



Camilla Lahtinen

Arviointi raaka-aineen sisällyttämisestä SUP-direktiiviin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

1.4.2024

Tiivistelmä

Tekijä: Camilla Lahtinen
Otsikko: Arviointi raaka-aineen sisällyttämisestä SUP-direktiiviin
Sivumäärä: 30 sivua + 1 liite
Aika: 1.4.2024

Tutkinto: Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma: Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine: Bio- ja elintarviketekniikka
Ohjaajat: Yliopettaja Riitta Lehtinen
Peter von Koskull, Business Development

Tämä työ tehtiin Aterin Finland Oy:lle, suomalaiselle yritykselle, joka valmistaa bio-pohjaisia kerta- sekä monikäyttöisiä aterimia. Euroopan unionin SUP-direktiivi astui kuitenkin voimaan vuonna 2021 ja se kieltää kertakäyttöisten muovituotteiden valmistuksen. Se sallii kertakäyttöisten tuotteiden raaka-aineiksi vain kemiallisesti modifioimattomia luonnonpolymeerejä ja siksi Aterin tarvitsee uusia ratkaisuja. Työn tavoitteena oli arvioida uuden merilevähä pohjaisen, muovia korvaavan raaka-aineen soveltuvuutta SUP-direktiiviin.

SUP-direktiivi pyrkii vähentämään muovijätettä ympäristössä, etenkin merissä, kieltämällä kertakäyttöisten muovituotteiden valmistuksen, lukuun ottamatta lääketieteellistä. Monet startup-yritykset ovat alkaneet kehittää merilevästä uutta, muovia korvaavaa raaka-ainetta. SUP-direktiivi on kuitenkin tulkinnanvarainen eikä ole selvää, soveltuuko uusi raaka-aine siihen. Joitakin läpimurtoja on kuitenkin saavutettu, kuten merilevästä valmistettu elintarvikepakkausten pinnoite, joka on saanut muovittomuussertifikaatin.

Kertakäyttöaterimien valmistuksessa ruiskuvalutekniikka olisi nopea ja kustannustehokas tapa. Nykyiset merilevästä kehitetyt materiaalit ovat pääosin geelimäisessä muodossa, sillä ne ovat valmistettu uuttamalla. Geelimäinen rakenne sopisi hyvin myös ruiskuvalutekniikkaan.

Työssä peilattiin uuden raaka-aineen soveltuvuutta SUP-direktiiviin. Direktiivin mukaan uuden raaka-aineen kemiallisen rakenteen pitäisi vastata tuotteen alkuperäistä rakennetta, mikä vaikeuttaa raaka-aineen valmistusta, koska uuttamisprosessissa kemiallinen rakenne voi muuttua. Uutettuja yhdisteitä käytetään kuitenkin turvallisesti elintarviketeollisuudessa, mikä viittaa siihen, että ne olisivat turvallisia myös ympäristölle.

Uusi merileväraaka-aine soveltuisi SUP-direktiiviin, jos uuttamisprosessin jälkeen aineen kemiallinen rakenne palautuisi alkuperäiseksi. Haasteita tuottavat valmiin tuotteen hinta ja kestävyys.

Avainsanat: merilevä, SUP-direktiivi, kertakäyttöaterimet

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author: Camilla Lahtinen
Title: Evaluation of the potential inclusion of a new raw material in the SUP-directive
Number of Pages: 30 pages + 1 appendix
Date: 1 April 2024

Degree: Bachelor of Engineering
Degree Programme: Bio- and chemical engineering
Professional Major: Bio- and foodstuff engineering
Supervisors: Riitta Lehtinen, Senior Teacher
Peter von Koskull, Business Development

This study was conducted for Aterin Finland Oy, a Finnish company specializing in the production of bio-based disposable and reusable cutlery. However, with the enforcement of the European Union's Single-Use Plastics (SUP) Directive in 2021, the manufacturing of disposable plastic products was prohibited. The directive permits only chemically unmodified natural polymers as raw materials for disposable products, necessitating Aterin to explore new solutions. The aim of this study was to assess the suitability of a new seaweed-based, plastic-replacing raw material for compliance with the SUP Directive.

The SUP Directive aims to reduce plastic waste, particularly in marine environments, by prohibiting the manufacture of disposable plastic products, except for those in the pharmaceutical industry. Many startup companies have begun to develop new seaweed-based alternatives to plastic. However, the interpretation of the SUP Directive is ambiguous and it's unclear whether the new raw material is compliant. Nevertheless, some breakthroughs have been achieved, such as a seaweed-derived coating for food packaging, which has received plastic-free certification.

Injection molding would be a fast and cost-effective method for manufacturing disposable cutlery. Current seaweed-derived materials are predominantly in gel form, as they are produced through extraction. The gel-like structure would also be suitable for injection molding.

This study evaluated the suitability of the new raw material for compliance with the SUP Directive. According to the directive, the chemical structure of the new raw material should match that of the original product, which complicates the manufacturing process as the chemical structure can change during extraction. However, the extracted compounds are safely used in the food industry, indicating that they could be environmentally safe as well.

The new seaweed-based raw material would comply with the SUP Directive if the chemical structure were restored to its original state after extraction. Challenges include the cost and durability of the final product.

Keywords: seaweed, SUP Directive, disposable cutlery

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	SUP-direktiivi	2
2.1	Lainsäädäntö	2
2.2	SUP-tuotteet	3
2.3	Määritelmät	4
2.3.1	Polymeeri	5
2.3.2	Luonnonpolymeeri	6
2.4	SUP-tuotteiden merkintävaatimukset	8
3	Kertakäyttöaterimien valmistus	10
3.1	Materiaalit	10
3.2	Valmistustavat	11
3.2.1	Puisten kertakäyttöaterimien tuotantolinja	11
3.2.2	Ruiskuvalaminen	13
4	Materiaalit ja menetelmät	15
4.1	Merilevän hyödyt	15
4.2	Merilevästä aterin	17
4.2.1	Mahdolliset valmistustavat	17
4.2.2	Raaka-aineen peilaus SUP-direktiiviin	19
5	Tulokset	20
6	Johtopäätökset	23
	Lähteet	25

Liitteet

Liite 1: Kestävämmät uuttomenetelmät merileville

Lyhenteet

- bio-PE: *Biopohjainen polyeteeni*. Polyeteeni, joka on valmistettu kokonaan tai osittain biopohjaisista raaka-aineista.
- bio-PET: *Biopohjainen polyeteenitereftalaatti*. Polyeteenitereftalaatti, joka on valmistettu kokonaan tai osittain biopohjaisista raaka-aineista.
- CNC: *Computer numerical control*. Tietokoneohjattu numeerinen ohjaus.
- FCS: *Forest Stewardship Council*. Sertifikaatti varmistaa metsien hoidon ympäristön, sosiaalisten näkökulmien ja taloudellisen kannattavuuden kannalta.
- ISCC Plus: *International Sustainability and Carbon Certification*. Sertifiointi varmistaa tuotteen kestävän valmistustavan sekä hiilijalanjäljen seurannan.
- PA: *Polyamidi*. Jäykkä, mutta sitkeä fossiilinen muovi.
- PBAT: *Polybutyleeni-adipaatti-tereftalaatti*. Biohajoava, fossiilisista raaka-aineista valmistettu muovi.
- PCL: *Polykaprolaktoni*. Biohajoava, fossiilisista raaka-aineista valmistettu muovi.
- PEFC: *Programme for the Endorsement of Forest Certification*. Sertifiointi takaa metsien hallitsemisen kestäväällä tavalla.
- PHA: *Polyhydroksialkanoaatti*. Biopohjainen, nopeasti biohajoava polyesteri.
- PLA: *Polylaktidi*. Biopohjainen ja biohajoava muovi.

- PP: *Polypropeeni*. Fossiilinen muovi, joka ei ole biohajoava. Käytetään raaka-aineena mm. kuiduissa, putkissa ja kalvoissa.
- SUP: *Single use plastics*. Kertakäyttöiset muovituotteet.
- SUPD: *Single use plastics directive*. Kertakäyttömuovidirektiivi.
- OXO: *OXO-hajoava muovi*. Öljypohjaisista polymeereistä valmistettavat muovit, jotka hajoavat lisäaineiden avulla.

1 Johdanto

Tämä insinööriyö tehtiin yhteistyössä Aterin Finland Oy:n kanssa. Aterin Finland Oy on yritys, joka valmistaa biopohjaisia kerta- sekä monikäyttöisiä aterimia. Aterinin raaka-aineina ovat olleet sertifioitu puu ja selluloosakuidut sekä sertifioidut polypropeenipolymeerit, jotka on valmistettu uusiutuvista raaka-aineista. Uudelleenkäytettävä Aterin 4R -ruokailuväline on ISCC Plus-, FCS- ja PEFC-sertifioitu. [1.] Euroopan unioni on kuitenkin laatinut SUP-direktiivin, joka tuli voimaan 3. heinäkuuta 2021 [2]. Se kieltää kertakäyttötuotteiden valmistamisen, jos niissä esiintyy minkäänlaisia muoviraaka-aineita tai kemiallisesti muunneltuja luonnonpolymeerejä [3]. Siksi Aterinin on keksittävä uusia ratkaisuja ja säilyttääkseen ruokailuvälinetuotantonsa.

SUP-direktiivin päätavoitteena on vähentää muovijätteen määrää ympäristössä, varsinkin merissä. On todennäköisempää, että kertakäyttömuovituotteet päätyvät meriin kuin kierrätettäviksi, ja kertakäyttömuovijäte muodostaakin yhdessä kalastusvälineiden kanssa 80–85 % kaikesta meriroskasta EU:ssa: 50 % tästä on kertakäyttömuovia ja loput kalastustuotteita. [3.]

Direktiivissä muovilla tarkoitetaan materiaalia, ”joka koostuu Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1907/2006 (3) 3 artiklan 5 alakohdassa määritellystä polymeeristä, johon on saatettu lisätä lisäaineita tai muita aineita ja joka soveltuu lopputuotteiden pää rakenneosaksi, lukuun ottamatta luonnonpolymeerejä, joita ei ole kemiallisesti muunneltu”. [4.] Tämä aiheuttaa haasteita valmistaa kertakäyttöaterimia, sillä tutkimusten mukaan maailmanlaajuisesti vain 30 % kuluttajista on valmiita tinkimään tuotteiden kätevydestä sekä mukavuudesta vähentääkseen muovin käyttöä. [5.] Elintarvikeala tarvitsee kuitenkin uusia SUP-direktiivin mukaisia ratkaisuja. Maailma ja meret ovat hukku-massa muoviin, ja se tulee vaikuttamaan ympäristömme biodiversiteettiin. Vaikka kiertotalouteen siirtyminen on alkanut, se on hidasta. Ongelmana ovat varmasti myös kuluttajat: vaikka tietoisuus ongelmasta on lisääntynyt huomasti, kaikki eivät välitä. Siksi yritysten on innovoitava markkinoillemme uusia kestä-

vämpiä sekä helppokäyttöisiä tuotteita ja tarkasteltava tarkemmin tuotteiden elinkaarta ja niiden vaikutusta ympäristöön.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voisiko uudesta merilevähajaisesta raaka-aineesta kehittää SUP-direktiiviin soveltuva kertakäyttötuote ja tässä tapauksessa erityisesti kertakäyttöaterin. Merilevähajaisissa, muovia korvaavissa raaka-aineissa on potentiaalia ja monet startup-yritykset ovat päässeet jo pitkälle kehitystyössään. Raaka-aineen kehittämisessä täytyy ottaa kuitenkin huomioon SUP-direktiivin tiukat säädökset ja tulkinnanvaraisuus.

2 SUP-direktiivi

SUP-direktiivin lainsäädäntö pohjautuu EU-direktiiviin (2019/904/EU), jonka tavoitteena on vähentää sekä ehkäistä muoviroskan määrää ympäristössämme ja etenkin merissä. SUPD:ta käsiteltiin ensimmäistä kertaa tiedonannossa ”Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy”, jossa Euroopan komissio päätti muovituotteiden siirtymisstrategiasta kiertotalouteen. Se vahvistettiin tiedonannossa ”A European Strategy for Plastics in a Circular Economy” 16. tammikuuta 2018, hyväksyttiin 5. kesäkuuta 2019 ja lopulta direktiivi astui voimaan 3. heinäkuuta 2021. [3.]

2.1 Lainsäädäntö







SUP-direktiivin tavoite on hyvin selkeä: muovituotteiden ympäristövaikutusten vähentäminen. Muovin tuotannosta syntyy vuosittain 13,4 tonnia hiilidioksidia, ja jätteen määrä on vain pieni osa muovin aiheuttamista haitoista. Muovituotanto edellyttää yleensä fossiilisten polttoaineiden käyttöä, ja 99 % muoveista valmistetaan joko öljystä tai bensiinistä. [6.] Muovien valmistus ja tuotanto ovat energiavaltaisia prosesseja ja näin ollen merkittävimpiä kasvihuonekaasupäästöjen lähteitä tarkasteltaessa muovien elinkaarta [7]. Muovi aiheuttaa myös terveyshaittoja ihmisille sekä eläimille, sillä esimerkiksi oxo-hajoavat muovit jättävät jälkeensä mikromuovihiukkasia. Hiukkasia on löydetty vesistöistä, maaperästä ja jopa ilmasta. Oxo-hajoavien muovien haasteena on myös hajoamista

kiihdyttävät lisäaineet, ja siksi ne eivät sovi tavallisten muovien kierrätysmenetelmiin. [8.] SUPD ei kuitenkaan puutu suoranaisesti mikromuoveihin, ja siksi on keksittävä kattavampia ratkaisuja tähän ongelmaan [3].

SUPD:ssa painotetaan edelleen myös jätehuollon merkitystä, sillä se on yksi keino estää muovijätteen ja -roskien päätymistä meriin. EU:n strategian mukaan konkreettisin tavoite on varmistaa, ”että vuoteen 2030 mennessä kaikki unionin markkinoille saatettavat muovipakkaukset ovat uudelleenkäytettäviä tai helposti kierrätettäviä.” Tavoitteena on saavuttaa 90 % kierrätysaste kertakäyttöisille muovipulloille vuoteen 2029 mennessä, ja asetettu välitavoite on 77 % vuodelle 2025. Vuoteen 2025 mennessä PET-muovipullojen pitää sisältää 25 % kierrätettyä muovia ja kaikkien pullojen 30 % vuoteen 2030 mennessä. Tavoite, jonka osa kuluttajistakin ovat jo huomanneet, on muovikorkkien ja -kansien kiinni pysyminen juomapakkauksissa koko käytön ajan. [3.] Vaikka tavoitteet ovat hyvin kunnianhimoisia ja varmasti erittäin vaikeita toteuttaa, on EU silti muovilainsäädännössä edelläkävijä.

2.2 SUP-tuotteet

Direktiivi koskee kaikkia sen liitteessä mainittuja kertakäyttöisiä muovituotteita, kaikkia oxo-hajoavasta muovista valmistettuja tuotteita sekä kalastusvälineitä, jotka sisältävät muovia. Kertakäyttöisiä muovituotteita ovat

-  elintarvikepakkaukset
-  annospakkaukset ja kääreet
-  juomamukit sekä niiden korkit ja kannet
-  juomapakkaukset (tilavuudeltaan enintään kolme litraa) sekä niiden korkit ja kannet
-  juomapullot (tilavuudeltaan enintään kolme litraa) sekä niiden korkit ja kannet
-  juomien sekoitustikut

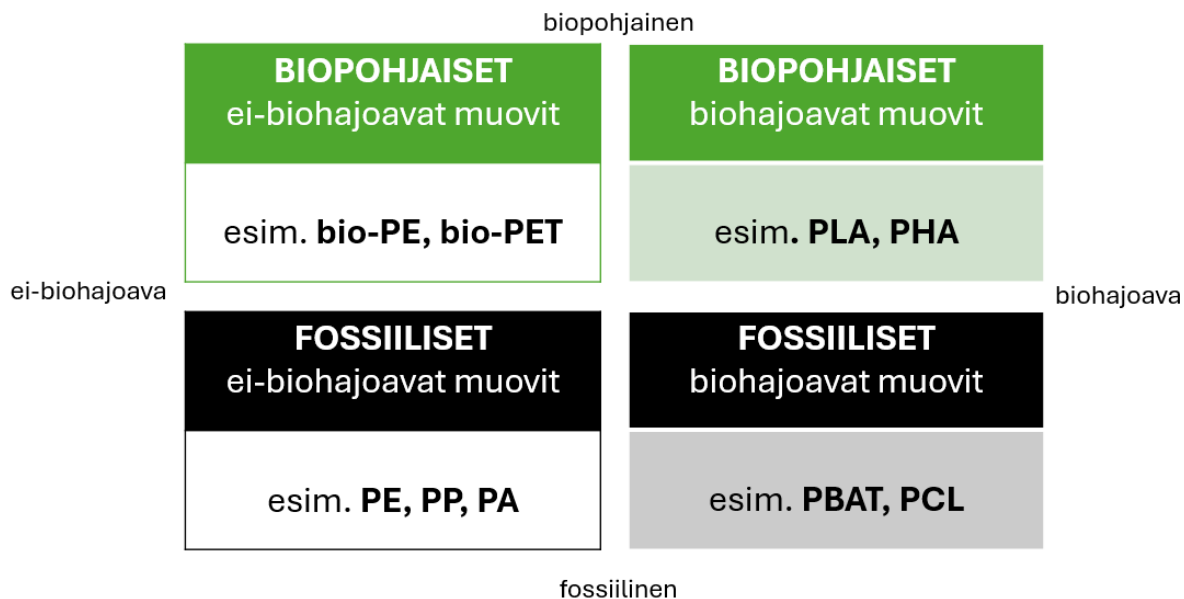
- ✚ pillit (ei lääkelaitteisiin kuuluvat)
- ✚ lautaset
- ✚ ruokailuvälineet (haarukat, veitset, lusikat, syömäpuikot)
- ✚ vanupuikot (ei lääkelaitteisiin kuuluvat)
- ✚ kosteuspyyhkeet
- ✚ ilmapallot ja niiden varret
- ✚ kevyet muoviset kantokassit. [4.]

Tiedotteen 5 artiklan mukaan nykyisten kertakäyttöisten ruokailuvälineiden saataminen markkinoille on kiellettyä EU:n jäsenvaltioissa [3].

2.3 Määritelmät

SUP-direktiivin mukaan muovi määritellään lisäaineita tai muita aineita sisältäväksi polymeeriksi, ”joka soveltuu lopputuotteiden päärakennesaksiksi”. Luonnonpolymeerit, joita ei ole kemiallisesti muutettu, eivät kuulu tähän määritelmään. [4.]

Muovit voidaan myös erikseen jaotella fossiilisiin, biopohjaisiin, biohajoaviin sekä ei-biohajoaviin. Muovi voi olla biopohjainen, vaikka se ei ole biohajoava ja se voi olla fossiilinen, mutta biohajoava (kuva 1). Biohajoavuudella tarkoitetaan muovin hajoamista hiilidioksidiksi tai metaaniksi, vedeksi ja biomassaksi mikrobien avulla. Biopohjainen muovi on taas kokonaan tai osittain eloperäisistä ja uusiutuvista raaka-aineista valmistettu muovi. [9.]



Kuva 1. Muovien luokittelu biohajoavuuden sekä biopohjaisuuden perusteella [9].

Vaikka muovi olisi kuinka biohajoava ja biopohjainen, silti mikään kuvassa 1 esiintyvistä muoveista ei sovellu SUP-direktiiviin, koska mikään niistä ei ole kemiallisesti modifioimaton luonnonpolymeeri. [9.]

2.3.1 Polymeeri

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksessa (EY) N:o 1907/2006 artiklan 3 kohdassa 5 polymeeri määritellään aineeksi, joka muodostuu sellaisista molekyyleistä, joissa on samoja tai useamman tyyppisiä monomeeriyksiköitä peräkkäin. Molekyylit jaetaan moolimassansa suhteen eri luokkiin, ja erot johtuvat pääosin monomeeriyksiköiden määrästä. Suurin osa polymeereistä muodostuu molekyyleistä, joilla on vähintään kolme monomeeriyksikköä ja jotka muodostavat polymeeristä suuremman massaosan. Näiden monomeeriyksiköiden on oltava sitoutuneita kovalenttisesti vähintään yhteen toiseen monomeeriyksikköön tai muihin lähtöaineisiin. Polymeerin massasta pienempi osa on myös koostuttava keskenään samanpainoisista molekyyleistä. [10.]

Monomeeriyksikkö on polymeerissä esiintyvä monomeerin reagoanut muoto. Monomeerillä taas tarkoitetaan ainetta, joka muodostaa kovalenttisten sidosten avulla samanlaisista tai erilaisista molekyyleistä jaksoja. Tässä prosessissa polymeerin muodostumiselle on oltava suotuisat olosuhteet. [10.]

2.3.2 Luonnonpolymeeri

SUPD ei koske luonnonpolymeerejä, koska ne ovat luontaisesti ympäristösämme esiintyviä aineita. Direktiivi lisää vaatimukseen vielä, että luonnonpolymeerit eivät saa olla kemiallisesti modifioituja ja niiden pitää täyttää artiklan 3 kohdan 1 määritelmä. Esimerkiksi biopohjaiset ja biohajoavat muovit on direktiivin mukaan kiellettävä, sillä niille on tehty kemiallisia käsittelyjä eivätkä ne luonnostaan esiinny ympäristössä. [4.]

Artiklan 3 kohta 1 määrittelee ”aineen” alkuaineeksi ja sen yhdisteiksi. Niiden pitää esiintyä sellaisessa muodossa, kuin ne esiintyvät luonnossa tai tuotettuina jollain valmistusmenetelmällä. Määritelmään luetaan mukaan lisäaineet, jotka säilyttävät aineen pysyvyyden, mutta suljetaan pois liuottimet, jotka voidaan erottaa aineesta ilman, että se vaikuttaa aineen pysyvyyteen tai koostumukseen. [10.] Direktiivi määrittelee luonnossa esiintyvän aineen *luonnonaineeksi*, jos se esiintyy ”sellaisenaan, käsittelemättömänä tai käsiteltynä ainoastaan mekaanisin, mekaanisin tai painovoimaan perustuvien menetelmin.” Tällaisia menetelmiä ovat esimerkiksi veteen liotus, vaahdotus, höyrytisläus, erotus veden avulla, lämmitys veden poistamiseksi ja ilmasta erottaminen millä tahansa menetelmällä. [4.] Luonnonpolymeerejä ja luonnossa esiintyviä aineita ei pidä kuitenkaan sekoittaa keskenään ja niiden suurin ero liittyykin sallittuihin erotusmenetelmiin. Luonnonpolymeerit koostuvat laajemmasta ryhmästä ja ne ovat riippumattomia siitä, miten ne luonnosta erotetaan. Esimerkiksi puu- ja maissitärkelyksestä märkäjauhatuksen avulla erotetut selluloosa ja ligniini täyttävät luonnonpolymeerin määritelmän. Toinen merkittävä ero liittyy polymerisaatioprosessiin: onko se tapahtunut luonnossa vai onko se toteutettu eläviä organismeja käyttämällä teollisessa prosessissa. Teollisesti tuotettuja polymeerejä ei pidetä luonnonpolymeereinä, vaikka ne olisivat syntyneet ”biosynteesistä teollisuus-

ympäristöjen ihmislähtöisissä viljely- ja käymisprosesseissa.” Polymerisaation pitäisi tapahtua luonnossa ja siinäkin tapauksessa, että luonnossa esiintyvää polymeeriä tuotettaisiin teollisesti, sitä ei voida pitää luonnonpolymeerinä. [4.]

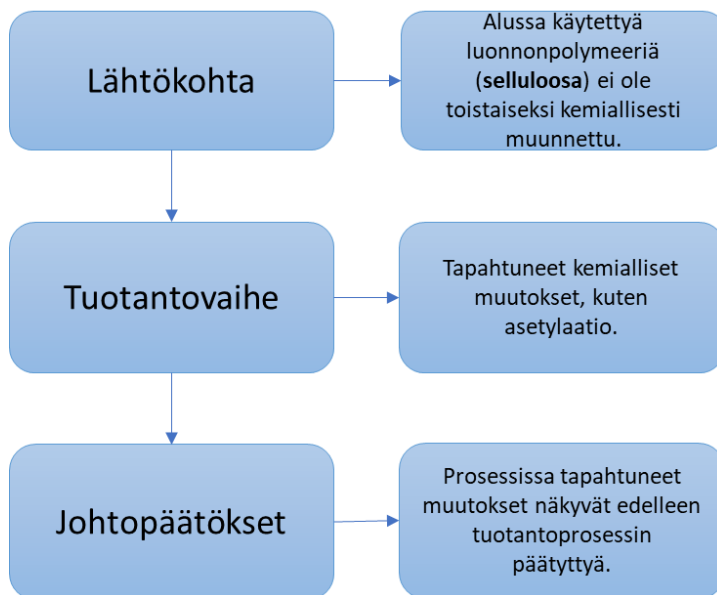
Ei ole kemiallisesti muutettu -kohta direktiivissä määritellään siten, että aineen kemiallisen rakenteen on pysyttävä muuttumattomana, vaikka se kävisi läpi jonkin kemiallisen prosessin tai käsittelyn, esimerkiksi fysikaalis-mineralogisen muuntoprosessin epäpuhtauksien poistamiseksi. Kun pohditaan, onko polymeeri muuntunut kemiallisesti sen tuotannossa, huomioon otetaan ainoastaan prosessissa käytetyn polymeerin ja tuloksena syntyneen polymeerin välinen ero. Tuotantoprosessissa mahdollisesti tapahtuneilla muunnoksilla ei saisi olla vaikutusta polymeerin ominaisuuksiin tai käyttäytymiseen tai polymeerin mahdolliseen ympäristöön vapautumiseen. [4.]

Jos otetaan esimerkiksi regeneroitu selluloosa viskoosin muodossa (kuva 2), tuotantoprosessin alussa sekä lopussa olevien luonnonpolymeerien välillä ei ole mitään eroa, sillä regeneraatio ei muunna polymeerejä kemiallisesti. Regeneraatiolla tehostetaan jonkin aineen ominaisuuksia. [4.]



Kuva 2. Selluloosan ei-kemiallista muuntumista kuvaava tuotantoprosessi [4].

Jos esimerkiksi otetaan selluloosa-asetaatti, tuotantoprosessin alussa käytetyn luonnonpolymeerin, eli selluloosan, ja lopussa tuotetun luonnonpolymeerin eli selluloosa-asetaatin välissä on eroja (kuva 3). Tuotantovaiheessa tapahtunut asetylaatio, joka on selluloosaa kemiallisesti muuntava prosessi, on edelleen olemassa tuotantoprosessin päätyttyä. [4.] Asetylaatiossa asetaattiryhmä siirtyy entsyymien avulla peptidiketjussa määrättyyn paikkaan [11].



Kuva 3. Selluloosan kemiallista muuntumista kuvaava tuotantoprosessi [4].

Jos luonnonpolymeerin rakenteeseen tehdään kemiallisia muutoksia vain sen erottamisprosessin aikana, kuten esimerkiksi puun kuitujen erottaminen selluloosasta ja ligniinistä, sitä ei pidetä kemiallisena muunnoksena direktiivin 3 artiklan kohdan 1 ja johdanto-osan kappaleen 11 mukaan. Puun kuitujen erotusprosessissa syntyvää paperimateriaalia ei pidetä kemiallisesti muunnettujen luonnonpolymeerien lopputuotteena. Asetylaatiossa taas tapahtuu aineen kemiallisen rakenteen muutoksia. [4.]

2.4 SUP-tuotteiden merkintävaatimukset

SUP-direktiivin 7. artikla määrää tietyille tuotteille kuvassa 4 esitetyt merkintävaatimukset, jos ne sisältävät muovia. Tällaisia tuotteita ovat kuukautissuojat,

tamponit, kosteuspyyhkeet, tupakkatuotteet ja juomamukit. EU:n komission täytäntöönpanoasetuksessa 2020/2151 määritellään säännöt näiden tuotteiden merkintämääräyksille ja jokaisen jäsenvaltion on itse varmistettava sääntöjen noudattaminen. [2.]



Kuva 4. Muovituotteiden merkintävaatimuksia [2].

Merkintävaatimukset koskevat vain muovia sisältäviä tuotteita. Jos tuote on tehty selluloosasta, mutta siinä on polylaktidi- tai polyhydroksialkanonaattipäälyste, on siihen laitettava muovituotteen merkintä, vaikka polylaktidi (PLA) ja polyhydroksialkanonaatti (PHA) ovatkin biopohjaisia sekä biohajoavia muoveja. Jos tuote on valmistettu pelkästä viskoosista tai lyocellista, ei se tarvitse merkintää, koska viskoosi ja lyocell katsotaan kemiallisesti muuntamattomiksi luonnonpolymeereiksi. PLA ja PHA taas ovat kemiallisesti muunnettuja luonnonpolymeerejä ja siksi ne direktiivin mukaan määritellään muoveiksi. [2.]

Merkinnöillä on myös eroja. Esimerkiksi muovimukien merkitsemisessä pitää painaa värillinen merkintä, jos tuote on vain osittain muovia. Jos tuote on kokonaan muovia, siihen joko painetaan, kaiverretaan tai kohokuvioidaan oikea merkintä, kuten kuvassa 5. [12.]



Kuva 5. Juomamukien esimerkkimerkintöjä [12].

Merkintävaatimukset myös lisäävät tietoisuutta jätehuollosta ja muoviin sekä roskaamiseen liittyvistä haittavaikutuksista. Silti merkintävaatimukset ovat herättäneet myös kielteisiä reaktioita, muun muassa pakkausteollisuudessa. Erityisesti mukien merkitsemistä on vastustettu ja perusteena on ollut niiden vähäinen määrä rannalta löytyvistä roskista. Merkit eivät kuitenkaan aina anna tietoa tai suosituksia muovituotteiden hävittämisestä tai kierrätysvaihtoehdoista. [2.]

3 Kertakäyttöaterimien valmistus

Suomen markkinoilla näyttäisi olevan kahdenlaisia kertakäyttöaterimia: puukuidusta valmistettuja sekä täysin puisia aterimia (kuva 6). Kertakäyttöaterimet ovat hyvin kilpailukykyisiä, sillä puukuituaterimelle jää keskimäärin hinnaksi 0,08 €/kpl ja täysin puisille aterimille 0,07 €/kpl. [13.]



Kuva 6. Vasemmalla puiset kertakäyttöaterimet ja oikealla puukuidusta valmistetut aterimet [1].

3.1 Materiaalit

Nimensä mukaisesti täysin puisissa kertakäyttöaterimissä käytetään materiaalina puuta, esimerkiksi koivua [14]. Puukuidusta valmistetut aterimet ovat yleensä

joidenkin aineiden seoksia. Esimerkiksi Aterin valmistaa omat puukuituaterimensa sertifioituista biokomposiittimateriaaleista, kuten sellusta sekä PP-polymeereistä. [1.] SUP-direktiivi kuitenkin kieltää edellä mainittujen raaka-aineiden käytön kertakäyttöaterimien valmistuksessa, sillä niitä voi valmistaa uuden lainsäädännön mukaan vain luonnonpolymeereistä, joita ei ole kemiallisesti muunneltu [4]. Täysin puisten kertakäyttöaterimien valmistusta direktiivi ei kiellä, mutta on eri asia, ovatko ne ominaisuuksiltaan hyviä käyttötarkoitukseensa nähden.

3.2 Valmistustavat

Kertakäyttöisiä aterimia on kahta tyyppiä, ja niille on olemassa erilaisia valmistustapoja. Puukertakäyttöaterimia valmistetaan tuotantolinjalla, jossa on monta vaihetta ja joka vaatii monta erilaista laitetta [15]. Puukuituaterimet ovat yleensä osaksi muovia, joten niiden valmistukseen käytetään muovituotteiden tyypillisintä valmistustapaa, ruiskuvalamista [16]. Jos verrataan puuaterimien ja puukuituaterimien valmistustapoja keskenään, on helppo päätellä, että puukuituaterimia on helpompi valmistaa ruiskuvalamisen avulla. Kehitettäessä uusia SUP-direktiivin mukaisia materiaaleja kertakäyttöaterimia varten, kannattaa ottaa huomioon myös sen soveltuvuus erilaisiin valmistustapoihin. Ruiskuvalaminen on paljon nopeampi ja kustannustehokkaampi valmistustapa verrattuna leikkaavaan työstöön [16].

3.2.1 Puisten kertakäyttöaterimien tuotantolinja

Kaikille kertakäyttöaterimille, kuten lusikoille, haarukoille ja veitsille, on omat tuotantolinjat sekä muotinleikkauskoneet. Tähän voidaan ottaa esimerkiksi puisten kertakäyttöhaarukan valmistuksen. [15.]

Haarukan valmistuksen tuotantolinja sisältää kokonaisuudessaan puulevyn roottorileikkauskoneen, haarukoiden muotinleikkauskoneen, haarukoiden hammasten valmistuskoneen sekä haarukoiden muodon lämpömuotoilukoneen. [15.]



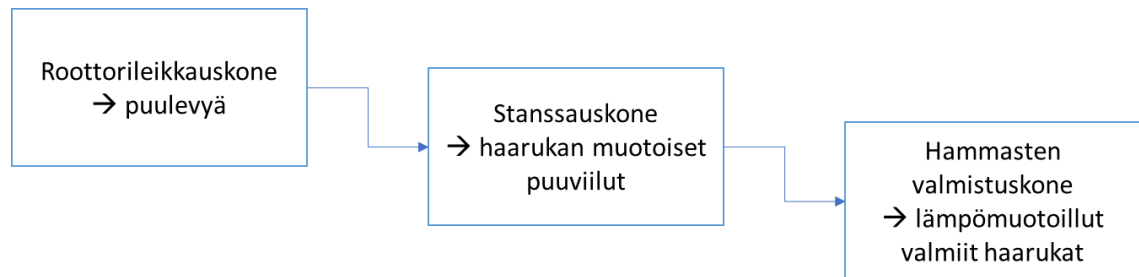
Kuva 7. Puulevyä, jota saadaan roottorileikkauskoneesta [15].

Roottorileikkauskoneena voidaan käyttää esimerkiksi kaksiosaista pyörösa-
hauskonetta, jonka avulla pystytään käsittelemään halkaisijaltaan pyöreää
puumateriaalia. Koneessa on helpposäätöinen tietokoneohjausjärjestelmä, ma-
tala melutaso sekä hyvä tehokkuus. Roottorileikkauskoneesta saadaan ulos
kuvassa kuusi esiintyvää ohutta puulevyä, jonka taas stanssaus kone leikkaa
haarukoiden muotoon. Muodon leveyttä ja paksuutta pystyy säätämään erilaisil-
la muoteilla, kuten kuvassa 8. Stanssaus koneesta tulleet haarukat pitää käsitel-
lä tietyssä lämpötilassa välittömästi. [15.]



Kuva 8. Leikkausmuotti, joka määrittelee kertakäyttöaterimen lopullisen muodon [15].

Haarukoiden hampaiden leikkaamiseksi on oma kone, johon työntekijä asettelee raakahaarukat. Sen jälkeen kone puristaa puumateriaalit kahden levyn väliin ja käynnistyksen jälkeen kone valmistaa hampaat automaattisesti. Koneessa on lämpömuotoiluominaisuus, joka toimii pneumaattis-hydraulisen järjestelmän avulla eli paineilmalla. [15.]



Kuva 9. Puuhaarukan tuotantolinjan vaiheet [15].

Puisten kertakäyttöaterimien valmistuksessa on melko monta vaihetta, eikä tuotantolinja ole automatisoitu. Se tarvitsee toimiakseen useampia työntekijöitä ja vaikka koneet ovat suhteellisen tehokkaita ja ne pystyvät valmistamaan monta aterinta kerralla, aterimien valmistus on tällä tavalla hitaampaa ja kalliimpaa, kuin esimerkiksi ruiskuvalamisen avulla.

3.2.2 Ruiskuvalaminen

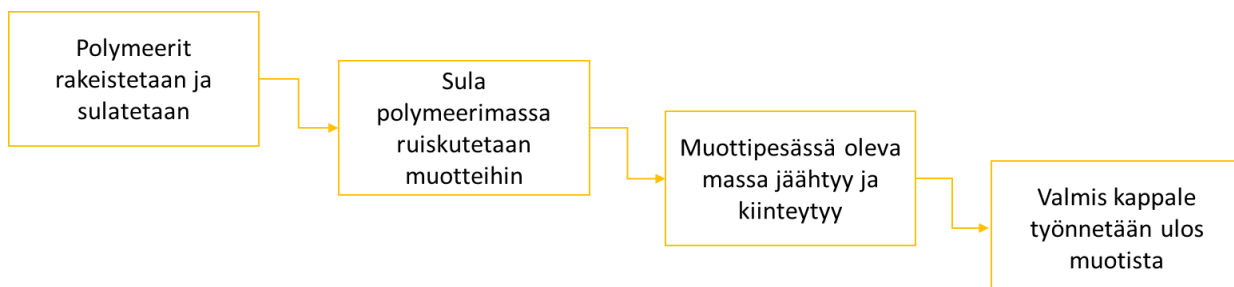
Puu- tai muista kuiduista valmistetut aterimet tehdään yleensä ruiskuvalamalla, sillä se on nopea ja tehokas tapa tuottaa samaan aikaan monta tuotetta, jotka vaativat erityistä ulkopinnan viimeistelyä. [17.] Ruiskuvalamisen monipuolisuus mahdollistaa monta hyvää ominaisuutta massatuotantoon: ruiskuvalamisen avulla voi esimerkiksi tuottaa suuria määriä alhaisemmalla kappalehinnalla sekä tuottaa nopeammin kuin muilla prosesseilla, kuten CNC-työstöllä tai 3D-printtauksella. Kuvassa 10 on ruiskuvalukone kokonaisuudessaan ja siihen sopii käytettäväksi yli 25 000 eri materiaalia. [18.]



Kuva 10. Aterimen käyttämä ruiskuvalukone

Melkein kaikki ympärillämme olevat muovista tehdyt tuotteet ja osat ovat valmistettu ruiskuvalamisen avulla. Ruiskuvalamisen hyötyjä tuotteelle ovat

- ✚ automaattinen sykli
- ✚ kustannustehokkuus
- ✚ osista tulee vahvoja ja kestäviä
- ✚ erinomainen toistettavuus
- ✚ hävikin uudelleenkäyttö
- ✚ tuotteen sileä ja siisti lopputulos. [18.]



Kuva 11. Kertakäyttöaterimien tuotanto ruiskuvalutekniikan avulla [18].

Ruiskuvalamisen haitta on kustomoidut muotit, sillä niiden suunnittelu ja valmistaminen on kallista ja voi maksaa 4 600 €–92 000 €. Tämän vuoksi ruiskuvalaminen on taloudellisesti kannattavaa vain, jos tuotannossa valmistetaan yli 500 yksikköä. Ajallisesti ruiskuvalaminen on myös tehokkain, sillä koko prosessiin muottien suunnittelusta tuotteiden valmistumiseen menee noin kuudesta kymmeneen viikkoa. [18.]

4 Materiaalit ja menetelmät

SUP-direktiiviin peilattava materiaali oli tässä insinööriyössä merilevä. Tarkoituksena oli selvittää, voiko uudesta raaka-aineesta valmistettuja aterimia soveltaa direktiiviin ja mahdollisesti tuoda Euroopan markkinoille.

Merilevä ja sen viljely on herättänyt vahvaa kiinnostusta maailmanlaajuisesti ja merilevälle onkin kehittynyt uusia markkinoita sen seurauksena. Merilevän viljely on kasvanut vuosittain 6,2 % vuosina 2000–2018 ja sitä on jopa ehdotettu edistäjäksi YK:n kestävän kehityksen tavoitteissa. [19.]

4.1 Merilevän hyödyt

Merilevä kasvaa merissä, järvissä sekä joissa ympäri maailman. Suurin osa tuotantomerilevästä tulee Aasiasta, Kiinasta, Indonesiasta ja Intiasta, mutta merileväviljelyä harjoitetaan jokaisella mantereella, sillä merilevä ei tarvitse spesifejä olosuhteita kasvaakseen. Suosituimmat lajit kasvattamiseen ovat *Gracilaria*-, *Laminaria*-, *Euchema*- ja *Kappaphycus*-sukujen lajit. Niiden kaikkia osia voidaan käyttää monipuolisesti hyödyksi ja niiden kerääminen on vähän kuin antaisi merilevälle hiustenleikkuun – kasvia ei tarvitse tällöin tappaa ja se alkaa kasvaa leikkauskohdasta uudelleen. [20; 21.]

Huomattavin hyöty, mikä merilevien viljelemisessä on huomattu, on sen hiilidioksidin sitominen. Merilevä yhteyttää samalla tavalla kuin muutkin kasvit, mutta suuren kasvunopeuden ansiosta se tarvitsee hiilidioksidia paljon enemmän. Osa merilevien varastoimasta hiilidioksidista päättyy myös merien pohjien sedi-

mentteihin tehokkaasti sitoutuen ja siksi merilevällä voi olla merkittävä rooli ilmastomuutoksen hillitsemisessä. [22; 23.] Kaikkein nopeimmat levät voivat kasvaa yli 30 cm päivässä ja siksi merilevän käyttö esimerkiksi pakkausmateriaalina olisi kannattavampaa kuin puiden ja selluloosan. Se on myös luonnostaan erittäin joustavaa (kuva 12). [24.] *Eucheuma*- ja *Gracilaria*-lajit voivat kaksinkertaistaa biomassansa kuukaudessa [25].

Merilevä ylläpitää merten terveellistä ekosysteemiä taistelemalla happamoitumisesta vastaan, joka vaikeuttaa monien merieläimien sopeutumista. Merilevä myös imee itseensä ylimääräisiä ravinteita ja vapauttaa happea. Hajotessaan maaperään se voi edistää muiden kasvien kasvua ja parantaa niiden juurien kehitystä sekä suojata kasveja kuivuudelta ja maatalouden tuholaisilta. [22; 23; 26.]

Merilevän viljely ei tarvitse maata, makeaa vettä tai lannoitteita. Kolmasosa maailman maasta käytetään jo maatalouteen, toisin kuin avomeriä. Merilevää viljellään ympäristöystävällisin menetelmin eikä sen kasvattamiseen tarvita haitallisia kemikaaleja. Se myös kasvaa pystysuuntaan, joten sen viljely ei vie paljoa pinta-alaa, vaikka tutkimusten mukaan maailmassa olisi yli 61 miljoonaa neliökilometriä sopivaa merta sen viljelyyn. Merilevän viljely on myös täysin jätteenöntä, koska kaikki sen osat ovat hyödyllisiä. [26; 27; 22.]



Kuva 12 Merilevä on luonnostaan nopeasti kasvavaa sekä joustavaa [24].

Merilevätuotteiden tukeminen tukee myös naisten asemaa, sillä monissa maissa esimerkiksi Afrikassa ja Aasiassa merileväteollisuutta johtavat naiset. Tämä on nostanut heidän asemaansa yhteisöissään. Merileväteollisuuden tukeminen auttaa myös rannikkotalouksia ja luo uusia elinkeinoja. Viljelyn aloittaminen on edullista, eikä se vaadi erikoisia laitteita tai välineitä, saati sitten maata. [23; 28.]

On kuitenkin hyvä muistaa, että merilevän viljelemisen vaikutuksia ei ole ehditty tutkia vielä tarpeeksi ja ei esimerkiksi tiedetä, miten hiilen sitominen merien pohjaan pitkällä aikavälillä vaikuttaa meriekosysteemeihin. Merien ”metsittäminen” merileväviljelyllä voi myös ennen pitkää pimentää meriä ja muuttaa merivirtoja ja näiden vaikutuksilla voi olla kohtalokkaat seuraukset. On myös havaittu, että tietyt bakteerit ja taudit voivat levitä nopeasti merilevien kesken. [19; 29.]

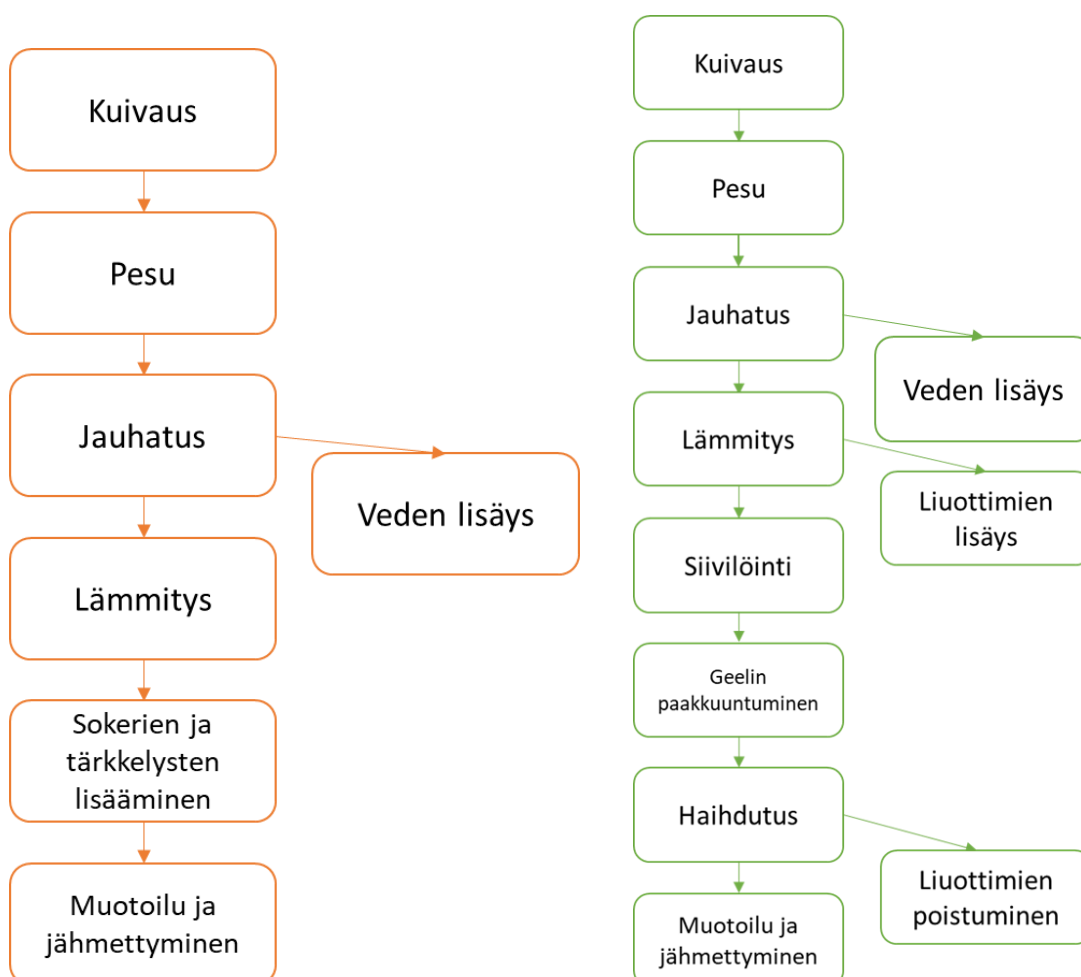
4.2 Merilevästä aterin

Monet startup-yritykset ovat alkaneet tutkia merilevää ja kehittämään siitä muovia korvaavaa materiaalia. Merilevässä on sen hyötyjen takia erittäin suuri potentiaali ja siitä on jo saatu tuotettua muun muassa muovia korvaavaa ”filmiä”. [21.] Vaikka merilevä itsessään on täysin luonnonpolymeeri, muovia korvaavien tuotteiden valmistusvaiheet voivat tehdä lopputuloksesta soveltumattoman SUP-direktiiviin. Vain yhden merilevästä tehdyn materiaalin on tunnustettu olevan täysin muoviton ja tämän materiaalin on kehittänyt vuonna 2023 brittiläinen startup-yritys Notpla Coating. Se on saanut kehittämälleen elintarvikepakkaus- tuotteelleen muovittomuussertifikaatin ensimmäisenä ja ainoana SUP-direktiivin voimaan astumisen jälkeen. [30.]

4.2.1 Mahdolliset valmistustavat

Jo olemassa olevien merilevätuotteiden valmistustavat ovat yleensä mekaanisia, kemiallisia tai biologisia uuttomenetelmiä. Uuttomenetelmä riippuu merilevälajista, liuotintyypeistä, ympäristövaikutuksista, kustannuksista, määrästä, ajasta sekä halutuista ominaisuuksista. [31.] Yksinkertaistettuna kuvan 13 mukaan merilevä kuivataan, jonka jälkeen se pestään ja jauhetaan hienoksi jau-

hoksi. Jauhe lisätään vesijohtoveteen ja lämmitetään, jolloin sen sisältämät tärkkelykset pääsevät luomaan vahvempia rakenteita. Tämän jälkeen seokseen voidaan lisätä liuottimia tai muita tärkkelyksiä ja sokereita, esimerkiksi kookoksesta ja vehnästä. Jos liuottimia on lisätty, ne tulee haihduttaa esimerkiksi pyöröhaihduttimella, jolloin geelistä tulee vapaammin virtaavaa. Lopuksi merilevässtä syntynyt geeli muotoillaan haluttuun tapaan ja tämän jälkeen sen annetaan jähmettyä. [21; 29.] Valmistustapoja on varmasti monia muitakin ja liuokset sekä lisäaineet vaihtelevat uuttamistavan mukaan, mutta on tärkeää tarkastella, miten merilevän kemiallinen rakenne muuttuu mainituissa valmistusmenetelmissä, sillä siihen SUPD kiinnittää erityisesti huomiota. Tämä geelimäinen raaka-ainemuoto luo kuitenkin enemmän mahdollisuuksia, jos mietitään esimerkiksi aterimien valmistusta, sillä se sopii ruiskuvalutekniikkaan hyvin.



Kuva 13. Merileväfilmien mahdolliset valmistustavat [21; 29].

Merilevässä on paljon hyviä rakennusaineita geelin kannalta, sillä ne sisältävät muun muassa agarina, algiineja sekä karrageeneja. Näiden lähteet riippuvat usein merilevän väristä. [31.] Levien bioaktiivisten yhdisteiden käytetään tavallisesti teollisuudenalasta riippumatta kiinteä-neste-uuttoa, jossa

1. merilevä upotetaan liuottimeen
2. liuotin liuottaa yhdisteet diffuutoitumalla merilevän soluihin
3. solujen sisällä olevat yhdisteet siirtyvät merilevää ympäröimään liuottimeen. [32.]

Eristämiseen käytetyt uutomenetelmät eroavat haluttujen ominaisuuksien mukaan ja liuottimina voidaan käyttää esimerkiksi etanolia, metanolia, suoloja, kuten kalsium- ja natriumkloridia sekä asetonia ja kloroformia. [32.]

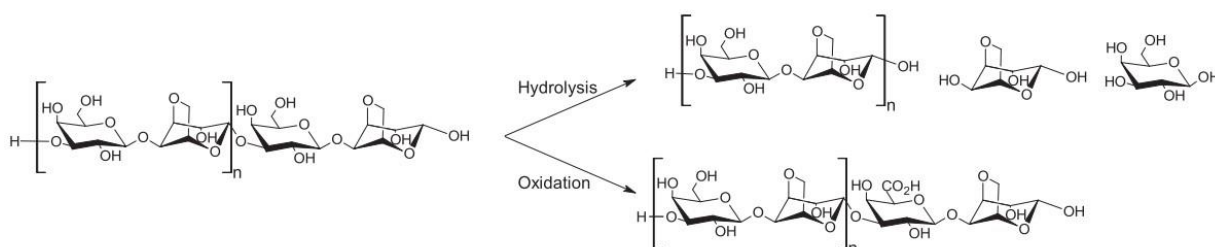
Merilevistä valmistetut filmit eivät kuitenkaan osoita suurta mekaanista lujuutta tai vedenpitävyyttä, jos niitä käytetään vain yksinään. Siksi niitä on yritetty sekoittaa ja yhdistää sekä keskenään että muiden materiaalien kanssa. Uutomenetelmillä voi olla myös negatiivinen vaikutus syntyvään geeliin, kuten agarkalvoon, jolla on emäskäsittelyn jälkeen huono viskositeetti, kimmoisuus sekä vedenläpäisevyys. Merileville kestävämpiä uutomenetelmiä on esitetty liitteessä 1. [31; 32.]

4.2.2 Raaka-aineen peilaus SUP-direktiiviin

SUP-direktiivi tarkastelee ja vertailee esimerkeissään raaka-aineen kemiallista rakennetta tuotantoprosessin alussa sekä lopussa. Jos merilevä käy läpi yllä mainittuja vaiheita, sen kemiallinen rakenne ei ole täysin sama tuotantoprosessin alussa ja sen lopussa. Pelkästään merilevästä saatavan agarin hyytelöitymisessä voi tapahtua depolymerisaatiota, hydrolyysiä sekä kondensaatiota, jotka muokkaavat sen kemiallista rakennetta. Näiden kemiallisten reaktioiden tapahtuminen voi johtua käytetystä uutomenetelmästä, geelin inkubaatioajasta ja/tai lämpötilasta. Esimerkiksi geelin muodostumista voi edistää pH:n aleneminen,

joka saadaan aikaan merilevästä saatavien polysakkaridien välisillä hapettumis- sekä hydrolyysireaktioilla. Nämä reaktiot muokkaavat polysakkaridien kemiallista rakennetta, kuten kuvasta 14 huomataan. [33; 34; 35.]

Algiini voi taas muodostaa geelimäisiä rakenteita ilman lämpötilan vaihteluita, mutta se tarvitsee kalsiumioneja, joita saadaan esimerkiksi uuttovaiheessa kalsiumkloridia lisäämällä. Kalsiumionit muodostavat ristosilloituksen algiinimolekyylien kanssa luoden kolmiulotteisen hilan, joka ei liukene veteen ja joka on lämpötilasta riippumatta stabiili. Tällöin algiini ei ole kemialliselta rakenteeltaan enää sama, kuin prosessin alussa, eli se on kemiallisesti modifioitunut. [36.]



Kuva 14. Agaroosimolekyylin hydrolyysin ja hapettumisen lopputuotteet [33].

Muovin etu on, ettei se ime itseensä vettä, kuten merilevästä saatu tärkkelys imee. Biopohjaisten ”muovikalvojen” vedenpitävyyttä on yritetty parantaa lisäämällä lisäaineita reaktiivisella ekstruusiolla. Lisäaineina voi toimia esimerkiksi metanoli sekä etanoli, jotka hapettavat ja ristosilloittavat tärkkelyspolymeerin, parantaen sen mekaanisia ominaisuuksia, mutta myös muokkaamalla sen kemiallista rakennetta. [37.] Merilevästä saatava karrageeni reagoi myös näin, kun sitä ristosilloitetaan alkoholeilla. Se toimii myös samalla tavalla kalsiumionien kanssa, kuten algiinimolekyylit, luoden entistä vahvempia rakenteita [38].

5 Tulokset

Yritykset eivät ole paljastaneet tarkkoja valmistusmenetelmiään merileväkalvon luomiselle, mutta voidaan olettaa, että niissä on pitkälti samoja vaiheita kuin kuvassa 13 eli kuivaus, pesu, jauhatus, veden lisääminen, lämmitys, eri ainei-

den lisäys, haihdutus, muotoilu ja jähmettyminen. Vaikka prosessiin ei lisättäisi mitään lisäaineita, merileväjauhe tarvitsee kaikissa tapauksissa vettä muodostaakseen jonkinlaisen kalvon ja jo tällöin sen kemiallinen rakenne muuttuu. Ja jotta merileväkalvo voisi koskaan olla kilpailukykyinen muovin ominaisuuksien kanssa, se tarvitsee lisäaineita vahvistamaan sitä. Varsinkin valmistettaessa merileväpohjaista kertakäyttöaterinta raaka-aineen tulee olla paljon kestävämpi ja lujempi, kuin merileväkalvoa valmistaessa.

SUP-direktiivi ottaa kuitenkin tarkasteluunsa esimerkkinä regeneroidun selluloosan, jonka se sanoo olevan kemiallisesti modifioimaton. Tiedämme kuitenkin, että selluloosaa saadaan uuttamalla kasveista, yleensä puusta. Argumenttina tähän SUPD käyttää regeneroitujen selluloosakuitujen, kuten ligniinin ja viskooisin kemiallisen molekyyliarakenteen vertaamista luonnonkuitujen, kuten puuvillan kemialliseen rakenteeseen. Niiden on todettu olevan identtiset, joten vaikka tuotantoprosessin aikana olisi tapahtunut joitakin kemiallisia muutoksia, lopputuotteen kemiallinen molekyyli rakenne on sama kuin alkutuotteen. Näin ollen valmistusprosessin aikana tapahtuvat kemialliset muutokset ovat sallittuja, kunhan on mahdollista palauttaa kemiallinen rakenne alkuperäiseen muotoon.

SUP-direktiivi hyväksyy aineen luonnonaineeksi, jos sitä on käsitelty ainoastaan manuaalisin, mekaanisin tai painovoimaisin menetelmin ja ottaa esimerkeiksi muun muassa veteen liotuksen, erotuksen veden avulla sekä lämmityksen veden poistamiseksi. Kaikkia näitä menetelmiä voitaisiin käyttää erottamaan bioaktiiviset yhdisteet merilevästä. SUP-direktiivissä aineen määritelmään luetaan mukaan lisäaineet, jotka säilyttävät aineen pysyvyyden, mutta suljetaan pois liuottimet. Sopivilla lisäaineilla voisi saada kestävämmän lopputuloksen, jota tarvittaisiin valmistaessa kertakäyttöaterimia, sillä tähän asti valmistettujen merileväfilmien lujuus ei vakuuta tutkijoita. Liuottimet, joita esimerkiksi uuttomenetelmissä joskus käytetään, voidaan erottaa aineesta ilman, että se vaikuttaa aineen pysyvyyteen tai koostumukseen. Tällöin liuottimien käyttökään ei vaikuta kemialliseen rakenteeseen, vaikka se hetkellisesti sitä muuttaisikin tuotantoprosessissa.

Koska kemiallisesti modifioimaton luonnonpolymeeri on se, mitä SUP-direktiivi hakee, nämä edellä mainitut määritelmät eivät valitettavasti vahvista merilevän soveltuvuutta kemiallisesti modifioimattomana luonnonpolymeerinä kertakäyttötuotteiden valmistukseen. Sen uuttamisprosessissa tapahtuu väkisinkin joitain kemiallisia reaktioita.

Notpla Coating on kuitenkin saanut kehittämälleen elintarvikepakkaustuotteelle muovittomuussertifikaatin SUP-direktiivin voimaan astumisen jälkeen. Setrifikaatin myönsi Alankomaiden ympäristöviranomaisen ILT ja Notplan tuote on vapautettu tulevista kielloista ja veroista, mitä tulee EU:n kertakäyttöisiin muovisiin elintarvikepakkauksiin. Notpla kertoo käyttävänsä merilevästä löytyviä luonnollisia ja kemiallisesti modifioimattomia uutteita, jotka hylkivät kosteutta ja rasvaa ja siksi soveltuvat hyvin elintarvikepakkauksiin. Tämä viittaisi siihen, että merilevän bioaktiivisten aineiden uutto voisi olla mahdollista SUP-direktiivin mukaisesti. Vaikka Notplan tapauksessa muovittomuussertifikaatin on myöntänyt Alankomaiden ympäristöviranomaisen ILT eikä EU, ILT kertoo kuitenkin olevansa tiukka direktiivin noudattamisessa. [30; 39.] Todennäköistä kuitenkin on, että Notpla ei ole onnistunut kehittämään uuttamistapaa, jolla pystyttäisiin palauttamaan merilevästä saatavien molekyylien kemiallinen rakenne, vaan SUP-direktiivissä on jokin porsaanreikä tai sitten tuote ei tule menemään EU:ssa läpi.

Toisaalta merilevästä uutettuja tuotteita käytetään yleisesti elintarviketeollisuudessa: karrageenia käytetään esimerkiksi jäätelönvalmistuksessa emulgointiaineena ja agaria ruoanlaitossa sekä leivonnassa. Myös kalsiumionien ristosilloitusta kaseiinipolymeerien kanssa käytetään juuston valmistuksessa, jotta siitä saadaan rakenteeltaan kovempaa [40]. Jos voimme syödä merilevästä uutettuja bioaktiivisia aineita, miksei niistä voisi valmistaa muovivaikkeitä korvaavia tuotteita, vaikka niiden kemiallinen rakenne olisikin muuttunut? Näiden muovivaikkeitä korvaavien merilevästuotteiden on kuitenkin todettu kompostoituvan täysin noin 48–58 vuorokaudessa, kuten selluloosankin [21].

6 Johtopäätökset

Merilevä tulee muuttamaan muoviteollisuuden täysin. Jo nyt todella monet yritykset kehittävät siitä erilaisia tuotteita ja hakevat rahoitusta tutkimuksilleen ja tuotekehitysprojekteilleen. Vaikka merilevän hyödyt tekevät siitä melko uniikin raaka-aineen, sen viljelyn vaikutuksia merien ekosysteemeihin pitkällä aikavälillä tulee tutkia vielä tarkemmin. Kertakäyttömuovituotteiden korvaaminen merilevätuotteilla vaatii myös vielä aikaa kilpailukyvyn kehittämiseksi. Merilevästä on kuitenkin saatu esimerkiksi ruiskuvalutekniikkaan sopivaa materiaalia, joten sillä on jo nyt huomattavia etuja, puhumattakaan ilmasto- ja ympäristövaikutuksista.

Nykyinen tiukka SUP-direktiivi on vielä tuore osa muovilainsäädäntöä, eikä sen piiriin kuuluvia kertakäyttömuovituotteita ole saatu kitkettyä markkinoilta pois. Vaikka tuotekehitykset ja tutkimukset uusista raaka-aineista ovat jo käynnissä, SUP-direktiivi on hyvin tulkinnanvarainen ja jopa ristiriitainen. Jos raaka-aineen kemiallinen rakenne ei saa muuttua alku- ja lopputuotteen välillä, on hyvin vaikeaa ja lähes mahdotonta kehittää sekä valmistaa uusia raaka-aineita. Vaikka nykyiset kehitetyt muovit korvaavat raaka-aineet eivät noudattaisi täysin SUP-direktiivin kohtaa ”kemiallisesti modifioimattomista luonnonpolymeereistä”, ne eivät silti ole ympäristöllemme pahempia kuin muovituotteet, jotka päätyvät meriin ja vahingoittavat sekä luontoa että eläimiä. Uusien merilevästä kehitettyjen raaka-aineiden on kuitenkin todettu olevan jopa syötäviä ja täysin biohajoavia sekä mikromuovittomia.

Jos EU haluaa säilyttää lainsäädäntönsä, on sen mietittävä direktiivin muokkaamista selkeämmäksi. Se hämää varmasti monia yrityksiä ja samalla lisää viherpesua sekä sulkee pois monia hyvä vaihtoehtoisia, muovit korvaavia ratkaisuja. Pahimmassa tapauksessa yritykset eivät uskalla enää yrittää kehittää uusia tuotteita eivätkä saa rahoitusta, jos SUPD säilyy tällaisena, koska on niin epätodennäköistä onnistua kehittämään sen vaatimien määritelmien mukainen tuote.

Jos Notpla Coatingin merilevöpohjainen tuote hyväksyttäisiin EU:ssa, se antaisi toivoa muille yrityksille. On kuitenkin täysin eri asia kehittää merilevästä veden- ja rasvankestävä päällyste elintarvikepakkauksiin, kuin vahva ja kestävä kertakäyttöaterin. Täysin merilevöpohjainen kertakäyttöaterin ei ole välttämättä tarpeeksi toimiva, vaikka se soveltuisikin SUP-direktiiviin. Lisäksi muovi on vielä toistaiseksi niin halpa raaka-aine, että uusien kertakäyttöaterimien kehittäminen kilpailukykyiseksi tulee olemaan haaste.

Lähteet

- 1 Aterin. Verkkosivusto. <<https://aterin.fi/>>. Luettu 28.10.2023.
- 2 Single-Use Plastics Directive. Verkkoaineisto. European Bioplastics. <<https://www.european-bioplastics.org/policy/single-use-plastics-directive/>>. Luettu 2.11.2023
- 3 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi tiettyjen muovituotteiden ympäristövaikutuksen vähentämisestä. 2019. Direktiivi 2019/904/EU. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 12.6.2019. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019L0904>>. Luettu 2.11.2023.
- 4 Komission tiedonanto tiettyjen muovituotteiden ympäristövaikutuksen vähentämisestä annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin mukaiset komission kertakäyttöisiä muovituotteita koskevat suuntaviivat. 2021. Direktiivin 2019/904/EU suuntaviivat. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 7.6.2021. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX%3A52021XC0607%2803%29>>. Luettu 5.11.2023.
- 5 Waldeck, Sabine. 2023. Caps and closures trends: SABIC lifts lid on product development priorities ahead of EU SUPD. Verkkoaineisto. Packaging insights. <<https://www.packaginginsights.com/news/caps-and-closures-trends-sabic-lifts-lid-on-product-development-priorities-ahead-of-eu-supd.html>>. Luettu 10.11.2023.
- 6 Muovien aiheuttamat haitat ympäristölle ja ilmastolle lisääntyvät – voidaanko suuntaus Euroopassa kääntää? 2021. Verkkoaineisto. European Environment Agency. <<https://www.eea.europa.eu/fi/highlights/muovien-aiheuttamat-haitat-ymparistolle-ja>>. Luettu 10.11.2023.
- 7 Plastics, the circular economy and Europe's environment — A priority for action. 2020. Verkkoaineisto. European Environment Agency. <<https://www.eea.europa.eu/publications/plastics-the-circular-economy-and/>>. Luettu 16.11.2023.
- 8 Isometsä, Elina. 2020. Oxo-hajoavien muovien ympäristövaikutukset. Kandidaatintyö. Tampereen yliopisto. Verkkoaineisto. <<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/124775/Isomets%C3%A4Elina.pdf>>. Luettu 15.11.2023.
- 9 Mitä tarkoittaa biomuovi? Verkkoaineisto. Muovipoli, Muoviteollisuus RY, New Plastics Center. <<https://www.muovipoli.fi/wp->

- content/uploads/2020/11/Mita%CC%88-tarkoittaa-biomuovi.pdf>. Luettu 12.2.2024.
- 10 Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista (REACH), Euroopan kemikaaliviraston perustamisesta, direktiivin 1999/45/EY muuttamisesta sekä neuvoston asetuksen (ETY) N:o 793/93, komission asetuksen (EY) N:o 1488/94, neuvoston direktiivin 76/769/ETY ja komission direktiivien 91/155/ETY, 93/67/ETY ja 2000/21/EY kumoamisesta. 2006. Asetuksen (EY) N:o 1907/2006 oikaisuja. Verkkoaineisto. Euroopan unionin virallinen lehti 29.5.2007. <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:136:0003:0280:fi:PDF>>. Luettu 10.11.2023.
 - 11 Hietala, Laura. 2016. Homogeenisen deasetyylaatiomääritysmenetelmän kehittäminen tehoseulontaan. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta. Luettu 14.12.2023.
 - 12 Kertakäyttöiset muovituotteet, SUP (single use plastics). Verkkoaineisto. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto. <<https://tukes.fi/tuotteet-ja-palvelut/kertakayttoiset-muovituotteet-sup#lainsaadannon-taustaa>>. Luettu 4.11.2023.
 - 13 Kattaustarvikkeet. Kertakäyttöaterimet. Verkkoaineisto. S-kaupat. <<https://www.s-kaupat.fi/tuotteet/keittio-ja-kattaus/kattaustarvikkeet/kertakayttoaterimet>>. Luettu 5.11.2023.
 - 14 Kattaustarvikkeet. Spen puinen kahvilusikka 11cm 12kpl. Verkkoaineisto. S-kaupat. <<https://www.s-kaupat.fi/tuote/spen-puinen-kahvilusikka-11cm-12kpl/6426600196150>>. 5.11.2023.
 - 15 Disposable Wooden Forks Production Line. Verkkoaineisto. Romiter. <<https://www.cnwoodmachine.com/disposable-wooden-forks-production-line/>>. Luettu 30.11.2023.
 - 16 Osa 9 – Muovien työstö: ruiskuvalu. 2016. Verkkoaineisto. Muoviyhdistys. <<https://www.muoviyhdistys.fi/2016/07/18/osa-9-muovien-tyosto-ruiskuvalu/>>. Luettu 29.11.2023.
 - 17 Anirudh, MK; Basil, M; Harikrishnan, M.P; Kothakota, Anjineyulu; Kundhu, Partha; Nandhu Lal, A.M. 2023. Development and characterization of microfibrer incorporated with industrial biopolymer composite based biodegradable cutlery: An alternative to single use plastic. ScienceDirect. s. 1–3. Luettu 29.11.2023.

- 18 What is Injection Molding and How Does it Work? 2022. Verkkoaineisto. Protolabs. <<https://www.youtube.com/watch?v=sBEzE4PCmqM>>. Katsottu 30.11.2023.
- 19 Macreadie, Peter I; Ross, Finnley; Tarbuck, Patrick. 2022. Seaweed afforestation at large-scales exclusively for carbon sequestration: Critical assessment of risks, viability and the state of knowledge. Verkkoaineisto. Frontiers. <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.1015612/full>>. Luettu 13.12.2023.
- 20 Chu, Yaoyao; Huang, Yajun; Liao, Wei; Wen, Yuxi; Zhang, Lizhu; Zhao, Chao. 2022. Global seaweed farming and processing in the past 20 years. Verkkoaineisto. BioMed Central. <<https://fppn.biomedcentral.com/articles/10.1186/s43014-022-00103-2>>. Luettu 10.12.2023.
- 21 How To Make Plastic From Seaweed. 2022. Verkkoaineisto. Business Insider. <https://www.youtube.com/watch?v=337OhJZ-_cc>. Katsottu 5.12.2023.
- 22 Bruhn, Annette; Duarte, Carlos M; Krause-Jensen, Dorte; Wu, Jiaping; Xiao, Xi. 2017. Can Seaweed Farming Play a Role in Climate Change Mitigation and Adaptation? Verkkoaineisto. Frontiers. <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2017.00100/full>>. Luettu 13.12.2023.
- 23 Bruhn, Annette; Duarte, Carlos M; Krause-Jensen, Dorte. 2021. A seaweed aquaculture imperative to meet global sustainability targets. Verkkoaineisto. Nature sustainability. <<https://www.nature.com/articles/s41893-021-00773-9#article-info>>. Luettu 13.12.2023.
- 24 Dutton, Jessica M; Ginsburg, David W; Heidelberg, John; Kim, Diane Y; Navarrete, Ignacio A; Raut, Yubin; Reed, Daniel C; Wilcox, Brian Howard; Wilcox, Cindy. 2021. Effects of depth-cycling on nutrient uptake and biomass production in the giant kelp *Macrocystis pyrifera*. Tutkielma. ScienceDirect. s. 1–3. Luettu 13.12.2023.
- 25 Kasim, M; Munawan; Ruslaini. 2021. Growth rate of *Eucheuma denticulatum* cultivated in horizontal net and vertical net. Verkkoaineisto. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/925/1/012018>>. Luettu 13.12.2023.
- 26 Land use in agriculture by the numbers. 2020. Verkkoaineisto. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

- <<https://www.fao.org/sustainability/news/detail/en/c/1274219/#:~:text=Global%20trends,and%20pastures>>. Luettu 14.12.2023.
- 27 Afflerbach, Jamie C; Frazier, Melanie; Froehlich, Halley E; Halpern, Benjamin S. 2019. Blue Growth Potential to Mitigate Climate Change through Seaweed Offsetting. Verkkoaineisto. Current Biology. <[https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(19\)30886-3](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(19)30886-3)>. Luettu 14.12.2023.
- 28 Msuya, Flower E. 2017. The role of women in seaweed aquaculture in the Western Indian Ocean and South-East Asia. Verkkoaineisto. Taylor&Francis Online. <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09670262.2017.1357084>>. Luettu 14.12.2023.
- 29 Can Indian Seaweed Replace Plastic. 2023. Verkkoaineisto. Business Insider. <<https://www.youtube.com/watch?v=-mzNkl9RQvI>>. Katsottu 5.12.2023.
- 30 Gore-Langton, Louis. 2023. Notpla's seaweed-based F&B packaging lands first-ever EU "plastic-free" certification. Verkkoaineisto. Packaging Insights. <<https://www.packaginginsights.com/news/notplas-seaweed-based-fb-packaging-lands-first-ever-eu-plastic-free-certification.html>>. Luettu 8.11.2023.
- 31 Ching, Y.C; Lim,C; Lim, P.E; Ng, C.G; Yusoff, S. 2021. Bioplastic made from seaweed polysaccharides with green production methods. Artikkelii. ScienceDirect. s. 1–7. Luettu 3.1.2024.
- 32 Multia, Evgen. 2016. Bioaktiivisten yhdisteiden uutto levistä. Kandidaattitutkielma. Helsingin yliopisto. Verkkoaineisto. <https://www.researchgate.net/publication/324835483_Extraction_of_bioactive_compounds_from_algae_Bioaktiivisten_yhdisteiden_uutto_levista>. Luettu 27.12.2023.
- 33 Bentaleb, Ahmed; Divoux, Thibaut; Louerat, Frédéric; Mao, Bosi; Snabre, Patrick. 2017. Heat-induced aging of agar solutions: Impact on the structural and mechanical properties of agar gels. ScienceDirect. s. 59–66. Luettu 4.1.2024.
- 34 Armisen, Rafael; Galatas, Fernando. 1987. Chapter 1 – Production, properties and uses of agar. Verkkoaineisto. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <<https://www.fao.org/3/x5822e/x5822e03.htm>>. Luettu 8.12.2023.

- 35 Abreu, Maria H; Cabrita, Eurico J; Delerue-Matos, Christina; Morais, Simone; Pereira, Rui; Sousa; Ana M. M; Sousa-Pinto, Isabel; Goncalves, Maria Pilar. 2012. Structural, Physical, and Chemical Modifications Induced by Microwave Heating on Native Agar-like Galactans. Verkkoaineisto. ACS Publications. <<https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/jf2053542#>>. Luettu 12.12.2023.
- 36 Abdelkafi, Slim; Abka-khajouei, Roya; Michaud, Philippe; Patel; Anil Kumar; Shahabi, Nasim; Tounsi, Latifa. 2022. Structures, Properties and Applications of Alginates. Verkkoaineisto. National Center for Biotechnology Information. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9225620/>>. Luettu 3.1.2024.
- 37 Bartley, John; Doherty, William O.S; Gilfillan, William Neil; Moghaddam, Lalehvash. 2016. Thermal extrusion of starch film with alcohol. ScienceDirect. s. 92–97. Luettu 6.1.2024.
- 38 Ellis, A; Jacquier, J.C; Keppeler, S. 2009. Cross-linked carrageenan beads for controlled release delivery systems. ScienceDirect. s. 973–975. Luettu 10.1.2024.
- 39 Schwertheim, Natalie. 2023. Single-Use Plastics Directive: Notpla identifies "huge loopholes" while gaining directive exemption. Verkkoaineisto. Packaging Insights. <<https://www.packaginginsights.com/news/single-use-plastics-directive-notpla-identifies-huge-loopholes-while-gaining-directive-exemption.html>>. Luettu 8.11.2023.
- 40 Dave, R.I; Joshi, N.S; Muthukumarappan, K. 2003. Understanding the Role of Calcium in Functionality of Part Skim Mozzarella Cheese. ScienceDirect. s. 1918–1926. Luettu 10.1.1014.

Kestävämät uuttomenetelmät merileville

Uuttomenetelmä	Periaate	Hyödyt ja haitat
Ylikriittinen fluidiuutto (SFE)	Liuotin (CO ₂ tai H ₂ O) asetetaan kriittiseen lämpötilaan ja paineeseen uuttaakseen fykokolloidit.	+Ympäristöystävällinen, nopea, laadukkaat tuotteet, halvat ja kierrätettävät liuottimet -Korkeat laite- ja käsittelykustannukset sekä energiankulutus, hankala skaalata
Ultraääniavusteinen uutto (UAE)	Taajudeltaan yli 20 kHz ääniaallot tunkeutuvat soluseiniin ja liuottavat kavitaatiokuplien avulla fykokolloideja.	+Nopea vähäiset liuotin- ja energiankulutukset, korkea saanto, jätevapaa, yksinkertainen prosessi, helppo skaalautuvuus -Korkeat laitekustannukset, suppea liuottimen valikoima
Entsyymiavusteinen uutto (EAE)	Entsyymit hajottavat soluseinän ja fykokolloidit vapautuvat.	+Korkea saanto, ympäristöystävällinen, laaja kemiallinen valikoima -Hidas, kalliit entsyymit
Mikroaaltoavusteinen uutto (MAE)	Mikroaalto säteily nostaa lämpötilaa tunkeutuakseen soluseiniin ja vapauttaakseen fykokolloidit.	+Nopea, korkea saanto, vähäinen liuottimen kulutus, mahdollinen skaalautuvuus -Korkeat laitekustannukset, räjähdysriski, liuottimen pitää olla polaarinen ja ei-höyrysyvä
Valoavusteinen uutto (PBE)	Auringonvalo poistaa pigmentin fotolyysillä vähentääkseen fykokolloidien ja kromoforien sulfaattipitoisuutta.	+Ympäristöystävällinen, kemikaaliton, parantaa tuotteiden laatua ja saantoa -Sääolosuhteet vaikuttavat, aiheuttaa kemiallisia muutoksia näytteissä
Reaktiivinen uutto (REX)	Käyttää lämmittämistä, sekoittamista ja leikkaamista kemiallisten reaktioiden aikaansaamiseksi, jotta materiaali homogenoituisi ja muodostaisi polymeerejä.	+Nopea ja jatkuva, vähäinen liuottimen kulutus, mahdollinen skaalautuvuus -Korkeat laitekustannukset, voi lämpöhajottaa merileviä
Paineistettu liuottinuutto (PSE)	Korkea paine ja liuottimen subkriittinen lämpötila uuttaa fykokolloideja lyhyessä ajassa.	+Ympäristöystävällinen, vähäinen liuottimen kulutus, tehokas, nopea, yksinkertainen prosessi -Korkeat laitekustannukset, voi lämpöhajottaa merileviä