja monipuolisuus syistä. Suurimpia haasteita kuitenkin ovat vaurioituminen korkeasta lämpötilasta sekä katodien likaantuminen. Toinen menetelmä on hajotettu ilmakellunta, tätä järjestelmää ei voida soveltaa avoimen lampijärjestelmän kanssa sen vuoksi koska sillä on korkeampi hinta ja se nostaa saastumisen riskiä. Menetelmässä muodostetaan kuplia mekaanisella sekoittimella ja ilmanruiskutusjärjestelmällä. Vaahdotusprosessi alkaa, kun negatiivisesti varautuneet leväsolun pinnat ovat vuorovaikutuksessa kuplien kanssa. Tuottavuus riippuu positiivisesta nettovarauksesta. Lisäämällä kemikaaleja tai pinta-aktiivisia kationisia aineita voidaan prosessia tehostaa. Kolmanneksi tavaksi voidaan luetella kellunta liunneen ilman läpi. Kuplia muodostetaan ilmalla esitäytetyn vesivirran painetta alentamalla, nämä kuplat kuljettavat suspendoituneita kiintoaineita pintaan. Tärkeät tekijät menetelmän onnistumiselle ovat hiukkasten kelluvuus nopeus, säiliön paine, hydraulinen retentioaika ja kierätysnopeus. Mainittakoon, että tämä menetelmä on myös soveltavuudeltaan parempi teollisuusjäteveden käsittelyyn. (Min, ym., 2017, s. 316–317).

Neljäntenä tapana on keskipuolinen sedimentointi sadonkorjuumenetelmänä, mikä soveltuu monen eri mikrolevälajin korjuuseen. Sadonkorjuumenetelmäksi se on luotettava ja yleisin tapa tuottaa levätiivisteitä, joilla on pidempi säilyvyysaika muihin menetelmiin pikaisesti verrattuna. Muihin verratessa se on myöskin energiaintensiivisempi sekä sillä on korkeampi käyttökustannus ja perustamiskustannus. Lisäksi suurempi painovoima ja leikkausvoima vaurioittavat solurakenteita. Solut voivat kuitenkin elpyä ja elpymistä voidaan arvioida. Arviointi perustuu eri sentrifugointiolosuhteisiin, solun elpymisen laajuuteen ja vaikutuksesta solun elinkelpoisuuteen. Sentrifugeja

on erilaisia tyyppisiä, omineen etuineen ja haittoineen. Sentrifugityyppejä ovat esimerkiksi kiekkopinoinen ja kierrelevysentrifugi. (Min, ym., 2017, s. 317–318).

Viides tapa eli painovoiman sedimentaatio menetelmä käyttää painovoimaa avukseen erotellessa kiinteitä ja nestemäisiä hiukkasia suspensiossa. Haittapuolena on tämän prosessin hitaus etenkin silloin, kun hiukkasten koko tai tiheys on pieni. Laskeutumisnopeus saadaan arvioitua Stokes:in laista. Lisäksi Stokes:in lain mukaan voidaan määrittää pallomaisen suspendoituneen kiintoaineen ominaisuuksia, jos tiedetään tiheys ja säde mikä kyseisillä mikroleväsoluilla on. Veden laadusta, ravinteista, valon voimakkuudesta ja leväntyyppistä taas määräytyy asettumisnopeus. Sovelletusti flokkulaatiomenetelmät ja lamelli erottimet yhdistettynä sedimenttisäiliön kanssa voivat parantaa sedimentaation nopeutta. (Min, ym., 2017, s. 318). Sedimentaatiota, eli laskeutumista laminaarisissa virtausolosuhteissa pallomaiselle partikkelille voidaan arvioida klassisella Stokes:in lailla, ks. kaava (1).

$$v_{\text{sed}} = \frac{g(\rho_L - \rho_W) d_L^2}{18 \eta} \quad (1)$$

, jossa

- v_{sed} = sedimentaationopeus, m/s
- g = gravitaatiovakio, 9.81 m/s²
- ρ_L = ”pallomaisen” levän tiheys, kg/m³
- ρ_W = veden tiheys, kg/m³
- d_L = ”pallomaisen” levän halkaisija, m
- η = veden viskositeetti, kg/ms

Kuudes ja viimeinen tekniikka on biomassan suodatus. Biomassan suodatus on hyvin sovellettavissa sen yksinkertaisen tekniikan takia. Se antaa maksimaalisen tehokkuuden erotella ilman kemikaaleja jatkuvalla toiminnalla. Soveltuvimmat levälajit tälle sadonkorjuumenetelmälle ovat ne lajit, jotka ovat muodoltaan suurikokoisia ja pitkänomaisia. Tällä menetelmällä on kuitenkin korkeat käyttökustannukset. Huoltaminen on intensiivistä, sillä suodattimien puhdistaminen tulee suorittaa säännöllisesti. Tietyin väliajoin likaantuminen ja tukkeutuminen on vaarassa tapahtua. Tästä tekniikasta on tehty paljon erilaisia muunnoksia, kuten painesuodatus, umpikujasuodatus, ultrasuodatus, tyhjiösuodatus ja mikrosuodatus. Näillä muunnoksilla on pyritty

parantamaan menetelmän tehokkuutta ja ratkaisemaan sen ongelmia. Hauraille soluille sopivampi vaihtoehto voisi olla kalvon mikro-suodatus. Myös virtauksella voidaan vaikuttaa suurten levä massojen keräämiseen, ristivirtausta tai tangentialivirtauksen suodatuskeräysprosessia käyttämällä. Dynaaminen suodatus on kehitelty sadonkorjuumenetelmä, jossa käytetään turbulenssia suuren kalvon leikkausjännityksen saamiseksi. Jos järjestelmässä käytetään kiertävää vedenvirtausta voi energian kulutusta saada vähäisemmäksi, verrattuna järjestelmään, joka ei käytä kierto suodatusjärjestelmää. Tärkeintä olisi sopivuus eri lajien kanssa, estää likaantumisen ja tukkeutumisen. (Min, ym., 2017, s. 318–319).

Tuotettua ja kerättyä leväbiomassaa odottaa laaja jatkokäsittely. Sellaisenaan siitä ei ole vielä mihinkään ilman käsittely vaihetta. Käsittely riippuu lajista, mihin tuotantoon tai tuotteeksi se lopulta päätyy. Käsittelyvaiheita ovat esimerkiksi vedenpoisto, haluttu biomolekyylin uuttaminen ja puhdistus. Jatkokäsittely on siis osa haluttujen biomassasta tuotettavien tuotteiden tuottamista. Käsittely on työlästä ja energiaintensiivistä, mikä nostaa leväpohjaisten lopputuotteiden hintaa. Sen takia menetelmiä tulisi kehittää entistäkin kustannustehokkaimmiksi. (Min, ym., 2017, s. 319).

Talteenotettua levien biomassaa kuivataan. Levä- biomassasta saattaa paremmin saada uutettua öljyä tai molekyyliä, kun se on ensin kuivattu. Kuivausmenetelmän valinta riippuu halutusta levän käyttötarkoituksesta. Kuivausmenetelmiä kuten polttouunikuivaus, tyhjiökuivaus, ristivirtausilmakuivaus, aurinkokuivaus, ruiskukuivaus ja pyörivä kuivaus. Polttouunikuivaus sopii lämpöherkän biomassan kuivaamiseen, sillä käytettävä lämpötila on matala. Polttouunikuivaus- prosessi on muita suurempi kustannuksiltaan. Tyhjiökuivaus vaatii enemmän työtä prosessin valmistamiseen ja toimintaan tarkoittaen enemmän kustannuksia. Biomassaa kuivatetaan tyhjiössä kuivausrummun sisällä. Painetta käytetään nopeuttamaan prosessia ja siten vähentämään kustannuksia. Vesimolekyylien annetaan väistyä lämmön ja paineen voimasta, jonka jälkeen biomassa siirretään lauhduttimeen. Ristivirtausilmakuivausmenetelmä ei ole kovin tehokas, mutta ei myöskään kovin kallis. Tuotoksena on märkää leväbiomassaliettä. Auringonvaloa voidaan käyttää hyväksi levän kuivausmenetelmänä. Prosessi on hidasta ja epäluotettavaa, lisäksi voimakas auringon säteily voi muuttaa tuotteen tekstuuria. Ruiskukuivauksessa kuumalla kaasulla kuivataan biomassa sekunneissa. Kova paine voi rikkoa solut ja siten huonontaa tuotteen laatua sillä tämän menetelmän kuivattujen solujen sulavuus on huono. Pyörivä kuivaus menetelmä on leväbiomassan kuivausta painovoiman avulla kuivausrummussa. Menetelmällä voi samanaikaisesti

kuivata ja steriloida näytteet sekä rikkoa soluseinät. Tuotteena saadaan 25–30 prosenttia kuivaa biomassaa suurella energian kulutuksella. (Min, ym., 2017, s. 319–320).

Mikrolevissä on runsaasti luonnollisia yhdisteitä ja niitä voidaan käyttää ainesosina. Mikrolevä lajeja on suuri määrä ja siksi niiden kemiallinen koostumus on tärkeätä tuntea. Niiden tuntemus auttaa seulontamenetelmävaihetta, kun osataan paikantaa arvokkaat yhdisteet. Näitä yhdisteitä ovat pigmentit, antioksidantit ja monitydyttymättömät rasvahapot. Ne korjataan talteen ja puhdistetaan. Metaboliittien uuttamisessa solujen kerääminen ja soluseinien rikkominen on ensimmäinen vaihe. Se voidaan suorittaa joko mekaanisesti tai kemiallisesti. Yleisempinä menetelminä käytetään suurjännitepurkausta, sähkö-, tai pulssisähkökenttää. Metaboliitteja voidaan myös erotella käyttämällä ohutkerroskromatografiaa. Tämä suoritetaan yleisesti välineillä, jotka sisältävät piihappogeelialumiinilevyjä sekä petrolietterin ja asetonin eluettiseosta. (Min, ym., 2017, s. 322–325).

4 LEVÄ RAAKA-AINE

Pakkausten käyttö on lisääntynyt nykyaikana niin, että niiden käytöstä on tullut lähes välttämätöntä. Samalla niiden on täytettävä sääntelyt ja laatuvaatimukset. (Silva, Dourado, Gama, Poças, 2020, s. 2).

Muovit ovat tärkeimpiä pakkausmateriaalin lähteitä tänä päivänä. Muovit, kuten polyeteeni (PE), polyvinyylidikloridi (PVC) ja polystyreeni (PS) ovat suosituimpia juuri niiden kestävyys takia. Kestävyys on tärkein ominaisuus, jota odotetaan pakkaukselta sitä valmistaessa. (Adli, Ali, Azmi, 2020, s. 1). Pakkaukset ovat jopa niinkin kestäviä, etteivät ne ole itsestään biohajoavia tai niiden hajoaminen voi kestää satoja jopa tuhansia vuosia. Polymeeri yhdiste, joka olisi biohajoava, voisi olla ratkaisu kaatopaikalle kerääntyvään jätteiden määrään. Polymeerimateriaali luetellaan biohajoavaksi, mikäli se muuttuu biomassan hajotessa hiilidioksidiksi. (Adli, Ali, Azmi, 2020, s. 1–2). Polymeerit ovat kiinteitä makromolekyylejä, ne koostuvat erillisistä ”rakennuspalikoista” muodostaen yhdessä pitkiä molekyyliketjuja. Nämä rakennuspalikat, joita nimitetään monomeereiksi, järjestäytyvät entistä monimutkaisemmin toistuvina yksiköinä. (Min, ym., 2017, s. 34).

Polymeerejä, pääasiassa muovipohjaisia polymeerejä kulutetaan kaikilla elämäntiloilla. On vaikea kuvitella modernia yhteiskuntaa ilman synteettisiä polymeerejä, joiden maailmanlaajuinen vuosituotanto on noin 140 miljoonaa tonnia. Siksi esimerkiksi Yhdysvalloissa, Australiassa ja Saksassa suunnilleen 20–25 prosenttia kiinteiden yhdyskuntajätteiden määrästä arvioidaan olevan synteettisiä polymeerejä. (Min, ym., 2017, s. 34). Polymeerit kestävät kemiallista ja fysikaalista hajoamista. Tämä vakaus ja hajoamaton käyttäytyminen johtaa ympäristön heikkenemiseen sekä tekee jätteiden käsittelylaitoksien toiminnasta haasteellista. Suuri ongelma on siis synteettisten jätteiden hävittäminen. Yleisin menetelmä hävittää tällaiset tavarat on viedä ne kaatopaikalle muun kiinteän jätteen mukana. (Min, ym., 2017, s. 34).

Synteettisiä polymeerejä voidaan korvata biohajoavilla tyypeillä. Biopolymeerejä saadaan erilaisista uusiutuvista luonnonlähteistä, kuten levät. Ympäristöystävällisillä biopolymeereillä on hyväksyttävä säilyvyysaika, ne voidaan helposti steriloida ja ne ovat biohajoavia. (Min, ym., 2017, s. 34).

Biopohjaisia materiaaleja saadaan tuottamalla biopohjaisia monomeereja, joita sitten biokemiallisesti polymerisoidaan. Vaihtoehtoisesti biopolymeerejä voidaan tuottaa

suoraan joistakin biologisista materiaaleista, esimerkiksi levästä. Biopolymeeristä voidaan valmistaa myös biomuovia. Vuosittain maailmassa tuotetaan noin 200 000 tonnia biomuovia, ympäristöystävällisyyden vuoksi biopolymeerien käyttö ja sen tärkeys on lisääntymässä. (Min, ym., 2017, s. 35).

Levät ovat nopeasti kasvavia ja hallitsevia fotosynteettisiä organismeja. Suurin osa levien fototrofeista sisältää pitkiä ketjuja polysakkarideja, kuten selluloosaa. Luonnollisten yhdisteiden ja nopean kasvun vuoksi levät voivat olla hyvä lähde monille luonnontuotteille, mukaan lukien biopolymeerit. Levän valinta raaka-aineeksi tuotantoon tarjoaa monia etuja, kuten korkea sato ja kyky kasvaa erilaisissa ympäristöissä. Viljeltyjen levien sato on paljon suurempi, n. 22 kg/m² vuodessa verrattuna muihin hyötykasveihin, joiden kohdalla em. luku on n. (0,5–4,4) kg/m² vuodessa. Korkea sato onkin edullisin ominaisuus, mikä tekee niistä ihanteellisen ehdokkaan polymeerituotannolle. (Min, ym., 2017, s. 35–36).

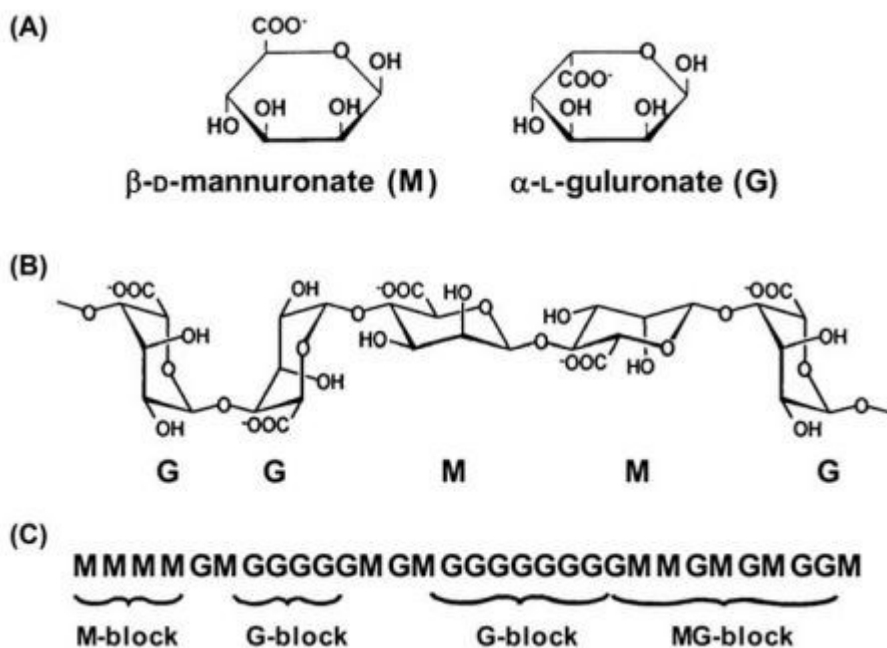
Selluloosa on homopolymeeri, sillä se koostuu vain D-glukoosiyksiköistä. Selluloosamolekyylien ketjut yhdistyvät sivuttain ja ne pysyvät yhdessä vedyn kanssa muodostaen sidoksen. Nämä sidokset ovat kiteisiä tai parakiteisiä mikrokuituja. Tämä ominaisuus antaa selluloosalle verkkorakenteen. Rakenteellisesti selluloosalla on suuri lujuus, jäykkyys ja lämpövakaus. Selluloosa on houkutteleva ehdokas teolliseen kaupallistamiseen. (Min, ym., 2017, s. 45). Bakteeripohjaisen selluloosan katsotaan olevan parempi, sillä se ei ole saastunut vahalla, ligniinillä, pektiinillä, hemiselluloosalla tai muilla epäpuhtauksilla. Kasvipohjaisilla selluloosilla näitä mainittuja epäpuhtauksia on enemmän. Toinen etu bakteeripohjaisilla selluloosilla on sen molekyylien moduloiminen tehokkaasti. Kuitenkin kaupalliselta kannalta kasvipohjaiset selluloosat ovat kustannustehokkaampia. (Min, ym., 2017, s. 42). Kasvien käyttö muovin valmistukseen voi häiritä ihmisten ravinnon saantia ja siten aiheuttaa lisäpaineita maailmalla jo nyt havaittujen ruokaresurssien vähenemiseen. Muita raaka-aineiden lähteitä kuin elintarvikekasveja tulisi käyttää elintarvikekasvien turvaamiseksi. Tässä suhteessa levien käyttö biomassana olisi oiva mahdollisuus. Niiden runsas ja nopea kasvu sekä hyödyntämättömät resurssit, jotka usein jätetään rannoille hajoamaan aiheuttaen jätteenongelmia. (Min, ym., 2017, s. 336).

Täyteaineiden lisääminen voi vähentää kustannuksia sekä lisätä komposiittien joustavuutta tuotteissa, jotka on valmistettu levätäyteaineella. Täyteaineella voisi olla vaikutusta komposiitin joustavuuteen ja mekaaniseen lujuuteen.

Levöpohjaisia muoveja on viime aikoina pidetty tärkeämpinä verrattuna perinteisiin kyseisen raaka-aineen hyödyntämismenetelmiin. Leväperäiset luonnonkuidut ovat nyt kaupallisesti saatavilla. (Min, ym., 2017, s. 36).

Merileivistä löytyy alginaatteja tai fykokolloideja niiden soluseinämistä. Ne tarjoavat joustavuutta ja mekaanista lujuutta. Sana alginaatti on peräisin algiinihaposta, jota esiintyy luonnollisesti esimerkiksi tietyissä ruskeissa merileivissä. On raportoitu, että kaikki ruskean levän lajit sisältävät alginaatteja. Ruskeiden merilevien *Laminaria*-, *Ascophyllum*- ja *Leedonia* -lajit ovat suurimpia alginaattien lähteitä. Alginaatit saadaan esikäsittelemällä levämassaa. (Min, ym., 2017, s. 42).

Alginaatit ovat kemiallisesti anionisia sisältäen lineaarisia lohkoja. Alginaatteja käytetään jalostettujen tuotteiden valmistuksessa sekä lääketieteellisyydessä. (Min, ym., 2017, s. 151).



Kuva 8. Alginaattien rakennekemialliset ominaisuudet: (A) alginaattimonomeerit, (B) ketju konformaatio ja (C) lohkojakauma (Min, ym., 2017, s. 152).

Alginaatit kuuluvat binaaristen lineaaristen kopolymeerien perheeseen. Kemiallinen järjestys ja koostumus vaihtelevat suuresti riippuen levälajista ja sadonkorjuun ajankohdasta (vuodessa). Alginaateissa on paljon guluronihappoa, mikä on tärkeä alginaattigeelin mekaanisille ominaisuuksille. Alginaattigeeliä saadaan erityisesti leväkudoksesta. Alginaatteja voidaan jälkipolymeroida peräkkäin entsyymaattisella modifikaatiolla, käyttämällä *Azobacter vinelandii*stä eristettyä mannuronaani C-5 epimeraasia.

Alginaateille voidaan räätälöidä spesifisiä fysikaalis- kemiallisia ominaisuuksia eri menetelmillä. (Min, ym., 2017, s. 151–153).

Jotkin ruskeanmerilevän lajit voivat kasvaa 20 °C-asteen lämpötilassa, mikä on myös hyödyllinen ominaisuus kasvatuksen kannalta. Alginaatteja, eli algiinihapon suoloja, voidaan uuttaa ruskeista merilevistä. Lämpimissä vesissä kasvavat ruskeat merilevät eivät ole kovin hyvä valinta, sillä niissä on ei-toivottuja yhdisteitä. Alginaattien maailmanlaajuinen tuotanto vuodessa on noin 25 500 tonnia, jonka kaupallinen arvo on n. 318 miljoonaa dollaria. Lajit kerätään yleensä luonnonvaroista, joskin Kiina viljelee näitä lajeja, mikä on kallista. Ruskeat merilevät sopivat elintarvikkeeksi sekä kasviku- miksi ja selluloosajohdannaiseksi. (Min, ym., 2017, s. 151–153).

Alginaatteja on mahdollista saada suolan sekä hapon muodossa, uuttamalla ruskeita merileviä. Ruskeiden merilevälajien soluseinän tärkeä osa onkin alginaattien suola- muoto, se muodostaa 40–47 prosenttia kuivan levän biomassasta. Alginaattien happo- muoto koostuu lineaarisesta polyuronihaposta, tätä kutsutaan algiinihapoksi. Alginaa- teista voidaan jalostaa esimerkiksi kartonkia ja paperia. (Min, ym., 2017, s. 151).

Levät voidaan jaotella eri tavoin. Kokonsa perusteella, mikro-, ja makroleviin värin perusteella punaleviin, vihreisiin leviin, keltaisiin vihreäleviin ja sinileviin. Muodon perusteella yksisoluisiin, monisoluisiin ja rihmamaisiin. Levät voidaan jakaa neljään erilliseen leväryhmään. Ensimmäisenä prokaryootit, syanobakteerit, joita kutsutaan myös sinileviksi. Toisena ryhmänä eukaryootiset levät, joissa on yksi kloroplastinen ER-kalvo. Kolmantena ryhmänä kloroplastia sisältävät eukaryootiset levät, joita ympäröi kaksi kloroplastista ER-kalvoa. Neljäntenä ryhmänä on kloroplastit, jotka sisältävät eukaryootisia leviä, joita ympäröivät kloroplastinen kuori. (Min, ym., 2017, s. 121).

5 LEVÄYHDISTEET TUOTANTOPROSESSEISSA

5.1 Biomuovit

Levän raaka-aineesta valmistetulla biomuovilla voi olla monia muotoja, kuten biopolyeteeni, polymaitohappo (PLA= Poly Lactic Acid), selluloosapohjaiset- ja hybridimuovit (Min, ym., 2017, s. 336).

Levien käyttö biomuovin tuottamiseen on houkuttelevaa. Leväkannat on kuitenkin muunnettava geneettisesti niiden kestävyiden edistämiseksi ekologisia rasituksia vastaan ja lisäämään satoa. Monia biomuovien puutteellisuuksia korjataan synteettisellä sekoituksella, kuten vedenkestävyyttä, lujuutta ja kimmoisuutta. Uudet tutkimukset osoittavat, että meren punainen levä, jota on käytetty biopolttoaineena, olisikin kestävämpi biomuovin raaka-aineeksi. (Min, ym., 2017, s. 339–340).

Selluloosa on luonnollinen ja runsain polymeeri, sitä voidaan käyttää esimerkiksi paperinvalmistuksessa, elintarvikepakkauksissa ja vihreissä komposiiteissa. Sillä on paljon erilaisia innovatiivisia sovellutuksia sen ominaisuuksien takia. Näitä ainutlaatuisia ominaisuuksia ovat sen suuri pinta-alan suhde tilavuuteen, vähemmän painoa, korkea lujuus, alhainen hinta, suuri vetolujuus sekä jäykkyys. Ympäristöystävällisiksi hyödyiksi voidaan luetella sen kierrätettävyys ja biohajoavaisuus. Mikrolevien biomassasta valmistettiin, ylhäältä alas, kutsuttua lähestymistapaa käyttäen nanorakenteista selluloosamateriaalia tutkimuksissa. Mikä on myös lisännyt entisestään luonnollisen polymeerin kysyntää. (Min, ym., 2017, s. 348–349).

Bionanokomposiitti muodostuu biopolymeereistä ja nanokokoisista epäorgaanisista hiukkasista. Nanohiukkasten yhdistäminen biopolymeerien kanssa parantaa niiden ominaisuuksia ja avaa uusia toimintoja. Epäorgaanisia täyteaineita käytetään polymeeriteollisuudessa tarkoituksena parantaa jäykkyyttä ja sitkeyttä. Samalla paranee palojäykkäisyys ja syttymiskestävyys. (Min, ym., 2017, s. 636).

Polymeeriseos tai polymeerisekoitus luokitellaan kuuluvan luokkaan metalliseosten kaltaiset materiaalit. Kun kaksi polymeeriä sekoitetaan keskenään, niin voidaan uusi materiaaliluokka erilaisilla fysikaalisilla ominaisuuksilla. Yhden komponentin puutteita voidaan peittää polyseoksen toisen komponentin lujuuksilla. Sekoituksen suorituskyky riippuu yhteensopivuudesta, johon vaikuttaa rakenneosien koko ja niiden rajapinnan tarttuvuus. Yhteensopimattomat sekoitukset ovat poikkeustapauksia lukuun

ottamatta hyödyttömän turhia. Tämänhetkiset polymeeriseokset voidaan jakaa kolmeen eri luokkaan. Näitä ovat heterogeeniset, yhteensopivat ja homogeeniset polymeeriseokset. Heterogeeniset polymeeriseokset tunnetaan sekoittumattomina polymeeriseoksina kahden faasin läsnäolon takia. Yhteensopivat polymeeriseokset ovat tavallaan sekoittumaton seos, jonka epähomogeenisuus on niin pientä, että sitä ei voida visualisoida. Homogeeninen polymeeriseos yksifaasinen sekoittuva polymeeriseos. Biopolymeerit ovat hyvinkin halpoja, mutta sellaisenaan riittämättömiä. Mekaaniset ominaisuudet, kuten vetolujuus ja molekyyli-tason epäsäännöllisyys ovat biopolymeerien epäkohtia. Sen vuoksi biopolymeerien sekoittamisella voidaan saada hyödyllisempiä ominaisuuksia, joita pelkillä biopolymeereillä ei voida saavuttaa. (Min, ym., 2017, s. 404–406).

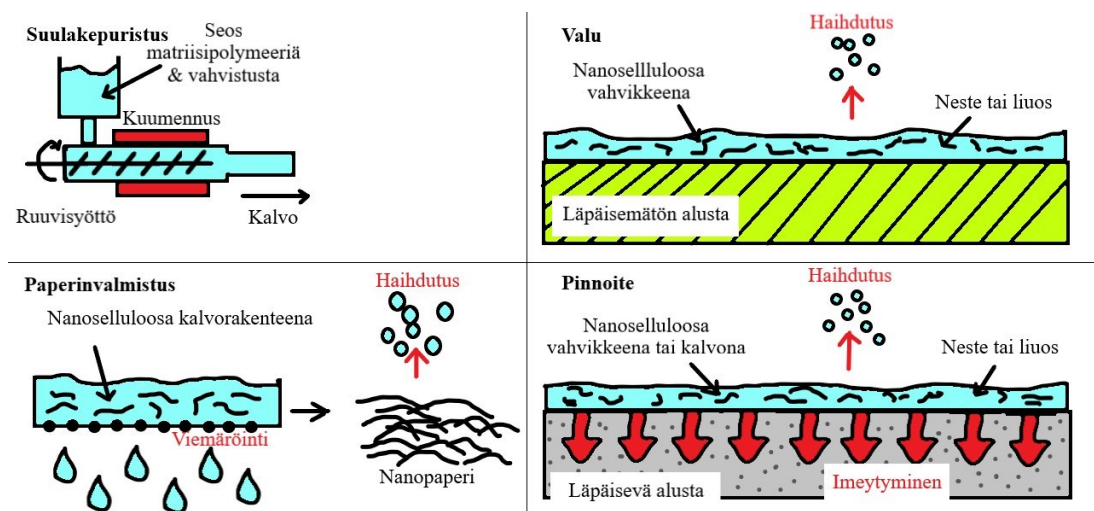
Fotosynteesin aikana hiilidioksidia sitoutuu leviin, tästä johtuu hiilihydraattien kertyminen (Min, ym., 2017, s. 381). Ligniinipitoisuuden alhaisuus sekä korkea hiilihydraattipitoisuus tekevät levistä hyvän vaihtoehdon biomuovien synteesiin. Siispä erilaisia muovimuotoja voidaan valmistaa levien raaka-aineesta, kuten hybridimuovit, selluloosapohjaiset muovit, polymaitohappoa ja biopolyeteeniä. (Min, ym., 2017, s. 336). Hybridimuovit on valmistettu lisäämällä öljypohjaisiin muoveihin leväbiomassaa täyteaineeksi. Tämä vähentää öljyn käyttö määrää ja tuo haluttuja ominaisuuksia, kuten biohajoavuutta. Vihreät levät Cladophorales-luokasta sopivat hyvin tähän käyttöön. Selluloosapohjaiset muovit ovat halpoja, mutta heikkolaatuisia.

Joidenkin leväkantojen uuttamisen jälkeen biomassan tiedetään sisältävän selluloosaa. Nämä kannat sopivat selluloosapohjaisten muovien raaka-aineeksi. Polymaitohappo on polymeroitua maitohappoa. Levien biomassasta voidaan tuottaa maitohappoa bakteerifermentoimalla. Polymaitohappo on biohajoavaa ja sen uskotaan olevan taloudellisesti kannattava vaihtoehto. (Min, ym., 2017, s. 337–338). Etyleeni on monomeeri, jota käytetään polyeteenin valmistuksessa. Biopolyeteenin valmistuksessa etanoli otettaisiin levistä. Biopolyeteenin tekninen valmistus ei ole kustannustehokasta tällä hetkellä. (Min, ym., 2017, s. 337–338).

5.2 Levien käyttö pakkauskartonkina

Levästä valmistettujen pakkausten tuotantoprosessissa on mahdollista käyttää raaka-aineena levistä jalostettua nanomittakaavan selluloosahiukkasia. Trendinä on korvata

öljypohjaiset materiaalit uusiutuvilla, biohajoavilla ja ympäristöystävällisillä materiaaleilla. Tutkimuksista saatu tieto on antanut vahvistusta siitä, että nanoselluloosaa sisältävien pakkausrakenteiden laatu voisi vastata pakkauksen käyttövaatimuksia. Tutkimuksissa painotettiin materiaalin lujuusominaisuuksia. (Hubbe ym., 2017, s. 3). Pakkauspakettien tehtävänä on muun muassa estää kaasujen tai nesteiden kulkeutumista suljettuihin tuotteisiin tai niistä ulos. Nanoselluloosaa sovellettuna pakkausmateriaaliksi voidaan käyttää joko kerroksina tai pinnoitteena. Neljä yleisintä sekä tutkituinta tapaa toteuttaa nämä sovellutukset ovat nanoselluloosaa sisältävät kalvot tai ”nanopaperit”. Näitä tapoja voidaan tarkemmin kutsua nimellä suulakepuristus-, valu-, paperinvalmistus- ja päällystysmenetelmiksi. (Hubbe ym., 2017, s. 9–10).



Kuva 9. Neljä tutkittua tapaa valmistaa nanoselluloosaa sisältäviä kalvoja tai ”nanopaperiä” (Hubbe ym., 2017, s. 9).

Suulakepuristus on prosessi, jossa korkean paineen ja lämpötilan alaisena pakotetaan aine tai seos suulakkeen läpi. Näin muodostuu arkki, kuitu, filamentti tai jokin muu haluttu jatkuva muoto. Käytetään enimmäkseen laminoinnin valmistuksessa pakkauksia varten, jotka perustuvat synteettisistä muovimateriaaleista. Nanoselluloosaa voitaisiin soveltaa käytettäväksi suulakepuristuksessa, valmistaa nanoselluloosasta pakkausmateriaalia. Kun käytetään nanoselluloosaa tällaisessa prosessoinnissa, tulee huomioida materiaalin rikkoutuminen sekä terminen hajoaminen. Lisäksi huomioitavana on nanoselluloosan oikein kohdistaminen ja korkea viskositeetti. Nanoselluloosalla on korkea viskositeetti. Toinen tapa saavuttaa kiinteä kerros on käsitellä nesteistä seosta samalla kun suulakepuristus tapahtuu. Käsittelytapoina voidaan vaihtoehtoisesti käyttää jäädytystä (matriisimateriaalin sulettua) tai kemiallista reaktiota, jonka käyminen kovettaa koostumusta. Loppu tuloksena on kerros, joka voi olla

kestomuovi eli termoplastinen polymeeri, tai reaktiivinen järjestelmä. (Hubbe, ym., 2017, s. 10).

Sulankäsittelyä sovellettiin samanaikaisesti, kun termoplastista hartsia vahvistettiin pienikokoisella nanoselluloosa komponentilla. Havaitusti nanoselluloosan lisääminen on parantanut joustavuusmoduulia. Polymeerit, jotka sulavat heikosti vähentävät lämpöaurion riskiä, tämä lämpöaurio voi tapahtua selluloosavahvistusta sekoittaessa. Luonnollisempien tuotteiden valmistukseen tutkijat ovat valinneet vaihtoehdoiksi matriisille poly (maitohappo) ja termoplastiset tärkkelysseokset. Nopea jäähtyminen saadaan toteutettua CNC-koneen avulla. Nopean jäähtymisen tuotoksena saadaan enemmän kalvoja, joiden ominaisuuksina olivat amorfisuus, läpinäkyvyys ja parempi yhteensopivuus. (Hubbe, ym., 2017, s. 10).

Nanoselluloosavahvistetulla kalvolla voidaan saada aikaan kovettumisreaktio, mikä tapahtuu hapettumisen yhteydessä suulakepuristuksen jälkeen. Tällä tavoin voidaan olla käyttämättä korkeita lämpötiloja, joita tarvitaan sulattamiseen. Lisäksi suuret leikkausjännitykset voidaan välttää, tämä yleisesti liittyy polymeroidun matriisin korkeaan viskositeettiin. Hartsien lisääminen pitää tehdä ennen suulakepuristusta tai sen jälkeen. Voidaan käyttää esimerkiksi epoksia valmistettaessa hapettumisreaktion kovettamaa selluloosakalvoa. (Hubbe, ym., 2017, s. 10).

Varmistaakseen ainesosien sekoittumisen ja siten suulakepuristuksen tulosten parantamista, saatettiin tehdä vahvistuksen esisekoitus matriisiin. Tämä esisekoitus tehtiin käyttämällä CNC- konetta. Samaista konetta voitiin käyttää myös kylmäkuivauksessa, mutta kuivauksen aikana oli vaara keskinäisen vetysidoksen syntymisen koneen välille, johtuen selluloosapinnasta. (Hubbe, ym., 2017, s. 10–11).

Suulakepuristus ei välttämättä ole sopiva vaihtoehto sen heikon virtauksen takia, jos valmistettavan kalvon tai kerroksen nanoselluloosan määrä on sata prosenttia tai sitä on huomattavan suuri määrä. Silloin nesteistä nanoselluloosakalvojen valua voidaan pitää paljon käytännöllisempänä. Nanoselluloosaa pystytään suspendoimaan liuokseen tai nesteeseen. Valu tapahtuu haihduttamalla kyseistä vesiliuosta. Jos käytetään vettä, saadaan vahva vetysidos selluloosan nanohiukkasten välillä kuivumisen yhteydessä. On myös mahdollista käyttää ei-vesipitoista valujärjestelmää, joka tekee mahdolliseksi saada erilaiset veteen liukenemattomat matriisimateriaalit liukenemaan. Tämä voi vaikuttaa saadun kerroksen tai kalvon ominaisuuksiin. Molemmissa pääluokissa kiintoaineiden osuus suhteutettuna haihdutettavaan nesteeseen riippuu tietyistä

tekijöistä, kuten kvyyistä hajottaa tasaisesti suhteellisen korkeat hiukkaset samalla kun haihdutetaan paljon nestettä. (Hubbe, ym., 2017, s. 11).

Jotta tarpeeksi vahvoja ja korkealaatuisia nanoselluloosapohjaisia kalvoja voitaisiin valmistaa vesipitoisista väliaineista, tarvitaan glyserolia. Glyserolin sijasta on havaittu voitavan käyttää mikrofibrilloitua selluloosaa, ne siis toimivat vesiliuoksen tai suspension pehmittimenä. Vesipohjainen nanoselluloosaformulaatio levitetään tukipinnalle ja kuivataan paikallaan, jotta voitaisiin välttää mahdolliset kutistumisongelmat. Jos käytetään liuottimenvaihtoprosessia kuivauskeinona, voidaan säilyttää kalvojen läpinäkyvyys halutessa. (Hubbe, ym., 2017, s. 11–12).

5.3 Levät paperinvalmistuksessa

Paperinvalmistusprosessissa selluloosakuitususpensio viedään ensin viiralle vedenpoistoon, jonka jälkeen paperi puristetaan ja lopulta kuivataan huuvassa. Prosessin aikana kuitujen välille muodostuu vetysidoksia. Vaihtoehtoisesti paremman paperin lujuuden saavuttamiseksi voidaan puumassakuitujen suspensioihin lisätä nano- tai mikrofibrilloitua selluloosaa. Paperirainan muodostuessa huomattiin vedenpoiston olevan hidasta. Vedenpoistoa edistettiin ligniinijäämän ja lisättyjen kationisten polymeerien avulla. Muuten vedenpoisto on liian hidasta johtuen nanoselluloosan suuresta pinta-alasta. Nanoselluloosa sitoo enemmän vettä kuin tavallinen selluloosa. Näin vedenpoisto heikkenee. (Hubbe, ym., 2017, s. 13).

Pinnoitus- tai päällystysprosessiksi kutsutussa prosessissa lietettä levitetään huokoiselle pinnalle. Kiinteä sisältö muuttuu kalvoksi samalla tarttuen pohjakerrokseen. Pohjakerroksena toimii huokoisen kappaleen pinta. Suspendointiväliaine, joka on neste-mäinen, saattaa imeytyä vain osittain pohjamateriaaliin. Lopuksi imeytymätön aine haihdutetaan suoraan. Useimmissa elintarvikepakkauksissa käytetään päällystettyjä paperi- ja kartonkituotteita. Näin ollen tulisi harkita ansaitisiko nanoselluloosa paikansa paperipäällysteiden valmistuksessa. (Hubbe, ym., 2017, s. 13–14).

Toimivaksi osoitettu, mahdollinen järjestelmä, jossa on rullalta rullalle toimiva pinnoitejärjestelmä. Kuivaus tapahtuu kahdella yhdistetyllä kuivaus tavalla, kosketuksettomalla infrapuna- ja ilmakeivauksella. On raportoitu, että nanofibrilloitua selluloosaa voisi tällä pinnoitejärjestelmällä levittää paperille nopeudella 30 metriä minuutissa. (Hubbe, ym., 2017, s. 14).

Nanofibrilloidun selluloosa suspension prosessoinnilla on haasteensa. Suspensioiden luontaisesti korkea viskositeetti nanokuituisella selluloosalla voi aiheuttaa isoja haasteita tällaisen tekniikan teolliselle toteutukselle. Ongelmat ilmenevät virtausominaisuuksissa, joita voidaan parannella vähentämällä kiintoaineiden määrää päällysteessä. Toisaalta korkean tason fibrilloituminen voi olla hyödyksi, sillä se voisi toimia ”vedenpidättäjänä”. Se voi edesauttaa pinnoitteen tasaantumista levityksen jälkeen paperille parantaen lujuutta ja estäen ilmaa kulkemasta paperin läpi entisestään. Tyypillisestiselluloosassa olevat nanokiteet eivät ole realogialtaan ongelmallisia. (Hubbe, ym., 2017, s. 14).

6 PROSESSI KÄYTÄNNÖSSÄ

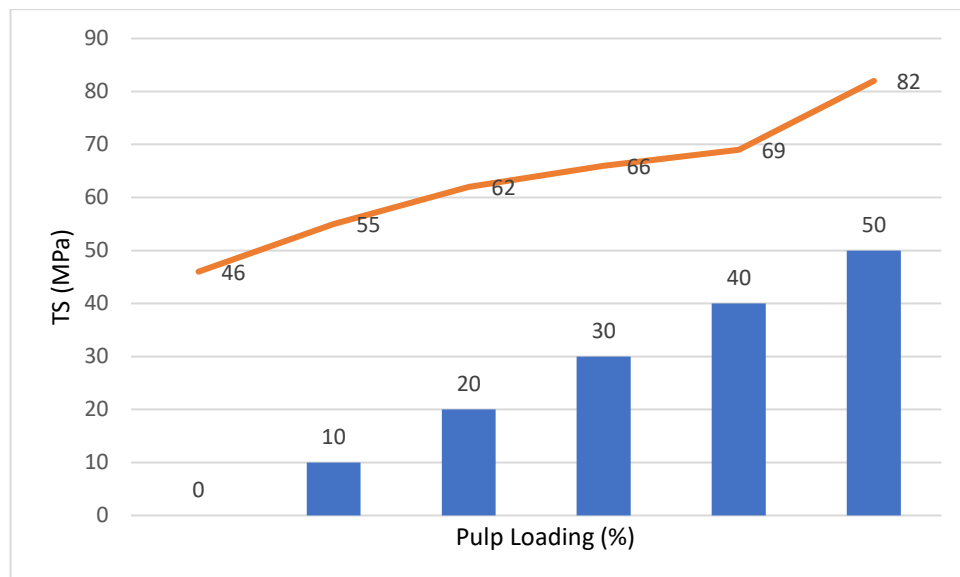
Kokeellinen prosessi, jossa materiaalina käytettiin EFB-kuitua (EFB = Empty Fruit Bunch) ja kuivaa merilevää kalvoja tuottamaan. EFB-massan valmistukseen käytettiin sooda-antrakinoni-prosessia, mikä tapahtui neljän litran keittimessä. Keitin oli kiinteä ja tehty ruostumattomasta teräksestä sekä varustettu termoparilla, joka oli tietokoneohjattu. Pulperointi olosuhteet olivat seuraavat: kiinteän aineen ja nesteen suhde (S:L) 1:6 (w/w). Massaa alkoi muodostua 70 minuutissa ja massanvalmistuksen reaktiolämpötila oli 170 °C. EFB-kuitujen uunikuivauksen jälkeiseen painoon perustuen alkali-lataus oli 15 prosenttia (w/w) ja antrakinoni annos oli 1 prosenttia (w/w). Pulperoinnin jälkeen massa pestiin juoksevalla vedellä, pesu tapahtui kahdensadan meshin seulalaatikossa. Pesun jälkeen puhdas massa hajotettiin käyttäen mekaanista kolmilapaista sekoitinta. Pesu ja hajotus oli tehtävä, jotta massaa voitaisiin seuloa tasaisella seulalla, johon oli tehty 0,15 millimetrin rakoja (USA, DE, Testing Machines Inc., Somerville Screen). Tämän jälkeen kahdensadan meshin seulalaatikolla massa kerätään talteen odottamaan vedenpoistoa ja homogenointia. Hyväksytty massa säilötään neljässä celsius-asteessa odottamaan jatkokäyttöä. Merilevähiukkasten valmistuksessa vesijohtovedellä ensin pestään raaka merilevää useita kertoja. Tarkoituksena oli poistaa epäpuhtauksia, kuten hiekkahiukkasia ja suoloja. Merilevä leikattiin puhdistuksen jälkeen pienempiin paloihin kuivauksen takia. Kuivaus tapahtui uunissa neljässäkymmenessä celsius-asteessa 2–3 päivän aikana. Kuivauksen tulee kestää niin kauan, kunnes vakiopaino on saavutettu. Ennen käyttöä merileväpartikkeleita säilöttiin neljänkymmenen asteisessä uunissa. Merilevän säilömisen ja kuivaamisen toteuttaminen 40 °C:ssa estää rakenteen lämpöhajoamisen. Merilevä/EFB-massakomposiittikalvon valmistus. Merileväliuos valmistettiin 2 prosentin pitoisuudella (w/v). Merileväkomposiittien liuokset, täytettynä EFB-massakuiduilla valmistettiin lataamalla 0 %, 10 %, 20 %, 30 %, 40 % ja 50 % uunissa kuivattua massakuitua. Tämä laskettiin merilevän painoprosentin avulla, merilevämatriisiin. Merilevähiukkasia ensin pehmennettiin yön yli liottaen tislatussa vedessä, liottamisella saatiin muodostumaan gelatinoitunutta merilevää. Ennen lisäämistä, ja merileväliuoksen kanssa sekoittamista, EFB-massaa liuotettiin tislattuun veteen 1 minuutin ajan. Liuoksen kovettumisen estämiseksi seosta sekoitettiin aika ajoin, sekä pidettiin alle sadan celsiusuksen lämpötilassa, jotta lämpöhajoamista ei tapahtuisi. Seoksen täysin liuettua se kaadettiin (32 cm x 25 cm x 9 cm)

astiaan tasaisesti kuivausta varten. Kuivaus tapahtui huoneenlämpötilassa kestäen 24–48 tuntia, jonka jälkeen kalvot laitettiin säilöön eksikaattoriin odottamaan testausta. (Khalil, ym., 2016, s. 3–4).

Tarkkuusdigitaalimikrometrillä mitattiin 0,1 mikrometrin tarkkuudella valmistettujen merilevä/EFB-massakomposiittikalvojen paksuutta. Kalvot mitattiin siten, että jokaiseen kalvoon kohdistettiin 20 mittausta satunnaisesti valituista paikoista. Tarkoituksena oli käyttää vetolujuuslaskelmissa paksuuden keskimääräistä arvoa kaikista näytteistä. Mittauksissa käytettiin rakenneanalysaattoria TA.XT plus (Stable Micro System Ltd., Godalming, UK). Kokeet suoritettiin huoneenlämpötilassa ja 58 prosentin suhteellisessa kosteudessa. Ohjaus suoritettiin Texture Exponent – ohjelmistolla (Godalming, UK) punnituskennoa käyttäen, joka oli painoltaan 30 kiloa ja perustuen ASTM D882-02 testausstandardiin. Ainakin viisi koetinta leikattiin vetokokeessa suorakaitteen muotoisiksi paloiksi, niiden koko oli 100 mm x 20 mm. Poikkipään nopeudella 100 mm/min ja aluksi lähtevien alkukahvan erona (*Lo*) 60 mm. Murtuman jälkeen näytteen pituudesta ja vetovoimasta laskettiin murtovenymä (EAB) ja vetolujuus (TS). Vetomurtumapinnan morfologiaa ja komposiittikalvojen pintamorfologiaa tutkittiin käyttäen pyyhkäisyelektronimikroskooppia (EVO MA10, Carl-ZEISS SMT, Oberkochen, Saksa). Näytteet aseteltiin SEM-pidikkeeseen sähkö johtavalla hiiliteipillä. Tarkoituksena estää pintavarauksen muodostuminen näytteiden altistuessa elektroni-suihkulle. Tämän jälkeen, käyttäen Polaron SC515- roiskutus päällystyskonetta (Fisons Instruments, UK) näytteet päällystettiin ohuella kulta-palladiumkerroksella. Erilaisia signaaleja pystyttiin tuottamaan kiinteiden näyte- kappaleiden pinnalle SEM:n avulla, joka fokusoi korkean energian elektronien sädettä. Staattista kosketuskulmaa voitiin mitata kalvoista käyttämällä KSV CAM 101:tä (KSV Instruments Ltd., Suomi) -laitetta. Kalvon pinnalle asetettiin tasaisesti pisara testinestettä ja nopeudella 5 kuvaa viidessä sekunnissa, kuvaa tallennettiin. Lisäksi jokaisen kalvon kalvotesti toistettiin viisi kertaa, jotta kunkin kalvon keskiarvo voitiin laskea. Kun tilastollista analyysiä tehtiin, niin kaikkiin tietoihin käytettiin DSAASTAT ver. Andrea Onorfin 1.101:tä. Lisäksi käytettiin varianssianalyysiä (ANOVA) tietojen analysointiin. (Khalil, ym., 2016, s. 4).

6.1 Käytännön prosessin tulokset

Tuloksista voitiin todeta, että EFB-massaa lisäämällä merilevämatrisiin voitiin huomattavasti vaikuttaa merileväpohjaisten kalvojen morfologiaan, mekaanisiin ja fysikaalisiin ominaisuuksiin. Kalvojen EFB-massapitoisuuden kasvaessa EFB-massaleväkomposiittikalvojen paksuus ja mekaaniset ominaisuudet paranivat. Kun taas kalvojen EFB-massapitoisuuden kasvaessa, EFB-massaleväkomposiittikalvojen kosketuskulma pieneni. SEM-analyysin mukaan, kun EFB-massan määrää lisättiin, EFB-massaleväkomposiittikalvot karheutuivat ja kuitua vedettiin vähemmän. EFB-massa-merileväkomposiittikalvoa voidaan pitää mahdollisena pakkausmateriaalina sen hyvien mekaanisten ominaisuuksien ja hyväksyttävän hydrofiilisyyden ansiosta. (Khalil, ym., 2016, s. 11).

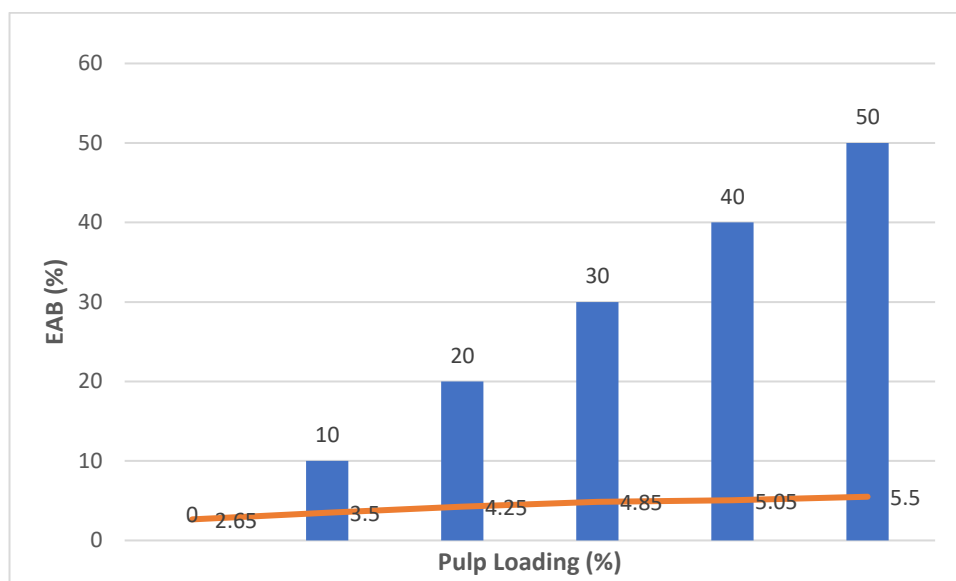


Kuva 10. EFB-massaan sisältyvien merileväkalvojen vetolujuus

(Khalil, ym., 2016, s. 6).

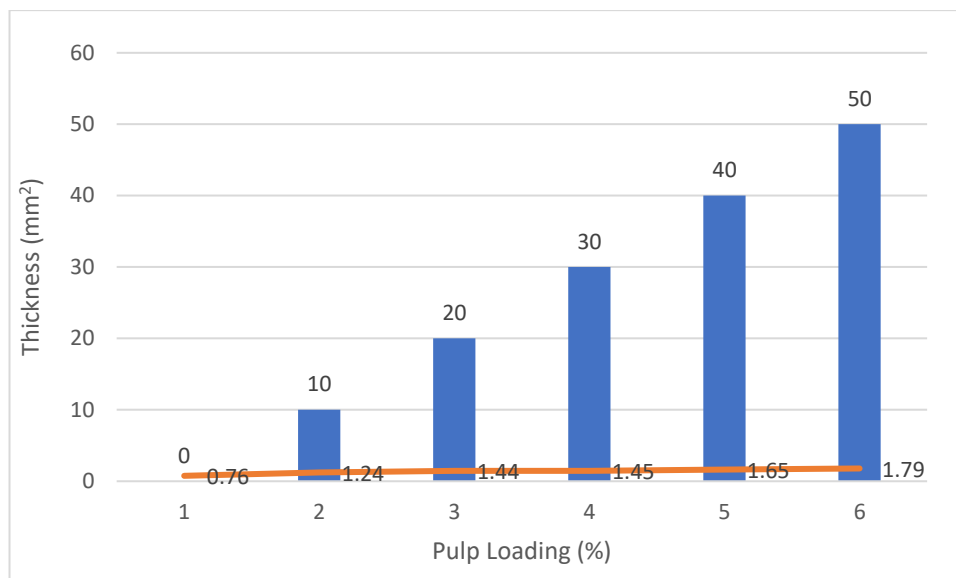
TS on näytteen suurin vetojännitys, jonka se voi kestää ennen rikkoutumistaan. Komposiittikalvojen oletetaan kestävänsä rasituksia pakkaussovellutuksien käytön aikana. Kuvan 10. mukaan EFB-massasta tyhjänä (0 %) olleen leväkalvon TS (45 MPa) oli alhaisin. EFB-massalla ja merilevällä oli hyvä yhteensopivuus, tämän osoitti komposiittikalvojen TS:n parantuminen. Yhteensopivuus johtui hydrofiilisen EFB-massan ja merilevämatrisiin välisestä hyvästä sidoksesta, sillä käsitellyt EFB-massapinnat ja merilevämatrissi olivat suurimmalta osin hydroksyyli-ryhmien (-OH-ryhmien) peitossa. Näin ollen komponenttien väliin muodostui jatkuvat 3D-vetysidosverkostot ja kaikki komposiittikalvoon kohdistetut jännitykset siirtyivät matrisista massaan tehokkaasti.

Lisäämällä massakuitua voidaan vähentää tarvittavan matriisin määrää valmistettaessa komposiittikalvoa. Massakuitu lujittaa matriisia tehokkaasti, antaen kestävyyttä kohdistettua jännitystä vastaan. (Khalil, ym., 2016, s. 6–7).



Kuva 11. EFB-massaan sisältyvien merileväkalvojen murtovenymä (Khalil, ym., 2016, s. 6).

Toinen suoritettu testi tehtiin määrittääkseen pakkauksien mekaanista kestävyyttä erilaisissa sovellutuksissa. EAB testi (EAB = Elongation at Break) ilmaisee kalvon venyvyyttä ja joustavuutta. Se määriteltiin kohdassa, jossa kalvo katkesi vetotestauksen aikana. Kuvassa 5 näkyy kuinka kalvojen EAB kasvoi, kun EFB-massaa lisättiin merileväkalvoihin. Yleisestikin vesi on pehmitin useassa hydrofiilisessä kalvossa. Havainnoista voidaan uskoa massakuidun nostaneen komposiittikalvojen EAB-arvoja, jota myös vahvistettiin kosketuskulmamittauksella. Kuitenkin oli havaittu, että EFB-massakuormitukset 30 %, 40 % ja 50 % eivät muuttaneet EAB-arvoa kovinkaan merkittävästi. (Khalil, ym., 2016, s. 6–7).



Kuva 12. EFB-massaan sisältyvien merileväkalvojen paksuus,
(Khalil, ym., 2016, s. 5).

Kuvan 8. mukaan EFB-massaa vahvistettiin merilevämatiiriisiin. Kalvojen paksuus kasvoi massakuormituksen kasvaessa. Paksuuden kasvaminen johtui massakuitujen pinoavien kerrosten lisääntymisestä komposiittikalvossa. Paksuudet eivät kuitenkaan eronneet kovinkaan merkittävästi toisistaan.

7 LEVIEN KÄYTTÖ PAKKAUSKARTONGIN TUOTANNOSSA

7.1 Yleistä

On todettu, että muovista tehdyt tuotteet eivät ole kovinkaan ympäristöystävällisiä. Ne kasaantuvat kaatopaikoille ja ovat haitaksi ympäristölle. Muovipakkausten hajoaminen voi kestää satoja jopa tuhansia vuosia. Siltikin muoveista on tullut todella suosittuja pakkausmateriaalien valmistuksessa. Suurin osa muoveista valmistetaan fossiilisia raaka-aineita käyttäen. Nämä fossiiliset raaka-aineet eivät kuitenkaan ole uusiutuvia. Monista syistä johtuen on alettu kehittämään uusiutuvia ja ympäristöystävällisempiä vaihtoehtoja. Yleisenä tavoitteena on korvata öljypohjaiset materiaalit uusiutuvilla, sekä biohajoavilla materiaaleilla. Tarpeellista olisi suojata puhtaita vesistöjä ja maatalousmaita. Synteettisiä polymeerejä voidaan korvata biohajoavilla tyypeillä. Ajansaatossa fossiiliset resurssit todennäköisesti muuttuvat yhä vain harvinaisemmiksi ja kalliimmiksi. Silloin biomassan hyötykäytön muuttaminen kilpailukykyisemmäksi voisi olla entistä houkuttelevampaa. Jotkin näistä tuotanto tavoista eivät olleet kannattavia, joko puutteellisen kehityksen tai rahallisen kannattavuuden takia. Kaupalliselta kannalta kasvipohjaiset selluloosat ovat kustannustehokkaampia. Kasvien käyttö muovin valmistukseen voi häiritä ihmisten ravinnon saantia ja siten aiheuttaa lisäpaineita maailmalla jo nyt havaittujen ruokaresurssien vähenemiseen. Muita raaka-aineiden lähteitä kuin elintarvikekasveja tulisi käyttää elintarvikekasvien turvaamiseksi. Tässä suhteessa levien käyttö biomassaa olisi oiva mahdollisuus. Niiden runsas ja nopea kasvu sekä hyödyntämättömät resurssit, jotka usein jätetään rannoille hajoamaan aiheuttaen jäteongelmia.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO

Nykypäivän trendinä on ollut etsiä teolliseen tuotantoon luonnolle ystävällisempiä ratkaisuja. Ongelmajätteiden vähentäminen ja uusiutuvien raaka-aineiden valitseminen on katsottu ehkäisevän ympäristöongelmia. Tarpeellista olisikin puhtaiden vesistöjen ja maatalousmaiden suojaaminen. Muovit ovat tunnetusti ympäristölle haitallisia, ja siksi vaihtoehtoinen materiaali on ympäristölle eduksi. Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin ja tulkittiin mahdollisuutta levä raaka-aineen käyttämiseen. Samalla painotettiin pakkausteollisuutta sovellutukseen. Öljypohjaisia pakkausmateriaaleja korvataan joissakin määrin biohajoavilla materiaaleilla. Sillä pakkausmateriaaleja pystytään valmistamaan levän biomassasta eritavoin. Niiden uskotaan pystyvän kilpailemaan synteettisten muovien kanssa.

Opinnäytetyön aihe ja tavoitteet sekä päämäärä asetettiin itse kuitenkin vaadittujen suoritusohjeiden mukaisesti. Aineisto kerättiin pääasiassa kirjallisuudesta, kuten tieteellisistä lehdistä, artikkeleista tai julkaistuista kirjoista. Analyysi suoritettiin kerättyjen tietojen perusteella tämän opinnäytetyn tavoitteiden saavuttamiseksi.

Levät vaikuttavat lupaavilta vaihtoehtoiksi ja ympäristöystävällisemmiksi pakkausmateriaaleiksi. Niillä on runsas ja nopea kasvu sekä hyödyntämättömät resurssit. Nopea kasvu mahdollistaa ympärivuotisen sadonkorjuujakson, joka on yhdestä kymmeneen päivää. Suoritetut tutkimukset oikean levälajin, sen kasvatuksen ja prosessoinnin löytämiseksi näyttivät suuntaa. Suuntaa kuinka levästä saatiin kaupallisesti potentiaalinen vaihtoehto pakkausmateriaalin raaka-aineeksi. Levät ovat luonnollisesti kasvavia organismeja, joille ei ole ollut juurikaan teollista käytäntöä. Siksi olisikin tärkeää hyödyntää sen antamia mahdollisuuksia teknillisesti tuotannossa materiaalina.

Sopivan levälajin valitsemisessa on otettava huomioon eri levälajit, sillä eri lajit käyttäytyvät eri tavoin. Sopiva levälajin valinta on tärkeä kasvatuksen, ja teollisen sovelutuksen yhteensopivuuden kannalta. Merileivistä löytyy alginaatteja tai fykokolloideja niiden soluseinämistä. Ne tarjoavat joustavuutta ja mekaanista lujuutta. Alginaateista voidaan jalostaa esimerkiksi kartonkia ja paperia. Suurin sato saavutetaan kantakohteisella levätuotannolla. Levän kasvatusta rakennetuissa ympäristöissä on mahdollista hyvin erilaisissa viljelyjärjestelmissä. Viljelyjärjestelmät vaihtelevat matalasta teknologiasta huipputeknologiaan. Prosessi liikkuu vaihe vaiheelta levälajikkeen valinnasta pakkausmateriaaliksi. Tarkoin kontrolloidussa tilassa toteutettu kasvatusta ja levän

muuntelu vei kasvatusvaihetta eteenpäin. Levälajike ja kasvatusmenetelmän yhteensopivuus kannattaa valita tarkasti mahdollisimman sopivaksi halutulle levälajikkeelle. Kasvatuksen yhteydessä levät pystyvät samanaikaisesti sitomaan hiilidioksidia ilmasta ja puhdistamaan jätevettä. Hiilidioksidi ja jätevesi toimivat kasvatuksen aikana ravinteena. Tätä ominaisuutta olisi hyvä hyödyntää ympäristöystävällisyyden kannalta.

Kun levämassa on kerätty talteen, voidaan se prosessoida halutuksi biopohjaiseksi pakkausmateriaaliksi. Näistä pakkausmateriaaleista lueteltuina mainittakoon biopolymeerit, joista voidaan valmistaa biomuovia. Biopolymeereillä on hyväksyttävä säilyvyysaika ja ne voidaan helposti steriloida ja ne ovat biohajoavia. Selluloosa on myös houkutteleva ehdokas teolliseen kaupallistamiseen. Nanoselluloosaa on sovellettu pakkausmateriaaliksi, jota voidaan käyttää joko kerroksina tai pinnoitteena. Myöskin kuitumassaa lisättiin merilevämatiiseihin tarkoituksena valmistaa kuitu-massa-leväkomposiittikalvoja. Hyvien mekaanisten ominaisuuksien ja hyväksyttävän hydrofiilisyyden ansiosta kuitu-massa-merileväkomposiittikalvoja voidaan käyttää pakkausmateriaalina.

Sadonkorjuu ja vedenpoisto ovat haasteellisia, sillä levillä on tyypillisesti olomuotonsa mukaan korkea vesipitoisuus. Tilannetta vaikeuttaa entisestään se, että yhtä oikeata menetelmää ei ole löydetty. Tämä johtaa siihen, että kustannustehokas sadonkorjuu ja vedenpoisto toteutus pitää soveltaa. Sadonkorjuu ja vedenpoisto vaihetta pidetään kustannuksiltaan suurimpana, sillä tuotannon monet laitteet keskittyvät tähän osuuteen.

Tämä tutkimus avaa mahdollisuuden jatkokeskusteluun toteutuksesta. Esimerkiksi myöhemmässä tutkimuksessa voidaan tutkia mahdollisuuksia kehittää prototyyppi. Aloitetaan levätyypin tuntemisesta, korjuu- ja viljelyprosessista aina tuotantoon asti pakkausten valmistamiseen, jotka on tutkittu ja tarkasteltu tässä tutkimuksessa. Tämän jälkeen prototyyppiä voidaan myös testata markkinoilla saadakseen vastauksen. Tämän tutkimuksen perusteella uskon, että yrittäjä voi käynnistää tämän idean luoda pakkausmateriaalia, joka on kestävämpi planeetallemme.

LÄHTEET

Abdul Khalil, H., Tye, Y., Chow, S., Saurabh, C., Paridah, M., Dungani, R., & Syakir, M. (2016). Cellulosic Pulp Fiber as Reinforcement Materials in Seaweed-Based Film. *BioResources*, 12(1), 29-42. (<https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/Bio-Res/article/view/10624>).

Adli, S. A., Ali, F., & Azmi, A. S. (2020). Preparation and Characterization of PLA/Algae Nanocomposite for Packaging Industry. *Journal of Advanced Research in Materials Science*, 50(1), 19-25. (<http://akademiabaru.com/submit/index.php/arms/article/view/1672>).

Demirbas, M. F. (2011). Biofuels from algae for sustainable development: Applied Energy, 88, 3473–3480.

Hubbe, M., Ferrer, A., Tyagi, P., Yin, Y., Salas, C., Pal, L., & Rojas, O. (2017). Nanocellulose in Thin Films, Coatings, and Plies for Packaging Applications: A Review. *BioResources*, 12(1), 2143-2233. (<https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/Bio-Res/article/view/11063>).

Mihranyan, A. (2011). Cellulose from cladophorales green algae: From environmental problem to high-tech composite materials. *Journal of applied polymer science*, 119(4), 2449-2460. (<https://doi.org/10.1002/app.32959>).

Min, Ho & Kamal, Shagufta & Rehman, Maryam & rehman, saima & nazli, zill & Yaqoob, Nazia & noreen, razia & Ikram, Saiqa. (2017). Algae Based Polymers Blends and Composites.

Pandey, A., Lee, D., Chang, J., Chisti, Y., & Soccol, C. R. (Eds.). (2018). Biomass, biofuels, biochemicals : Biofuels from algae. ProQuest Ebook Central. (<https://ebookcentral.proquest.com>).

Proksch, Gundula. (2013). Growing Sustainability - Integrating Algae Cultivation into the Built Environment. (https://www.researchgate.net/publication/337292607_Growing_Sustainability_-_Integrating_Algae_Cultivation_into_the_Built_Environment).

Silva, F., Dourado, F., Gama, M., & Poças, F. (2020). Nanocellulose Bio-Based Composites for Food Packaging. *Nanomaterials (Basel, Switzerland)*, 10(10), 2041. <https://doi.org/10.3390/nano10102041>.