

# Muovin korvaaminen biohajoa- valla materiaalilla kasvikapse- lissa

Case: Plantui Oy

LAHDEN AMMATTIKORKEA-  
KOULU  
Tekniikan ala  
Energia- ja ympäristötekniikka  
Ympäristötekniikka  
Opinnäytetyö  
Syksy 2017  
Heidi Heinonen

Lahden ammattikorkeakoulu  
Energia- ja ympäristötekniikka

HEINONEN, HEIDI:

Muovin korvaaminen biohajoavalla  
materiaalilla kasvukapselissa  
Case: Plantui Oy

Ympäristötekniikan opinnäytetyö, 71 sivua, 7 liitesivua

Syksy 2017

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja selvittää, mikä biohajoava materiaali voisi korvata työn toimeksiantajan, Plantui Oy:n, Smart Garden -älypuutarhassa käytettävän kasvukapselin muovisen pidikeosan sekä paperisen kannen. Tavoitteena oli, että kasvien vesiviljelystä lopulta syntyvä jäte olisi täysin kompostoituvaa, eikä sitä tarvitsisi enää sijoittaa sekajätteen. Kasvivalikoimaan sisältyy lyhyessä sekä pitkässä ajassa, enimmäkseen noin kolmessa kuukaudessa, itäviä kasveja ja yrttejä. Siitä johtuen tarkoituksena oli, että kapselit kestäisivät hajoamattomina kolme kuukautta kasvuolosuhteissa. Testattavien materiaalien elintarvikekelpoisuus tuli myös huomioida, sillä laitteessa voidaan kasvattaa syötäviä kasveja.

Tutkimukseen valittiin testattaviksi materiaaleiksi polylaktidi (PLA), polyvinyylialkoholi (PVA) sekä polykaprolaktoni (PCL), jotka kaikki ovat biohajoavia muoveja. Materiaaleista mallinnettiin ja 3D-tulostettiin oikean kapselin pidikkeen mittojen mukaiset kappaleet. Jokaisesta materiaalista valmistettiin myös rinnakkaisnäytteiksi kolme lisäkappaletta. Kaikille kappaleille valmistettiin lisäksi polyvinyylialkoholista testikannet. Koejärjestelyä varten testikappaleet asetettiin Smart Garden -laitteeseen, ja testijakso kesti kolme kuukautta. Jakson aikana kappaleita havainnoitiin visuaalisesti, minkä lisäksi kasteluvedestä otettiin pH- ja sähkönjohtavuusnäytteitä säännöllisin väliajoin.

Tuloksena kolme kuukautta kestäneen koejakson jälkeen voidaan todeta, että testatuista materiaaleista parhaiten kapselin pidikkeen materiaaliksi soveltuu polylaktidi. Kannen materiaaliksi polyvinyylialkoholi voi sopia, jos kansi valmistetaan riittävän ohueksi niin, että kasvi pääsee kasvamaan siitä läpi. Laitteen säiliössä ollut vesi oli pH-arvoltaan testijakson aikana koko ajan lähellä neutraalia. Sähkönjohtavuudessa oli aluksi tasaista nousua, mutta loppua kohden arvot hieman laskivat. Laitteessa vallitsevat kasvuolosuhteet vaikuttivat kuhunkin testimateriaaliin hieman eri tavoin.

Asiasanat: biohajoavat materiaalit, biohajoaminen, 3D-tulostus, polyvinyylialkoholi, polylaktidi, polykaprolaktoni, muovijäte, elintarvikelainsäädäntö

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Energy and Environmental Technology

HEINONEN, HEIDI:

Replacement of plastic with biodegradable material in plant capsule  
Case: Plantui Ltd

Bachelor's Thesis in Environmental Engineering, 71 pages, 7 pages of appendices

Autumn 2017

ABSTRACT

---

The purpose of the thesis was to investigate and find out which biodegradable material could replace the plastic holder and a paper cover of the plant capsule in the Smart Garden -device. The study was commissioned by Plantui Ltd. The aim was that the produced waste of plant growing would be completely degradable and would no longer need to be placed in mixed waste. The plant selection includes plants and herbs, which grow within three months. Therefore, the aim was for the capsules to stay non-degradable for three months in the growth conditions. The food eligibility of the materials to be tested should be considered for edible plants can be grown in the Smart Garden.

Polylactic acid (PLA), polyvinyl alcohol (PVA) and polycaprolactone (PCL), all of which are biodegradable plastics, were selected for testing. The materials were modeled and 3D-printed copies of the original capsule holder dimensions were made. Three additional copies were also made for each material as parallel samples. All the pieces were also made of polyvinyl alcohol test covers. For the experiment, the test capsules were placed on the Smart Garden and the test cycle lasted for three months. During the period, the capsules were visibly observed, and pH and electrical conductivity samples were taken from the irrigation water at regular intervals.

As a result, after the trial period of three months, it can be concluded that polylactic acid is best suited as the material for the capsule holder from the tested materials. As a cover material, polyvinyl alcohol may be suitable if the cover is made to be sufficiently thin to allow the plant to grow through it. The water in the container of the device had a neutral pH throughout the test period. Initially a steady increase was observed in electricity conductivity, but the values fell slightly towards the end. The growth conditions prevailing in the device affected each test material in a slightly different way.

Key words: biodegradable materials, biodegradation, 3D-printing, polyvinyl alcohol, polylactic acid, polycaprolactone, plastic waste, foodstuff legislation

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	PLANTUI OY	3
2.1	Tuotteet ja markkina-alue	3
2.2	Ympäristöpolitiikka ja arvot	5
3	MUOVIT JA NIIDEN YMPÄRISTÖONGELMAT	7
3.1	Muovien ominaisuudet ja luokitus	7
3.2	Muovijäte ja siitä aiheutuvat ongelmat	8
4	ELINTARVIKELAINSÄÄDÄNTÖ	12
4.1	Elintarvikelait ja -viranomaiset Suomessa	12
4.2	Muovien elintarvikekelpoisuus ja -kontakti	14
4.3	Elintarvikekontaktimateriaalien säädökset	17
5	BIOHAJOAVAT MUOVIT	20
5.1	Biohajoavat ja biopohjaiset muovit	20
5.2	Biopolymeerien ominaisuudet ja luokitus	20
5.3	Biohajoaminen	20
5.4	Biohajoavien muovien yleisyys, käyttö ja tulevaisuus	22
5.4.1	Polylaktidi (PLA)	24
5.4.2	Polykaprolaktoni (PCL)	26
5.4.3	Polyvinyylialkoholi (PVA)	29
5.4.4	Muita soveltuvia biohajoavia materiaaleja	31
6	TESTIKAPPALEIDEN 3D-TULOSTUS	34
6.1	Kasvikapselin rakenne	34
6.1.1	Kapselin kansi	36
6.1.2	Polypropeeni (PP)	37
6.2	3D-tulostus	40
7	KOEJÄRJESTELYT JA TUTKIMUKSET	46
7.1	Tutkimusmenetelmät	46
7.2	Mittaukset ja visuaalinen havainnointi	48
7.2.1	Ensimmäinen kuukausi	49
7.2.2	Toinen kuukausi	50
7.2.3	Kolmas kuukausi	51
7.3	Tulokset ja johtopäätökset	55

7.4	Biohajoavien muovien kustannusten määräytyminen	59
8	YHTEENVETO	60
	LÄHTEET	63
	LIITTEET	71

## OPINNÄYTETYÖSSÄ KÄYTETTYÄ SANASTOA

<b>Amorfinen</b>	Rakenne, joka ei sisällä kiteisyyttä (SFS-EN ISO 472:2001, 8).
<b>Asetaattiryhmä</b>	Asetaattilla tarkoitetaan asetaattianioneita tai asetaattiesterin funktionaalista ryhmää. Asetaattianioni muodostuu etikkahaposta. (Helmenstine 2014.)
<b>Asyyliryhmä</b>	Karboksyylihaposta muodostunut ryhmä ja rakenneosaa useille orgaanisille yhdisteille (Tieteen termipankki 2014).
<b>Ataktinen</b>	Säännöllinen polymeeri, jonka molekyyleillä on satunnaisessa järjestyksessä yhtä monta mahdollista rakenteellista yksikköä (SFS-EN ISO 472:2001, 10).
<b>EP</b>	Epoksit, jotka ovat vesitiiviitä sekä erittäin lujia muoveja (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>HDPE</b>	Suuritiheksinen polyeteeni, jonka lyhenne tulee sanoista High Density Polyethylene (ICIS 2007).
<b>Hydrofiilinen</b>	Aine, joka on vesihakuinen eli siinä molekyylit liukenevat veteen (Kurri, Malen, Sandell & Virtanen 2008, 219).

<b>Hydrolysoituva</b>	Muovi, jonka hajoaminen tapahtuu hydrolyysin vaikutuksesta (SFS-EN ISO 472:2001, 65).
<b>Hydrolyysi</b>	Hydrolyysillä tarkoitetaan kemiallista reaktiota, jossa yhdisteeseen lisätään vettä, ja sen seurauksena tapahtuu yhdisteen hajoaminen lähtöaineikseen (Peda 2017).
<b>Initiaattori</b>	Aine, joka osallistuu kemialliseen reaktioon ja käynnistää sen (Kurri ym. 2008, 219).
<b>Isomeria</b>	Isomeria jaetaan useisiin eri tyypeihin. Isomeereiksi kutsutaan yhdisteitä, jotka sisältävät samat atomit, mutta ne ovat järjestäytyneet eri tavoin. Yhdisteet poikkeavat molekyyli-rakenteeltaan, vaikka niillä on sama molekyylikaava. (Orgaaninen kemia 2017.)
<b>Isotaktinen</b>	Säännöllinen polymeeri, jossa molekyylit muodostuvat perättäin järjestäytyneistä ja yhtä tyyppiä olevista perusyksiköistä (SFS-EN ISO:2001, 71).
<b>Katalyytti</b>	Aine, joka ei osallistu kemialliseen reaktioon, vaan se vain nopeuttaa ja ylläpitää reaktiota. Näin katalyytti ei tavallisesti ole osa lopputuotetta. (Kurri ym. 2008, 219.)

<b>Kiteisyys</b>	Ominaisuus molekyyliketjun raken- teessa. Muoveilla rakenne voi olla osittain kiteinen tai amorfinen. Kitei- syydellä on vaikutusta muovin omi- naisuuksiin. (Linnamaa 2007, 20.)
<b>Kiteisyysaste</b>	Kolmiulotteinen järjestyneisyys, joka esiintyy molekyyllitasolla (SFS-EN ISO:2001, 35).
<b>Kiteytyminen</b>	Kristallien eli kiteiden muodostumi- nen, jolloin molekyyliketjut, molekyyli- tai atomit ovat järjestäytyneinä kolmi- ulotteisen mallin mukaisesti. Malli on aina kullekin yhdisteelle ominainen. (Kurri ym. 2008, 220.)
<b>Kraft-ligniini</b>	Kraft-prosessissa syntyvä sivutuote. Kraft-prosessilla tarkoitetaan ligniinin eli puun kuitujen sisältämän biopoly- meerin ja selluloosan erotusproses- sia. (Myllymäki 2014, 17-18.)
<b>Laminated object manufacturing</b>	3D-tulostustekniikka. LOM on eräs yksinkertaisimmista tulostusmenetel- mistä, jossa tulostimen leikkuri leik- kaa materiaalin halutun muotoiseksi. Lopullinen kappale on kolmiulotteinen ja muodostuu kerroksittain olevista materiaaliarkeista. (Rissanen & Pek- kanen 2014, 24.)
<b>Lasersintraus</b>	3D-tulostusmenetelmä, jossa tulostin levittää tulostusjauheesta ohuita ker- roksia telalla, ja halutut kohdat kuu- mennetaan lasersäteellä. Jauheen

	<p>sulattamaton ja laseroimaton kohta jätetään tukirakenteeksi. (Rissanen &amp; Pekkanen 2014, 19.)</p>
<b>Lasittuminen</b>	<p>Amorfisen muovin amorfisten osien palautuva muutos kumimaisesta tai viskoosista olomuodosta hauraaseen ja kovaan olomuotoon tai päinvastoin (SFS-EN ISO:2001, 60).</p>
<b>Lasiirtymälämpötila</b>	<p>Likimääräinen keskikohta lämpötila-alueella, jossa tapahtuu lasittuminen (SFS-EN ISO:2001, 60).</p>
<b>Lasittumislämpötila</b>	<p>Sama kuin lasiirtymälämpötila (SFS-EN ISO:2001, 60).</p>
<b>LDPE</b>	<p>Pienitiheyspolyeteeni, jonka lyhenneä käytetään myös PE-LD (Telko 2017).</p>
<b>Lukukeskimääräinen</b>	<p>Keskimääräinen molekyylimassa, jossa painottuu jollakin tietyllä molekyylimassavälillä sijaitsevien molekyylien osuus suhteessa niiden määrään (Mäntykangas 2010, 8).</p>
<b>Monomeeri</b>	<p>Yhdiste, joka koostuu molekyyleistä. Sen jokainen molekyyli pystyy muodostamaan yhden tai useamman rakenneyksikön polymeeriin. (SFS-EN ISO:2001, 82.)</p>
<b>Morfologia</b>	<p>Polymeerin rakenteen yleinen muoto, johon kuuluvat mm. kiteisyys, haarauminen, molekyylipaino sekä silloitus (Polymer Chemistry 2000).</p>

<b>Murtovenymäprosentti</b>	Vetolujuuden ominaisuuden, murtovenymän (murtumiskohta), yksikkö. Murtovenymäprosentti kuvaa venymää ja jännitystä kappaleen murtuessa. (Seppälä 2008, 71.)
<b>Myötörajan jännitysarvo</b>	Materiaalin vetojännityksen suuruus, jolloin venymistä tapahtuu ilman voimantarpeen lisäämistä. Kimmoisuus häviää ja alkaa tapahtua pysyvää muodonmuutosta. (Seppälä 2008, 71.)
<b>Oksidoituva</b>	Hapettava. Hapettuminen eli oksidointi on kemiallinen reaktio, jossa hapettava eli oksidoituva aine luovuttaa elektroneja (Koskinen 2008, 47).
<b>PAI</b>	Polyamidi-imidi, jonka mekaaniset ominaisuudet ovat erinomaiset (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>Painokeskimääräinen</b>	Keskimääräinen molekyylimassa, jossa painottuu jollakin tietyllä molekyylimassavälillä sijaitsevien molekyylien osuus suhteessa massaan eli painoon (Mäntykangas 2010, 8).
<b>PC</b>	Polykarbonaatti-muovit, jotka ovat hyvin iskunkestäviä (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>PCL</b>	Polykaprolaktoni, joka on biohajoava polymeeri (Aromaa 2010, 3).

<b>PDLA</b>	Poly-D-laktidi, joka on eräs polylaktidin (PLA) tyypeistä (Creative Mechanisms 2016).
<b>PDLLA</b>	Poly-DL-laktidi, joka on eräs polylaktidin (PLA) tyypeistä (Creative Mechanisms 2016).
<b>PE</b>	Polyeteeni, joka on yksi käytetyimmistä muovin raaka-aineista. Polyeteenejä voidaan luokitella tiheyden perusteella. (Muoviteollisuus ry 2017d.)
<b>PEI</b>	Polyeetteri-imidi, joka on hyvin lämmönkestävä sekä luja polymeeri (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>PET</b>	Polyeteenitereftalaatti (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>PI</b>	Polyimidi, jolla on hyvät mekaaniset ominaisuudet (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>PLA</b>	Polylaktidi, joka on biohajoava polymeeri (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>Plastisoiminen</b>	Muovin saattaminen sulattamalla muovattavaan muotoon (Kurri ym. 2008, 222).
<b>PLLA</b>	Raseeminen tai tavallinen poly-L-laktidi. Ne ovat eräitä polylaktidin (PLA) tyyppejä (Creative Mechanisms 2016).

<b>PMMA</b>	Polymetyylimetakrylaatti eli akryyli (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>Polymeeri</b>	Toistuvista rakenneyksiköistä, monomeereistä, muodostuva makromolekyyli. Se voi olla verkkorakenne, haaroittunut tai suora eli 3-, 2- tai 1-ulotteinen. (Kurri ym. 2008, 223.)
<b>Polymeeriketju</b>	Sellainen polymeerimolekyylin osa, jossa molemmissa päissä on haara tai pääteryhmä (SFS-EN ISO:2001, 98).
<b>Polymerointi</b>	Kemiallinen reaktio tai prosessi, jossa monomeeri tai monomeerit muuttuvat polymeeriksi (SFS-EN ISO:2001, 98).
<b>PP</b>	Polypropeeni, joka on erittäin käytetty ja kestävä polymeeri (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>PPS</b>	Polyfenyleenisulfidi (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>PPSU</b>	Sama kuin PSU (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>PS</b>	Polystyreeni (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>PSU</b>	Polysulfoni, joka on läpikuultava ja luja muovi (Muoviteollisuus ry 2017d).

<b>PTFE</b>	Polytetrafluorieteeni eli teflon, joka on hiiliketjuun liittyneitä fluoriatomeja sisältävä polymeeri (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>Pursotustekniikka</b>	3D-tulostustekniikka, jossa materiaali ohjataan tulostuspäähän ja lämmittään sulamispisteeseen. Lankamainen materiaali pursottuu suuttimesta, jolloin lopullinen kappale muodostuu kerroksittain ja jäähtyy itsestään. (Rissanen & Pekkanen 2014, 12.)
<b>PVA</b>	Polyvinyylialkoholi, joka on vesiliukoinen ja biohajoava polymeeri (Evira 2017).
<b>PVC</b>	Polyvinyylikloridi (Muoviteollisuus ry 2017d).
<b>Raseeminen</b>	Seos, jossa on yhtä suuri määrä kahta enantiomeeriä eli peilikuvaisomeeriä tai ainetta, joilla on toisiinsa nähden peilikuvatut, epäsymmetriset molekyyliarakenteet. Nimi on peräisin raseemisesta haposta. (Britannica 2017.)
<b>Stereolitografia</b>	3D-tulostusmenetelmä, joka muistuttaa lasersintrausta. Materiaali kovettuu lasersäteen vaikutuksesta, ja malli muodostuu kerroksittain. Lopuksi kappaleen kovettamiseen käytetään UV-valoa. (Rissanen & Pekkanen 2014, 23.)

**Syndiotaktinen**

Säännöllinen polymeeri, jossa molekyyliä kuvataan rakenteellisen, toistuvan ja kahdesta rakenteellisesta perusyksiköstä muodostuvan yksikön säännöllisellä vaihtelulla. (SFS-EN ISO:2001, 133).

**Tautomeeri**

Tautomeerit ovat yhdisteen isomeerejä, joissa eroavaisuutena ovat vain protonien ja elektronien asemat. Reaktiota, johon liittyy yksinkertainen protoninsiirto intramolekulaarisella tavalla, kutsutaan tautomeriksi. (Chem 2017.)

# 1 JOHDANTO

Ympäristöongelmat ovat ajankohtainen ja tärkeä aihe maailmanlaajuisesti, sillä ympäristöön liittyvät asiat vaikuttavat yhteiskunnassamme lähes jokaiseen. Ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi ja monimuotoisen luonnon sekä ympäristön erilaisten ekosysteemien suojelemiseksi ja säilyttämiseksi on ensiarvoisen tärkeää, että ongelmiin puututaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Haasteita ongelmien ratkaisemiseen tuovat ihmisten asenteet, puutteet kehitysmaiden ja etenkin rannikkovaltioiden jätehuollossa, kulutusyhteiskunnan seurauksena tapahtuva tavaroiden ja palveluiden lisääntyvä kulutus sekä vesistöihin päätyvät hajoamattomat materiaalit ja tuotteet.

Yksi suurimmista globaaleista ympäristöongelmista on muovijäte ja siitä aiheutuvat haitat. Ongelman eteen pyritään jatkuvasti tekemään töitä ja keksimään luontoa säästäviä ratkaisuja aina kulutustavaroista palveluihin asti. Eräänä ratkaisuna voidaan pitää biohajoavia muoveja ja muita materiaaleja, joita käytetään yhä enemmän korvaamaan tavallisia, hajoamattomia muoveja. Biohajoavuuden todellinen merkitys saavutetaan silloin, kun se antaa lisäarvoa tuotteelle, ja biohajoavan materiaalin valmistus tapahtuu kokonaisuudessaan ympäristön kannalta kestävästi. Biohajoavat materiaalit eivät kuitenkaan poista sitä tekijää, joka on kaikkien jäteongelmien pohjimmainen syy eli kuluttajien asenteet.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia korvaavia biohajoavia materiaaleja muovisen osan, pidikkeen, tilalle älypuutarhalaitteen kasvikapseliin, jotta viljelyprosessissa muodostuva jäte ei enää sisältäisi tavallista muovia ja näin ollen se olisi kompostoituvaa. Vaatimuksina kapselin pidikkeen materiaalille ovat kompostoitavuus ja elintarvikekelpoisuus. Lisäksi materiaalin tulee kestää kolme kuukautta kasvuolosuhteissa, sillä laitteessa kasvatettavien kasvien itämisaika on enimmillään noin kolme kuukautta. Työn toimeksiantaja, Plantui Oy, pyrkii toiminnassaan ja tuotteissaan ympäristöystävällisyyteen, ja sen kannalta muovin vähentäminen on järkevä ratkaisu. Yritys valmistaa ja myy automatisoituja, syötävien kasvien ja yrttien, sisäviljelylaitteita. Kapselit valmistaa ulkopuolinen yritys.

Tässä työssä tutkittavia materiaaleja on kolmea erilaista, ja työ keskittyy niiden testaukseen sekä ominaisuuksiin ja soveltuvuuteen kapselin pidikkeen materiaaliksi.

Työn teoriaosuudessa perehdytään yleisesti muovijäteongelmaan, elintarvikekelpoisuusvaatimuksen vuoksi muoveihin ja kontaktimateriaaleihin liittyvään elintarvikelainsäädäntöön, biohajoavuuden määritelmään ja biohajoavien tuotteiden tulevaisuudennäkymiin sekä tutkittavien materiaalien ominaisuuksiin ja kemiallisiin rakenteisiin. Lisäksi esitellään lyhyesti myös muita käyttötarkoitukseen mahdollisesti soveltuvia biohajoavia materiaaleja.

Käytännön osuudessa käytettiin testikappaleiden valmistusmenetelmänä 3D-tulostusta, joten teoriaosiossa sivutaan myös siihen liittyvää asiaa. Käytännön koejärjestelyt ja testiolosuhteet toteutettiin Lahden ammattikorkeakoulun laboratorion tiloissa. Testauksen tärkeimpänä tutkimusmenetelmänä oli kapseleiden visuaalinen havainnointi, mutta myös kasteluveden sähkönjohtavuutta sekä pH-arvoa mitattiin säännöllisesti. Työn lopussa käydään läpi testien tuloksia ja pohditaan johtopäätöksiä niiden pohjalta. Tulosten havainnollistamiseen ja käsittelyyn käytettiin MS Excel -ohjelmistoa sekä valokuvia. Tarkkoja kustannusarvioita muovien käytöstä ei voida tehdä, mutta lopuksi kerrotaan hieman kustannuksiin vaikuttavista seikoista biomuovien näkökulmasta.

Työssä esitellyt ja käytetyt tiedot pohjautuvat suomen- sekä englanninkielisiin elektronisiin ja kirjallisiin lähteisiin, elintarvikelakiin, Plantuin yritysesityyn sekä muihin yritykseltä saatuihin tietoihin, Lahdessa järjestetyiltä muovi- ja pakkausalojen kansainvälisiltä erikoismessuilta ja Muoviteollisuus ry:ltä saatuihin tietoihin sekä testijakson aikana kerättyihin havaintoihin. Opinnäytetyö on rajattu käsittelemään testattavien materiaalien käyttäytymistä ja kestävyyttä kolmen kuukauden aikana tietyissä olosuhteissa, ja varsinainen kompostoituminen sekä siihen kuluva aika on jätetty tarkastelusta pois.

## 2 PLANTUI OY

### 2.1 Tuotteet ja markkina-alue

Plantui Oy perustettiin vuonna 2012, ja se aloitti toimintansa vuonna 2014. Yritys sijaitsee Turussa, ja se valmistaa kasvien sisäviljelyyn perustuvia automatisoituja Smart Garden -älypuutarhoja (kuvio 1). Plantuin tuotevalikoimaan kuuluvat myös älypuutarhoissa kasvatettavat kasvukapselit. Kapselin sisältö koostuu laavakivestä eli basaltista valmistetusta kivivillamaisesta materiaalista, joka toimii kasvin kasvualustana. Kapseli sisältää myös kasvin siemenet. Valikoimaan kuuluu useita erilaisia syötäviä yrttejä, kukkia ja salaatteja. (Plantui 2017a.)

### *Plantui Smart Gardens 2016*



KUVIO 1. Plantui Smart Garden -valikoima (Plantui 2017a)

Saatavilla olevien kasvien kasvunopeudet jaotellaan nopeasti, melko nopeasti ja hitaasti kasvaviin lajikkeisiin (kuvio 2). Jokaisessa Plantui-kasvikapselipakkauksessa tulee mukana kasveille optimaalinen ravinneseos. Plantui Smart Garden -laitteessa kapseli on kosketuksissa veteen, jolloin kapseliin syntyy mikroilmasto, ja siemenet alkavat itää. Verkkovirralla toi-

mivan älypuutarhan kasvatusprosessi on kokonaan automaattinen, ja siihen kuuluvat tehokkaat kasvivalot, jolloin kasvuolosuhteet ovat kasveille täydelliset. Tarkoituksena on siis, että laite hoitaa kasvien kasvatuksen, ja jokaisella on mahdollisuus kasvattaa haluamiansa yrttejä ilman erityisiä taitoja. Älypuutarha on myös esteettisesti suunniteltu niin, että se on ulkoapäin kaunis ja sisustuselementiksi sopiva. (Plantui 2017b.)

## ***Plant growing groups***

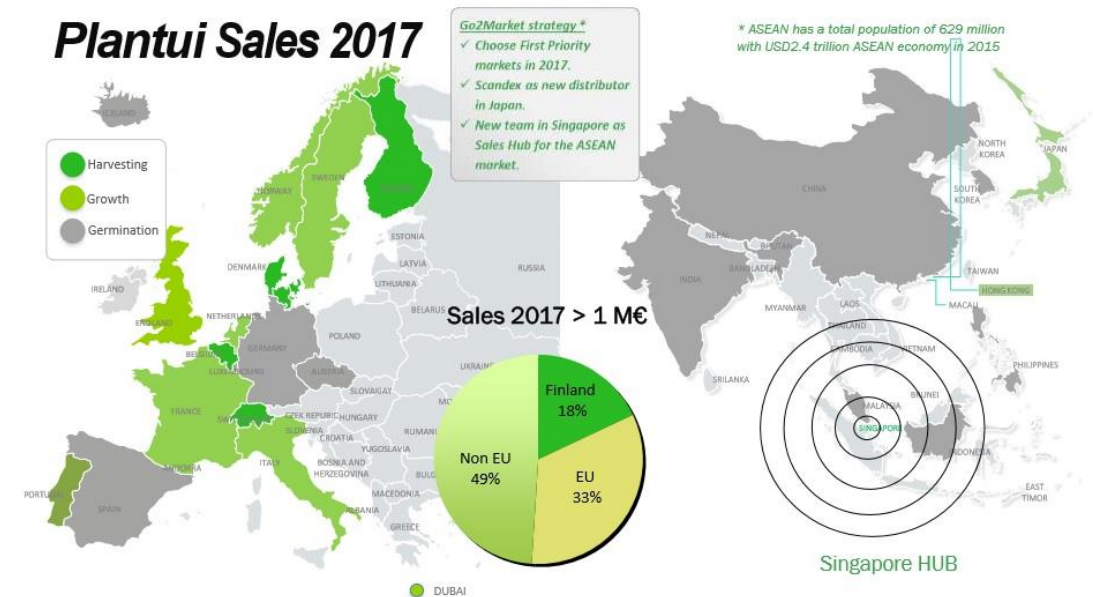
Growth timelines shown in sales packaging and Plantui.com



KUVIO 2. Kasvikapseleita eri kasvunopeuksilla (Plantui 2017a)

Älypuutarhan kasvatusprosessista syntyy lopulta jätettä, jonka käsittelyyn ei juurikaan ole erillisiä ohjeita. Kasvikapselit päätyvät pääosin sekajätteeneksi ja poltettavaksi. Smart Garden -älypuutarhan osat ovat helposti irrotettavissa, joten laitteen elinkaaren jälkeen muovi menee energiajätteeneksi ja elektroniikka omaan kierrätykseensä. (Vuorinen 2017.) Tavoitteena tässä opinnäytetyössä on korvata kapselin muovimateriaali, joka tällä hetkellä on polypropeenaa, jollakin biohajoavalla materiaalilla. Silloin kasvatusprosessissa syntyvä jäte olisi kompostoituvaa ja näin ollen tuotetta saataisiin kehitettyä ympäristöystävällisemmäksi.

Yrityksen tuotteiden markkina-alue on laaja (kuvio 3), vaikka kyseessä onkin suhteellisen tuore yritys. Suomen lisäksi markkina-alue ulottuu Skandinaviaan ja muutamisiin muihin Euroopan maihin sekä Aasiassa Japaniin ja Singaporeen. Lisäksi yrityksen toimintaa on tapauskohtaisesti Yhdysvalloissa Kaliforniassa ja New Yorkissa. (Plantui 2017a.)



KUVIO 3. Plantui Oy:n markkina-alue (Plantui 2017a)

## 2.2 Ympäristöpolitiikka ja arvot

Plantui Oy:n ympäristöpolitiikka perustuu vahvasti haluun kehittää toimintaansa ja tuotteitaan ympäristöystävällisempään suuntaan. Tavoitteena on myös hiili- ja vesijalanjäljen pienentäminen konseptin avulla. Yritys on teettänyt MIPS-laskelman, joka osoitti Plantui-tuotteilla tuotetun kasvikilon aiheuttaneen vain 10 % siitä kuormituksesta, jota kasvihuoneessa tuotettu kasvikilo aiheuttaa. (Vuorinen 2017.)

MIPS on lyhenne sanoista Material Input Per Service Unit eli materiaalipanos palvelusuoritetta kohden. Menetelmässä saadaan tuloksena luku, joka

kertoo käytettyjen luonnonvarojen määrän kokonaisuudessaan tietyn tuotteen tai palvelun tuottamiseen. Yrityksille MIPS on hyödyllinen, sillä sen avulla voidaan tarkastella tuotteiden tai palveluiden ympäristöominaisuuksia niiden koko elinkaaren ajalta. MIPS-mittari on siis hyvä keino selvittää tuotteiden ja toiminnan ympäristöystävällisyyttä. Tuloksia voi hyödyntää tuotteiden kehittämisessä niin, että tuotteista saadaan kestäviä, uudenlaisia ja ympäristöä säästäviä, sekä niiden tuotannossa syntyvät päästöt vähenevät. (Suomen luonnonsuojeluliitto 2002.)

Plantui-tuotteilla on myös etuna se ympäristönäkökulma, että puhdasta vettä ei mene hukkaan, sillä siinä kasvit käyttävät kaiken veden kasvuunsa, toisin kuin avo- ja kasvihuoneviljelyssä. Ja koska Smart Garden-laitetta pidetään normaalissa huonetilassa ilman tuhohyönteisten ja muiden vaarallisten aineiden haitallisia vaikutuksia, ei torjuntakemikaaleja tarvita lainkaan. (Vuorinen 2017.)

Yhä enemmän myös kuluttajat eli yrityksen asiakkaat haluavat ympäristöystävällisempiä tuotteita, joten painostusta kehitykseen saattaa tulla myös sitä kautta. Ympäristötietous ja kestävän kehityksen näkökulmat kiinnostavat nykyajan ihmisiä aina vain enemmän, joten sen myötä yritystenkin on huomioitava ympäristöä säästävät tekijät ja toimenpiteet. Asiakkaat ovat siten myös tärkeässä roolissa tuotteiden kehityksen kannalta. (Plantui 2017a.)

Lisäksi yrityksen arvoihin kuuluvat halu ja uteliaisuus jatkuvaa uudistamista kohtaan. Erityisesti arvoissa painottuvat kestävä kehitys ja puhtaan luonnon tärkeys sekä se, että teoilla täytyy ylläpitää ja parantaa ympäristöä nyt ja tulevaisuudessa. Työn palkitsevuus sekä elämästä nauttiminen ovat tärkeänä osana yrityksen toimintaperiaatteita. (Plantui 2017a.)

### 3 MUOVIT JA NIIDEN YMPÄRISTÖONGELMAT

#### 3.1 Muovien ominaisuudet ja luokitus

Monipuolisten ominaisuuksiensa ansiosta muovi soveltuu materiaaliksi useisiin erilaisiin sovelluksiin ja käyttötarkoituksiin. Muovit koostuvat polymeereistä. (Muoviteollisuus ry 2017e.) Polymeerillä tarkoitetaan makromolekyyliä eli pitkää polymeeriketjua, joka koostuu monomeereistä eli toistuvista rakenneyksiköistä (Kurri ym. 2008, 223). Monomeerit ovat yhdisteitä, jotka koostuvat molekyyleistä. Monomeerin jokainen molekyyli voi muodostaa polymeeriin rakenneyksiköitä, yhden tai useamman. (SFS-EN ISO:2001, 82.) Biopolymeeri puolestaan on polymeeri, jota tavataan luonnossa (Muoviteollisuus ry 2017a).

Kemiallisen reaktion, polymeroinnin, avulla voidaan yhdistää monomeerien ja polymeerien molekyylejä. Polymerointireaktion avulla pienistä monomeereistä tulee siis isompia polymeerejä. Monomeerien kaksois- tai kolmoissidokset hajoavat, jolloin monomeerit voivat liittyä toisiinsa lämmön, paineen ja katalyytin vaikutuksesta. (Kurri ym. 2008, 27.) Reaktioon tarvitaan aina jokin katalyytti, jonka tarkoituksena on ainoastaan nopeuttaa ja ylläpitää reaktiota (Kurri ym. 2008, 219). Isojen ketjumaisten molekyyliden yhteyteen on mahdollista lisätä erilaisia lisäaineita riippuen siitä, millaiset ominaisuudet lopputuotteelle halutaan (Muoviteollisuus ry 2017e).

Eri muovit eroavat hyvin paljon toisistaan muun muassa termisiltä, mekaanisilta sekä fysikaalisilta ominaisuuksiltaan. Lisäksi ulkonäössä on eroavaisuuksia. Yleisesti muovit voidaan luokitella valtamuoveihin, teknisiin muoveihin sekä erikoismuoveihin. Valtamuovit ovat yleisimmin käytettyjä ja eniten valmistettuja muoveja. Niitä ovat muun muassa PVC, PS, PET, PP, PE, LDPE sekä HDPE. Tekniset muovit soveltuvat vaativiin kohteisiin. Teknisiä muoveja voivat olla muun muassa PEI, PSU, PC, PMMA, PTFE sekä EP. Erikoismuoveja, kuten PI, PAI, PPSU ja PPS, taas käytetään äärimmäisissä käyttökohteissa. (Muoviteollisuus ry 2017c.)

Biopohjaiset ja biohajoavat muovit puolestaan ovat oma osa-alueensa. Niissä on käytetty raaka-aineina uusiutuvia materiaaleja, jotka tavallisesti ovat tärkkelyspohjaisia. Niitä voivat olla soija, selluloosa tai maissi. Biohajoavat muovit eroavat tavallisista muoveista myös siinä, että niiden käyttökohteet ovat sellaisia, joilla on lyhyt elinkaari. Siitä johtuen biohajoavat muovit soveltuvat erilaisiin pakkauksiin ja muihin sovelluksiin, joissa hajoaminen ei tuota ongelmia. (Pakkaussuunnittelu 2014.)

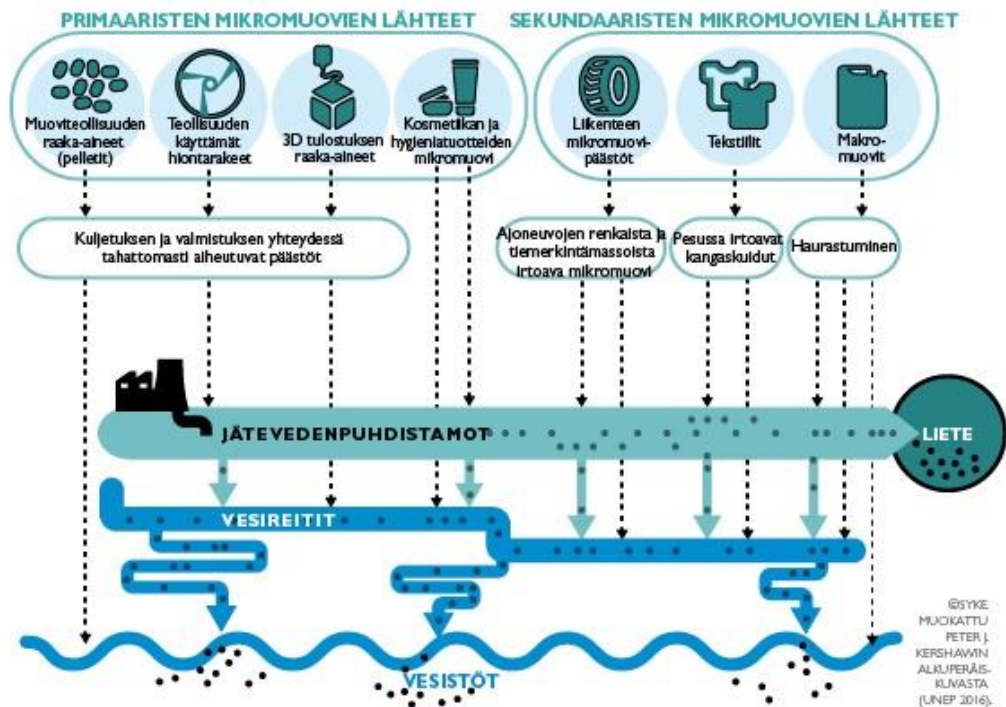
Lisäksi muovit voidaan jakaa ominaisuuksiensa ja muokattavuutensa perusteella kesto- ja kertamuoveihin. Kestomuoveja voidaan sulattaa uudelleen ja muotoilla haluttuun muotoon, kun taas kertamuoveja ei voida enää muokata niiden saatuaan kerran muotonsa. Kestomuovien kemiallisista ominaisuuksista riippuu, onko se amorfinen vai osakiteinen muovi. Osakiteiset muovit eivät voi olla läpinäkyviä, toisin kuin amorfiset muovit. Kumeja muistuttavia muoveja sanotaan elasteiksi. (Muoviteollisuus ry 2017c.)

### 3.2 Muovijäte ja siitä aiheutuvat ongelmat

Lukuisista hyvistä puolistaan ja yleisyydestään huolimatta ympäristön kannalta muovijäte on vakava, globaali ongelma. Maailmanlaajuisesti muovia tuotetaan yli 90 miljardia kiloa vuodessa. (Yle Uutiset 2016a.) On arvioitu, että meriin päätyvä vuosittainen muovijätteen määrä vaihtelee 6,4 ja 8 miljoonan tonnin välillä (Kilponen 2016, 3). Nykyisellä tahdilla muovia kerääntyy joka vuosi meriin yhä enemmän, mikä mahdollisesti johtaa siihen, että vuonna 2050 muovin osuus merissä on suurempi kuin kalojen. Muovijätteen aiheuttamat tuhot ovat laajoja, ja niillä on vaikutuksia niin merten eläimille ja ekosysteemeille kuin ihmisten terveydelle. Lisäksi muoviroskan tuottamat vahingot tulevat erittäin kalliiksi merenkululle, kalastukselle sekä turismille. Yli puolet kaikesta merten muovijätteestä on peräisin pelkästään viidestä Aasian valtiosta, Thaimaasta, Kiinasta, Vietnamista, Filippiineiltä ja Indonesiasta. Näiden rannikkovaltioiden jätehuollon parantaminen vähentäisi muoviroskan määrää huomattavasti. (Yle Uutiset 2016a.)

Eräs tämän hetken uusista tutkimuskohteista on mikromuovi, jota päätyy suuria määriä ympäristön ekosysteemeihin, varsinkin meriin ja muihin vesistöihin. Mikromuovi on mikroskooppisen pieniksi kuiduiksi ja muruiksi hajonnutta muovia. Mikromuoviksi lasketaan kaikki sellaiset muovikappaleet, jotka ovat kooltaan alle 5 mm. (Talvitie, SYKE & Aalto yliopisto 2014, 4.) Esimerkkinä voisivat olla tekstiilit, jotka pesussa hajoavat erittäin pieneksi mikromuoviksi. Suomen järvistä on löytynyt mikromuovia, ja näin ollen sitä on voinut päätyä myös juomaveteen sekä vesieliöihin, kuten kaloihin. Sitä kautta mikromuovi siirtyy ravintoketjuissa aina eteenpäin ja lopulta jopa ihmisen elimistöön asti. Tutkimusten mukaan mikromuovin suurin lähde on autoilu. (Yle Tiede 2017.) Muita lähteitä voivat olla autolautat, kosmetiikka ja hygieniatuotteet, hammastahnat sekä synteettisten vaatteiden pesu (Tekniikka & Talous 2016).

Mikromuovia on kahta eri tyyppistä ja eri lähteistä syntyvää. Kuviossa 4 on esitetty primaaristen sekä sekundaaristen mikromuovien lähteitä. Primaarista mikromuovia syntyy teollisuuden tuotteista, joihin on lisätty mikromuovia tarkoituksella puhdistavan vaikutuksen aikaansaamiseksi. Sellaisia tuotteita voivat olla erilaiset voiteet, hammastahnat ja muut niiden kaltaiset aineet. Primaariset mikromuovit ovat siis pieniä kooltaan jo valmiiksi. Sekundaarista mikromuovia muodostuu irtoamalla toisista tuotteista, kuten liikenteessä autojen renkaista, pyykinpesussa tekstiileistä sekä makromuovista eli mikromuovia suuremman kokoisista muovikappaleista. Sekundaariset mikromuovit siis jauhautuvat pienikokoisiksi isommista kappaleista. Vaikka jätevedenpuhdistamoissa pystytään puhdistamaan mikromuoveista 99 %, niin siitä huolimatta mikromuovit jäävät jätevesilietteeseen, minkä seurauksena lietteen jatkohyödyntäminen vaikeutuu. (Ympäristö 2017.)



KUVIO 4. Mikromuovien lähteitä ja kulkeutumisreitit (Ympäristö 2017)

Suomessa tehdyssä mikromuovitutkimuksessa Kallavedestä on saatu tuloksia korkeista mikromuovipitoisuuksista. Itä-Suomen yliopiston tutkijoiden mukaan pitoisuudet ovat erittäin korkeita verrattuna tuloksiin, joita on muualta maailmalta raportoitu. Mikromuovia kulkeutuu myös kaukokulkeumana ilman välityksellä, minkä johdosta sitä on myös sellaisissa vesistöissä, joiden välittömässä läheisyydessä ei ole päästölähteitä. Mikromuovitutkimuksia tehdään jatkuvasti lisää, ja selvityksen kohteena on erityisesti se, millaisia vaikutuksia mikromuovilla on eri ekosysteemien lisäksi ihmisten terveydelle. (Yle Uutiset 2016b.)

Kallavedellä suoritettava tutkimus on aloitettu vuonna 2016, ja se jatkuu vuoteen 2020 asti. Tutkimuksessa on tarkoituksena selvittää pitkällä ajanjaksolla järvi-ekosysteemin sedimenttiin kerrostuvaa mikromuovia. Sedimentissä on mahdollisesti myös kerrostuneisiin mikromuoveihin absorboituvia eli imeytyviä haitallisia metalleja ja orgaanisia yhdisteitä. Tutkittavista mikromuoveista selvitetään niiden mahdollisuutta vapautua sedimentistä ja

edelleen kuljettaa haitallisia aineita järvi- ja vesistöihin eteenpäin. (University Of Eastern Finland 2016.)

Vuoden 2017 aikana EU:n on tarkoitus lanseerata muovistrategia, jossa puututaan mikromuoviongelmiin ja mikromuoveihin. Strategian tarkoituksena ja tavoitteena on estää muoveja joutumasta ympäristöön, varsinkin vesistöihin ja erityisesti isoihin meriin. Lisäksi tavoitteena on irtautua tuotteista, jotka ovat öljypohjaisia. Tärkeänä tavoitteena on myös edistää kierrätystä sekä pidentää muovien käytettävyyttä ja käyttöikä. Tulevina vuosina Suomessa käynnissä olevista tutkimushankkeista tullaan saamaan arvokasta tietoa mikromuoviongelmiin laatuun sekä tärkeimpiin lähteisiin liittyen. (Yle Uutiset 2017.)

Muovijätteen ollessa yksi suurimmista ja laajimmista ympäristöongelmista ovat erilaiset biohajoavat muovit ja muut biomateriaalit tärkeässä roolissa tulevaisuuden tuotekehityksessä ja toiminnoissa. Kuitenkaan kaikki biopohjaiset muovit eivät hajoa vesistöissä, joten biomuovit ovat vain osittainen ratkaisu koko muovijäteongelmaan.

Perimmäinen syy muoviongelmiin ovat kuluttajien asenteet ja suhtautuminen luontoon sekä sen roskaamiseen ja puhtaanapitoon. Muoviteollisuus ry:n toimitusjohtaja Vesa Kärhä (2017) toteaa, että ihminen ratkaisee ja ihmisellä on myös vastuu materiaalien kierrossa ja käytössä. Samaa mieltä on Luonnonvarakeskuksen Juha-Matti Katajajuuri (2017), joka kertoo ongelman olevan se, että jätteet ovat väärässä paikassa, mikä johtuu ihmisten asenteista.

Muovi ei itsestään kulkeudu meriin ja muihin vesistöihin, vaan se kulkeutuu jätevirtojen ja roskaamisen kautta. Maa-alueilta ja rannikoilta muovijäte taas kulkeutuu edelleen merivirtojen vaikutuksesta keskelle valtameriä. VTT:n professori Ali Harlin (2017) kertoo, että Aasian suunnalla Intian valtameren rannikolla muovijätettä laitetaan lautoille, jotka kuljetetaan keskelle merta ja jätetään sinne. Voidaan siis jälleen todeta, että siinä tilanteessa biomuovitkaan eivät ole ratkaisu, vaan juurikin ihmisten käytös ja asenteet.

## 4 ELINTARVIKELAINSÄÄDÄNTÖ

### 4.1 Elintarvikelait ja -viranomaiset Suomessa

Elintarvikelainsäädännön tarkoituksena on elintarvikkeiden turvallisuuden ja niistä annettujen tietojen todellisuuden varmistaminen. Elintarvikelainsäädäntö on suurelta osin Euroopan yhteisön lainsäädäntöä, ja se on kaikissa jäsenmaissa suoraan voimassa. Suomessa on lisäksi säädetty käyttöön yhteisön lainsäädännössä mainittuja vaatimuksia täsmentäviä asetuksia sekä kansallinen elintarvikelaki. Maa- ja metsätalousministeriö vastaa Suomen kansallisesta elintarvikelainsäädännöstä. (Evira 2016a.)

Elintarvikelakiin 13.1.2006/23 sisältyviä kohtia ovat yleisten säännösten lisäksi elintarvikkeita, elintarviketuotantoon käytettäviä eläimiä, elintarvikehuoneistoja ja alkutuotantopaikkoja koskevat vaatimukset, elintarvikealan toimijaa koskevat vaatimukset, viranomaiset ja niiden tehtävät, laboratoriot, elintarvikevalvonta, elintarvikkeiden laatujärjestelmät sekä erilaiset maksuihin, muutoksenhakuun ja rangaistuksiin liittyvät säädökset. (Elintarvikelaki 23/2006.) Laki on sovellettavissa elintarvikkeisiin ja niiden käsitteilyyn liittyviin olosuhteisiin, toimijoihin elintarvikealalla sekä tuotanto-, jalostus- ja jakeluvaiheiden elintarvikevalvontaan. Lain elintarvikkeista säädetty kohdat koskevat lisäksi osittain elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvia tarvikkeita. (Elintarvikelaki 23/2006, 2 §.)

Suomessa korkein elintarvikeviranomainen on elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Eviran vastuualueeseen kuuluvat säädökset ja niiden toteuttaminen maassamme myös muovien elintarvikekelpoisuuden osalta. (Muoviteollisuus ry 2017d.) Eviran tehtävänä on kehittää ja johtaa koko Suomen alueen elintarvikevalvontaa (Evira 2016b). Euroopan unionissa Eviraa ylempänä ovat Euroopan elintarviketurvallisuusviranomainen EFSA sekä EU-komission pääosasto Sanco (Muoviteollisuus ry 2017d).

Evira on keskusviranomainen, joka valtakunnallisen elintarvikevalvonnan suunnittelun, kehittämisen, ohjauksen sekä sen suorittamisen lisäksi muun muassa ohjaa aluehallintovirastoja kuntien elintarvikevalvontaan liittyvässä

arvioinnissa. Eviralle kuuluu myös teurastamolaitosten elintarvikevalvonta ja eläinperäisten elintarvikkeiden vierasainevalvonnan suunnittelu ja toteutus, elintarvikehygieniaan liittyvät tehtävät, valtakunnallisesta riskiviestinnästä ja tiedottamisesta huolehtiminen sekä erityiset asiantuntijuustehtävät liittyen elintarvikevalvontaan. (Elintarvikelaki 23/2006, 30 §.) Maa- ja metsätalousministeriön vastuulla on yleinen elintarvikevalvonnan ohjaus ja suunnittelu (Elintarvikelaki 23/2006, 29 §).

Eviran sekä maa- ja metsätalousministeriön lisäksi elintarvikevalvontaan liittyviä viranomaisia on useita eri tahoja. Elintarvikevalvonnan tarkoitus on elintarvikkeiden turvallisuuden sekä koostumuksesta ja laadusta annettavien tietojen oikeellisuuden varmentaminen. Elintarvikevalvonta on suurelta osin kuntien vastuulla. Kunnallisiin elintarvikevalvontaviranomaisiin kuuluvat terveystarkastaja, eläinlääkäri tai jokin muu kunnallinen elintarvikevalvoja. Kuntien elintarvikevalvontaa ohjaavat aluehallintovirastot. Aluehallintovirastoille kuuluvat kunnallisten elintarvikevalvontayksiköiden elintarvikevalvontaan liittyvät vaatimuksenmukaisuudenarvioinnit, joilla kehitetään kunnallista elintarvikevalvontaa sekä kerätään tietoja sen vaatimuksenmukaisuudesta. (Evira 2016b.)

Muita valvontaviranomaisia ovat puolustusvoimat, tulli, rajaeläinlääkärit, ELY-keskukset sekä sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontavirasto (Elintarvikelaki 23/2006, 34 §). Puolustusvoimien alueen elintarvikkeiden vaatimuksenmukaisuudesta ja turvallisuudesta vastaa puolustusvoimat itse. Tullin valvonnan piiriin kuuluvat EU-jäsenmaiden sekä kolmansien maiden alueilta tulevat elintarvikkeet, jotka eivät ole eläinperäisiä. (Evira 2016b.) Rajaeläinlääkäreille kuuluu eläinperäisten elintarvikkeiden valvonnasta huolehtiminen. ELY-keksusten huolehdittavana ovat kasvintuotannon elintarvikehygieniaan liittyvät tarkastukset, viranomaisnäytteiden ottaminen sekä kalastusalusten purkamisen velvoitteiden noudattamisen valvonta. Sosiaali- ja terveysalan lupa- ja valvontaviraston tehtäviin kuuluvat valvonta koskien sellaisia juomia, jotka sisältävät yli 2,8 tilavuusprosenttia etyylialkoholia sekä aluehallintovirastojen ohjaus liittyen alkoholimyymälöiden valvontaan. (Elintarvikelaki 23/2006, 34 §.) Lisäksi elintarvikevalvon-

taan kuuluu yritysten omavalvonta eli yritysten vastaaminen omien tuotteidensa turvallisuudesta. Kuluttajien vastuulla elintarvikkeiden laadun parantamisen suhteen ovat valppaus sekä puutteista ilmoittaminen kunnan viranomaiselle. (Evira 2016b.)

Varsinaisen elintarvikelain lisäksi elintarvikelainsäädäntöön kuuluu useita asetuksia ja säädöksiä, kuten lisäainesäädökset ja aromilainsäädäntö, elintarvikekontaktimateriaalit, torjunta- ja vierasainesäädökset sekä monet muut elintarvikealaan ja elintarvikkeisiin liittyvät säädökset (Maa- ja metsätalousministeriö 2017b).

#### 4.2 Muovien elintarvikekelpoisuus ja -kontakti

Plantui-kasvikapseleista kasvavat kasvit ovat syötäviä, joten kapselin pidikkeen muovimateriaalin tulee olla elintarvikekelpoista ja kaikin puolin elintarvikekäyttöön soveltuvaa. Tässä tutkimuksessa testatut muovit eivät sinällään ole elintarvikekelpoisia, mutta kyseiset muovit saadaan tehtyä elintarvikekäyttöön sopiviksi. Elintarvikekontaktimateriaaleilla tarkoitetaan materiaaleja ja tarvikkeita, jotka on tarkoitettu joutumaan kosketuksiin elintarvikkeiden kanssa tai jotka jo ovat kosketuksissa elintarvikkeiden kanssa (Maa- ja metsätalousministeriö 2017a).

Muoviteollisuus ry:n (2017b) mukaan Suomessa ja Euroopan unionin alueella elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuville muoveille on asetettu tarkkoja vaatimuksia ja säädöksiä. Muovin valmistusmateriaaleista lähtien on varmistuttava siitä, että ne ovat hyväksytyjä kyseiseen tarkoitukseen. Muovin tapauksessa siis monomeeritasolta katsottuna lähtöaineiden tulee olla hyväksytyjä.

Muovien materiaalimäärittelyt ovat yksityiskohtaisempia kuin muiden materiaalien. Vaikka muovin valmistuksessa käytettäisiin säädösten mukaisia raaka-aineita ja lähtöainetta, se ei välttämättä takaa elintarvikekontaktikelepoista tuotetta. Tuotteen pitää olla nimenomaan valmistettu elintarvikekontaktiin. Mahdolliset kontaktituotteen käyttörajoitukset tulee ilmoittaa valmistusketjussa eteenpäin. Muovituotteen yhteydessä ei saa käyttää viittauksia

mihinkään elintarvikkeisiin, mikäli tuote on valmistettu johonkin muuhun tarkoitukseen kuin elintarvikekäyttöön. (Muoviteollisuus ry 2017b.)

Kontaktimateriaalin tunnistettavuus ja jäljitettävyys ovat erittäin tärkeässä osassa koko tuotantoketjussa. Tuotteen valmistajan ja maahantuojan on tiedettävä, mistä kaikki käytetyt raaka-aineet ja tuotteet on hankittu. Myös se pitää olla tiedossa, kenelle tuotteet on toimitettu. Kontaktimateriaalien tunnistaminen ja jäljittäminen voivat tapahtua asiakirjojen, merkintöjen tai tietojen kautta. Jäljitettävyttä käytetään riskinhallintakeinona elintarviketurvallisuutta vaarantavan tilanteen rajaamisessa. (Muoviteollisuus ry 2017b.)

Jotta tuotteiden vaatimuksenmukaisuus voidaan hallita, on tuotteiden valmistajilla sekä maahantuojilla oltava omavalvontajärjestelmä. Toimijan on voitava osoittaa markkinoimansa tuotteen vaatimuksenmukaisuus omavalvontadokumentaation perusteella. Omavalvontajärjestelmän tulee kokonaisuudessaan kattaa EY-asetus 2023/2006 elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvien materiaalien ja tarvikkeiden hyvistä tuotantotavoista. Materiaali tai tuote, joka on tarkoitettu elintarvikekontaktiin, tulee merkitä selvällä lauseella tai yleisesti hyväksytyllä merkillä (kuvio 5). (Muoviteollisuus ry 2017b.)



KUVIO 5. Haarukka-lasi -merkintä elintarvikekontaktiin soveltuvasta materiaalista (Muoviteollisuus ry 2017b)

Muoviteollisuus ry:n (2017b) mukaan Suomessa kontaktimateriaalialan toimipaikat rekisteröidään. Kaikilla toimijoilla, jotka saattavat markkinoille elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvia tarvikkeita ja materiaaleja, on velvollisuus ilmoittaa toiminnastaan ja toimipaikastaan elintarvikevalvontaviranomaiselle sijaintikunnassaan. Siitä on säädetty 1.9.2010 voimaan tulleella elintarvikelain (23/2006) muutoksella. Elintarvikevalvontaviranomaisen tulee merkitä tiedot valvontakohterekisteriin. (Muoviteollisuus ry 2017b.)

Elintarvikekontaktille on hyvä perusta ja lähtökohta, jos kaikki edellä mainitut asiat ovat tuotteen puolesta todennettavissa ja kunnossa. Kaikkien tuotteen toimitusketjun jäsenien on syytä muistaa, että elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvasta tuotteesta tai materiaalista ei saa oletettavissa tai tavallisissa käyttöolosuhteissa siirtyä elintarvikkeisiin ainesosia, jotka missään tilanteessa vaarantavat terveyden, aiheuttavat muutoksia elintarvikkeen koostumuksessa tai heikentävät sen aistinvaraisia ominaisuuksia. (Muoviteollisuus ry 2017b.)

Kontaktimateriaali on tutkittava sekä kemiallisesti että aistinvaraisesti, minkä jälkeen se todetaan käyttötarkoitukseen eli elintarvikekäyttöön soveltuvaksi. Muoviteollisuus ry (2017b) painottaa, että lopulta kuitenkin vastuuta on sillä, joka päästää materiaalin ja elintarvikkeen keskenään kosketuksiin. Siinä tapauksessa, että henkilö on tavallinen kuluttaja, hänen on tuotteen hankintahetkellä varmistettava myyjältä elintarvikekontaktisoveltuvuus.

#### 4.3 Elintarvikekontaktimateriaalien säädökset

Maa- ja metsätalousministeriön (2017a) mukaan elintarvikekontaktimateriaaleja koskevan sääntelyn piirissä ovat sekä suora että epäsuora kosketus. Suorassa eli välittömässä kosketuksessa elintarvike on välittömästi kosketuksissa kontaktimateriaalin kanssa, kuten elintarvikepakkauksissa, ruokailuvälineissä ja astioissa. Epäsuoraan eli välilliseen kosketukseen elintarvike voi joutua muun muassa elintarviketeollisuudessa käytettyjen valmistuslaitteiden, kuten letkujen, putkien, tiivisteiden sekä säiliöautojen kautta. Muovipakkauksissa voi myös olla kerroksia päällekkäin useista eri muoveista, ja näin ollen uloimmat kerrokset eivät ole suoraan elintarvikeeseen kosketuksissa. (Evira 2016d.) Kaikkia materiaaleja koskevat Euroopan parlamentin ja neuvoston kehysasetus (EY) N:o 1935/2004 sekä komission hyviä tuotantotapoja koskevat säädökset asetuksessa (EY) N:o 2023/2006. Materiaalikohtaisia säädöksiä on tietyille tuotantoprosesseille ja materiaaleille, kuten muoville, kierrätysmuoville ja keramiikalle. Muovisista elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuvista materiaaleista säädetään komission asetuksessa (EU) N:o 10/2011.

Muoville annetut materiaalikohtaiset asetuksen säädökset sisältävät muun muassa koostumusta koskevia vaatimuksia, kuten valmistuksessa hyväksytyt aineet sekä aineita koskevat yleiset vaatimukset, rajoitukset ja eritelmät. Näihin osioihin kuuluvat unionin luettelo hyväksytyistä aineista, sellaisia aineita koskevat poikkeukset, jotka eivät sisälly unionin luetteluun, väliaikaisen luettelon laatiminen ja hoitaminen, ainekohtaisten siirtymien raja-

arvot sekä kokonaissiirtymän raja-arvo. Ainekohtaisella raja-arvolla tarkoitetaan mg/kg muodossa ilmaistua arvoa, joka ei saa ylittyä ainesosien siirtymässä muovisista materiaaleista elintarvikkeisiin. Kokonaissiirtymän raja-arvo on muodossa mg/dm<sup>2</sup>. Se on määritelty niin, että muovisten materiaalien ainesosia ei saa siirtyä elintarvikkeisiin enempää kuin 10 mg kaikkia vapautuneita ainesosia suhteessa elintarvikepakkauksen pinta-alan neliödesimetriin. Asetuksen vaatimuksenmukaisuusosioon sisältyvät muun muassa siirtymätestien tulosten ilmoittaminen sekä siirtymän raja-arvojen noudattamisen arviointia koskevat säännöt. Muoviin liittyviin säädöksiin sisältyvät myös tiettyjä materiaaleja ja tarvikkeita koskevat erityissäännökset, kuten monikerroksiset muoviset materiaalit ja tarvikkeet sekä monesta materiaalista koostuvat monikerroksiset materiaalit ja tarvikkeet. Lisäksi asetuksessa on säädetty vaatimuksenmukaisuusilmoituksesta ja asiakirjoista. (Eur-Lex 2016.)

Kierrätysmuovimateriaaleille on myös omat materiaalienkohtaiset säädöksensä. Kierrätysmuoveja koskevat säädökset eivät ole aivan yhtä laajat kuin muoveilla. Säädöksiin sisältyvät muun muassa kierrätysprosessien hyväksyntää koskevat edellytykset sekä kierrätysprosessien hyväksyntää koskeva hakemus ja elintarviketurvallisuusviranomaisen lausunto. Kierrätysprosessin tulee täyttää asetuksessa määritellyt edellytykset, jotta prosessi hyväksytään. Lisäksi säädöksiin kuuluvat kierrätysprosessien hyväksyminen eli säännös komission päätöksestä evätä tai myöntää hyväksyntä kierrätysprosessille, hyväksynnästä aiheutuvat velvollisuudet sisältäen muun muassa hyväksytyn kierrätysprosessin haltijan velvollisuuden ilmoittaa komissiolle uusista tiedoista kierrätysprosessin turvallisuuteen liittyen, kierrätysmuovimateriaalien merkitseminen sekä vaatimuksenmukaisuusilmoitukset. (Eur-Lex 2015.)

Komission asetukseen 10/2011 elintarvikekelpoisesta muovista on yhdistetty direktiivillä 2002/72/EY ja sen muutoksilla annettuja vaatimuksia koskien muovisia elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuvia materiaaleja. Asetusta on kokonaisuudessaan sovellettu vuodesta 2016 lähtien. (Evira 2016c.)

Asetuksen liitteessä on mainittu hyväksytyjä aineita, joita saa käyttää elintarvikekelpoisen muovin valmistuksessa niille asetettujen ehtojen mukaisesti. Liite sisältää unionin luettelon hyväksytyistä lähtöaineista, monomeereista, mikrobifermentaatiosta saaduista makromolekyyleistä, polymeerituotannon apuaineista sekä lisäaineista. Kansallisen lainsäädännön nojalla valmistuksessa saa käyttää myös eräitä muita aineita sekä väliaikaisen luettelon aineita, jotka ovat Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen (EFSA) arvioitavina. (Evara 2016c.)

Elintarvikekontaktimateriaaleille ja -tarvikkeille on olemassa niitä koskeva valvontaohje. Ohjeet on tarkoitettu ensisijaisesti elintarvikelain mukaisille viranomaisille, joiden tehtävänä on varmistaa kontaktimateriaalien vaatimuksenmukaisuus. Valvontaohjeiden tarkoituksena on myös elintarviketurvallisuuden yhtenäistäminen sekä toimijoiden yhdenvertaisen kohtelun edistäminen. Lisäksi alan toimijat voivat hyödyntää valvontaohjetta laatiesseen hyvien tuotantotapojen edellyttämiä omavalvontasuunnitelmia tai laadunhallintajärjestelmiä. (Evara 2016d.)

Valvontaohje sisältää kontaktimateriaaleille annettuja yleisiä tuotekohtaisia vaatimuksia sekä kontaktimateriaalialan toiminnalle ja toimijoille asetettuja vaatimuksia ja velvollisuuksia. Ohjeeseen sisältyy myös virallisen valvonnan periaatteita elintarvikekontaktimateriaalien ja alan toimintojen tarkastukseen liittyen. Valvontaohjeessa on kerrottu myös elintarvikekontaktimateriaalien valvonnan prioriteeteista sekä tavoitteista. (Evara 2016d.)

## 5 BIOHAJOAVAT MUOVIT

### 5.1 Biohajoavat ja biopohjaiset muovit

Muoveista puhuttaessa termit biohajoava ja biopohjainen eroavat toisistaan hyvinkin paljon. Biopohjainen muovi ei ole biohajoava, vaan sen raaka-aineen lähteenä on kokonaan tai osittain jokin uusiutuva materiaali, kuten selluloosa tai maissi. Monia valtamuoveja voidaan tehdä biopohjaisesta materiaalista. (Muoviteollisuus ry 2017a.) Biohajoavalla muovilla tarkoitetaan biologisessa ympäristössä osittain tai kokonaan hajoavaa polymeeriä, ja se voi olla synteettinen tai luonnonpolymeeri (Järvinen 2008, 110).

### 5.2 Biopolymeerien ominaisuudet ja luokitus

Biopolymeerit voidaan jakaa luonnon- sekä synteettisiin polymeereihin. Luonnonpolymeerien pääryhmät ovat proteiinit, polyhydroksialkaonaatit sekä polysakkaridit. Synteettisiä biohajoavia polymeerejä voidaan valmistaa uusiutuvista raaka-aineista tai öljystä. (Järvinen 2008, 110-111.)

Synteettisiä biopolymeerejä ovat alifaattiset polyesterit, vesiliukoiset polyvinylialkoholit, polyortoesterit sekä polyanhydridit. Synteettisten polymeerien biohajoamiseen tarvitaan pääketjuun oksidoituvia tai hydrolysoituvia ryhmiä. Hajoamisreaktio, joka on katalysoitu entsyymeillä, edellyttää polymeerin pääketjun ja entsyymin aktiivisen kohdan läheistä kontaktia. Polymeerin biohajoamiseen vaikuttavat muun muassa polymeerin kemiallinen rakenne, kiteisyys, hydrofiilisyyden, morfologia sekä koeolosuhteet, pH ja lämpötila. Synteettiset sekä luonnon polymeerit voivat hajota hapettumisen, säteilyn, hydrolyysin tai lämmön vaikutuksesta. (Seppälä 2008, 229-230.)

### 5.3 Biohajoaminen

Biopolymeerejä eli biohajoavia muoveja hajottava biologinen ympäristö voi maaperän lisäksi olla ihmisen elimistön fysiologiset olosuhteet tai vesistöt.

Biohajoava muovi hajoaa pienimolekyylisiin, vaarattomiin osiin luonnossa esiintyvien mikro-organismien vaikutuksesta. Tällaisia mikro-organismeja voivat olla sienet, levät sekä bakteerit ja hiivat. Prosessia kutsutaan biohajoamiseksi. (Järvinen 2008, 110; Seppälä 2008, 228.)

Jotta biohajoaminen olisi täydellistä, prosessi vaatii sopivassa suhteessa kosteutta, happea, entsyymejä ja mikrobeja sekä monien muiden tekijöiden vaikutusta. Jos olosuhteet ovat suotuisat, polymeeri hajoaa kokonaan vedeksi, hiilidioksidiksi ja biomassaksi. (Järvinen 2008, 110.)

Biomateriaaleista puhuttaessa biohajoaminen terminä voi tarkoittaa myös pelkästään hydrolyysiä. Hydrolyysillä tarkoitetaan kemiallista reaktiota, jossa aine veden vaikutuksesta hajoaa lähtöaineikseen. Ympäristössä biohajoamisella voidaan tarkoittaa mekaanisten ominaisuuksien heikkentymistä, fragmentoitumista eli pilkkoutumista tai elävien organismien aiheuttamaa hajoamista. Eläviä organismeja voivat olla muun muassa entsyymit. Biohajoamisen lisäksi ympäristötekijöiden johdosta tapahtuva hajoaminen sisältää tavallisesti kemiallisten ja fysikaalisten tekijöiden yhteisvaikutuksen. Yhteisvaikutus saa aikaan materiaalin mineralisoitumisen. (Seppälä 2008, 228.)

The American Society for Testing Materials (ASTM) on määritellyt erikseen hajoavan muovin ja biohajoavan muovin. Hajoavalla muovilla tarkoitetaan muovimateriaalia, jossa polymeerin pääketjussa tapahtuu ketjun katkeamista ympäristön fysikaalisten ja biologisten tai kemiallisten voimien seurauksena kiihtyneellä nopeudella verrattuna referenssiin, mikä sitten aiheuttaa muovin hajoamisen tai pilkkoutumisen. Biohajoavilla muoveilla hajoaminen johtuu pääasiallisesti mikro-organismien vaikutuksesta. (Seppälä 2008, 228.)

Polymeerien hajoavuuden testaamiseen on monia keinoja. Hydrolyysikokeissa näytteet upotetaan puskuriliuokseen. Polymeerien käyttäytymistä voi tutkia erilaisilla koeolosuhteilla, kuten muuttamalla lämpötilaa ja pH:ta. Polymeerien hajoavuuden testaamiseen voidaan käyttää visuaalista tarkastelua, painon ja moolimassan putoamista sekä polymeerin termisten ja

mekaanisten ominaisuuksien muutosten arviointia. Biohajoavuuden testaus perustuu mikrobitoiminnan tuloksena tapahtuneeseen orgaanisen hiilen vähenemiseen liuoksessa. Tavallisesti testauksessa määritetään myös biologista hapenkulutusta tai mikrobitoiminnan ansiosta syntynyttä hiilidioksidin muodostumista. (Seppälä 2008, 231.)

#### 5.4 Biohajoavien muovien yleisyys, käyttö ja tulevaisuus

Muoviteollisuus ry:n toimitusjohtaja Vesa Kärhän (2017) mukaan tämänhetkinen biomuovien osuus kaikista muoveista on noin 6,6 %, mutta osuus on jatkuvasti kasvussa. Kärhä arvioi lähivuosina luvun nousevan jopa 12-15 prosenttiin. Hänen mukaansa luku on pieni, mutta merkittävä. Neste Oyj:n Tomi Nyman (2017) on sitä mieltä, että luvun kasvu vaatii isoilta toimijoilta ja brändeiltä aloitteita ja toimia, jotka edistäisivät biomuovien käyttöä ja kysyntää.

Biohajoavien muovien käyttö eri aloilla ja mitä erilaisimmissa sovelluksissa on siis viime vuosina lisääntynyt jatkuvasti. Tärkeimpinä syinä biomuovien lisääntyneeseen käyttöön ovat ympäristönäkökohdat, biotalouteen siirtyminen, kuluttajien vaatimukset ja hyväksyntä sekä yleinen tekninen kehitys. Euroopan lainsäädännön tasolta lähtien voidaan myös huomata, että kaikkea tuotantoa ja kulutusta pyritään lainsäädännön avulla ohjaamaan ympäristöystävällisempään ja ekologisempaan suuntaan. (Järvinen 2008, 111-112.)

Ympäristöystävällisestä suuntauksesta esimerkkeinä voivat olla määräykset biohajoavista pakkauksista ja jopa lääketieteen sovellukset, kuten biohajoavat implantit ja luukirurgiaan tarkoitettut biohajoavat kappaleet. Biohajoavista materiaaleista voidaan lisäksi valmistaa monia muita tuotteita, kuten ostoskasseja, biojätepusseja, kertakäyttöastioita sekä erilaisia kuitusovelluksia, kuten tekstiilejä. Biohajoavaksi luokiteltavan pakkauksen pitää täyttää biohajoavuusmääritelmät. Vaatimukset pakkauksen ja materiaalin kompostoituvuudelle on määritelty standardeissa. Euroopan standardi EN 13432 on amerikkalaista standardia vaativampi. (Järvinen 2008, 112.)

Standardi EN 13432 koskee lignoselluloosamateriaaleja sekä pakkaamiseen käytettäviä muoveja. Standardissa kompostoitavalta materiaalilta vaadittavia ominaisuuksia on useita. Materiaalin tulee olla biologisesti hajoava, minkä määrittämiseen käytetään standardoitua testimenetelmää EN 14046. Kompostoituvasta materiaalista mitataan sen todellinen aineenvaihdunnallinen eli metabolinen muuttuminen hiilidioksidiksi. Jotta hajotamisen taso on hyväksyttävä, tuloksen tulee olla 90 % alle kuudessa kuukaudessa. Biologisen hajoavuuden lisäksi standardissa vaaditaan, että hajoaminen kompostiin tapahtuu pilkkoutumalla ja katoamalla niin, että materiaali ei ole silmin havaittavissa. Sen mittaamiseen käytetään kompostointitestiä EN 14045, jossa materiaalin hajottaminen kestää kolme kuukautta, minkä jäkeen tapahtuu syntyneen kompostin siivilöiminen. Kompostointitestillä tarkastetaan myös, että materiaalilla ei ole kompostointiprosessiin lainkaan negatiivisia vaikutuksia. Standardi vaatii materiaalilta myös alhaisen raskasmetallipitoisuuden. Materiaali määritellään kompostoitavaksi, jos kaikki edellä kuvatut ominaisuudet toteutuvat samanaikaisesti. (BioBag 2017.)

Todellista hyötyä biomuoveista on silloin, kun kompostoitavuus tai biohajoavuus antaa tuotteelle selvän lisäarvon. Niin kauan kuin raaka-aineet ovat tuotettavissa ympäristöä liian paljoa kuormittamatta ja muuten tehokkaasti, on biopohjaisuus selkeästi perusteltua. (Muoviteollisuus ry 2017a.) Ympäristön ja taloudellisuuden kannalta on erittäin tärkeää, että biomuoveja tuotetaan kestävästi ja niin, että ruokahävikki ei lainkaan kasva. Tuotteen biohajoavuus ja ympäristöystävällisyys menettävät merkityksen ja hyödyn, jos jokin muu elintärkeä osa-alue vaarantuu tai kärsii.

Biomuovien suosion kasvun tärkeinä elementteinä ovat biomuovien kehittyneisyys ja se, että niiden ominaisuudet ja suorituskyky alkavat olla samoja kuin valtamuoveilla. Myös yleinen kasvu ja kehitys uusiutuvaan suuntaan on tärkeä tekijä. Lopulta kuitenkin kuluttajat ja brändit päättävät, että ovatko he valmiita maksamaan biomateriaaleista hieman tavallisia enemmän ja käyttämään niitä. (Harlin, Kangas, Kärhä, Nyman & Pietilä 2017.) Jatkuvasti lisääntyvät ympäristönsuojeluvaatimukset, kompostointi ja jät-

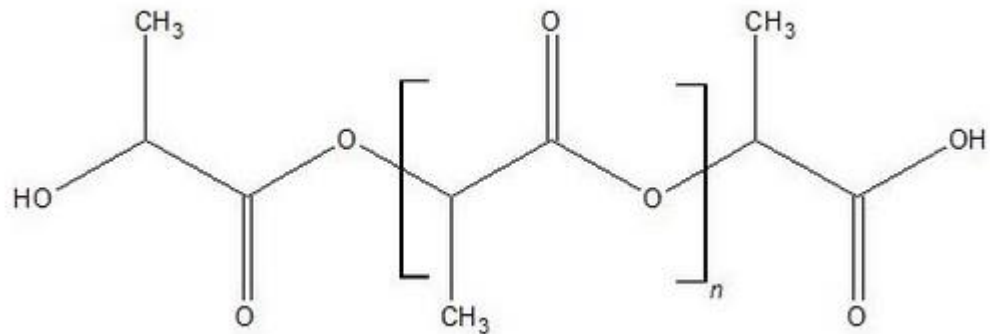
teenkäsittely sekä uudet innovaatiot, joita biohajoavat materiaalit mahdollistavat, kasvattavat biohajoavien muovien markkinoita yhä enemmän. Lääketieteen sovelluksissa biopolymeerien käyttö tulee varmasti olemaan keskeisessä ja tärkeässä osassa tulevaisuudessa. (Seppälä 2008, 231.)

Biomuovien osalta keskustelua herättää se, riittävätkö raaka-aineet niiden tuotantoon, ja viekö niiden tuottaminen viljelystilaa ruoalta. VTT:n professori Ali Harlin (2017) on vahvasti sitä mieltä, että raaka-aineet riittävät. Hän perustelee sen sillä, että on olemassa niin monia tapoja tuottaa biomuoveja, kuten ottamalla hiilidioksidia suoraan ilmasta. Se taas ei vie viljelyalaa.

Suurimpia esteitä ja haasteita biomuovien kasvun tiellä ovat tietämättömyys biomuoveista, vaikka kiinnostuneisuutta löytyy, biomuovien kalliimpi hinta sekä logistiset esteet. Biomuovit ovat niin sanotusti pieni tuote isojen joukossa. Kasvun hidasteena pidetään myös sitä, että nykyisillä valta-muoveilla on noin 70 vuoden etumatka tuotekehityksessä verrattuna biohajoaviin muoveihin. (Harlin ym. 2017.)

#### 5.4.1 Polylaktidi (PLA)

Polylaktidi on biohajoava polymeeri, joka perustuu luonnon raaka-aineisiin. Lähtöaineena polylaktidipolymeereissä on maitohappo. Polylaktidissa käytetty maitohappo on tavallisesti valmistettu bakteerikannoilla, jotka ovat teollisesti jalostettuja. Ravintonaan bakteerit käyttävät sakkaroosia tai glukosia. (Muovien kierrätys 2017.) Kuviossa 6 näkyy polylaktidin kemiallisen rakenteen kaava.



KUVIO 6. Polylaktidin (PLA) kemiallinen rakenne (Muovien kierrätys 2017)

Ominaisuuksiltaan polylaktidi vastaa hyvin paljon valtamuoveja, minkä johdosta sen valmistuksessa voidaan käyttää samoja menetelmiä kuin perinteisillä muoveilla. Oikeissa olosuhteissa polylaktidi kompostoituu täysin. Lämmön ja kosteuden vaikutuksesta se hajoaa nopeasti, mikä voi aiheuttaa haasteita valmistuksessa. Polylaktidin valmistusvaiheissa huolellinen ja hyvä kuivaus on huomioitava. (Muovien kierrätys 2017.) Huolimatta hajoavuudestaan polylaktidi on erittäin luja materiaali missä tahansa normaalissa sovelluksessa, kuten muovisena elektroniikkaosana (Creative Mechanisms 2016).

Polylaktidia on useita eri tyyppisiä, joita ovat muun muassa PLLA, PDLA sekä PDLLA. Niistä jokaisella on hieman erilaiset ominaisuudet, mutta ne kaikki on tuotettu uusiutuvista raaka-aineista (maitohappo  $C_3H_6O_3$ ). (Creative Mechanisms 2016.)

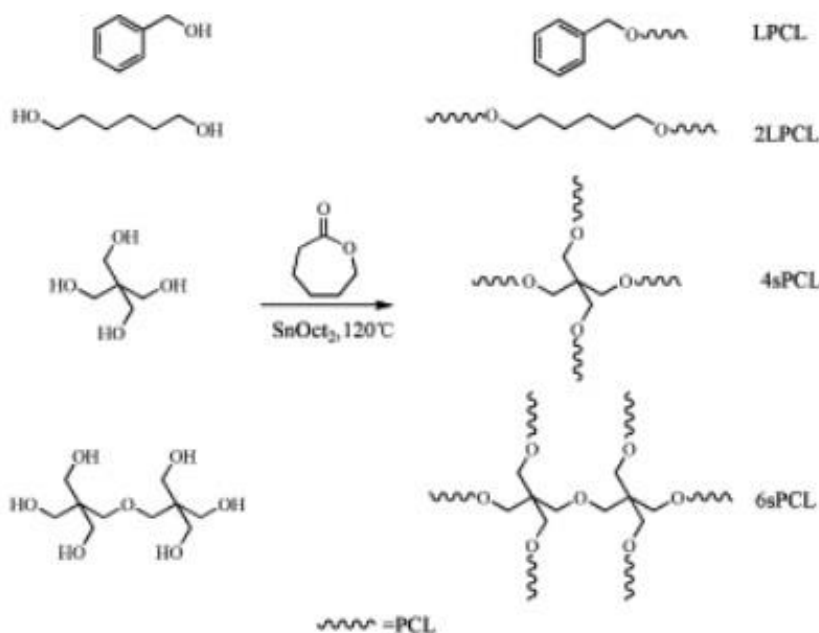
Polylaktidia voidaan valmistaa pääasiassa kahdella eri prosessilla, jotka ovat kondensaatio eli tiivistyminen sekä polymerointi. Yleisin polymerointitekniikka tunnetaan renkaanavautumispolymerointina. Prosessissa käytetään metallikatalyyttejä yhdessä laktidin kanssa, jotta saadaan muodostettua suurempia PLA-molekyylejä. Kondensaatioprosessi on samanlainen, mutta pääasiallisena erona on menettelyn aikainen lämpötila sekä sivutuotteet eli kondensaatit, jotka vapautuvat reaktion seurauksena. (Creative Mechanisms 2016.)

Ominaisuuksiltaan polylaktidi luokitellaan termoplastiseksi polyesteriksi. Termoplastinen viittaa tapaan, jolla muovi reagoi lämpöön. Termoplastiset materiaalit muuttuvat nestemäisiksi saavuttaessaan sulamispisteensä. Polylaktidin sulamispiste vaihtelee 150 ja 160 °C:n välillä. Termoplastisten materiaalien hyödyllinen ominaisuus on se, että niitä voidaan kuumentaa sulamispisteeseen, jäähdyttää ja kuumentaa uudelleen ilman merkittävää hajoamista. Palamisen sijaan kestopuovut, kuten polylaktidi, nesteytyvät, mikä mahdollistaa ruiskuvalamisen ja myöhemmin kierrätyksen. Kertamuoveja voidaan puolestaan kuumentaa vain kerran, tyypillisesti ruiskuvaluprosessin aikana. Polylaktidin lasittumislämpötila on suhteellisen alhainen, 45-65 °C. Siitä johtuen polylaktidi ei sovellu korkean lämpötilan soveluksiin. (Creative Mechanisms 2016.)

Polylaktidin ominaisuuksien ansiosta se on biohajoavista muoveista paljon käytetty ja suosituin. Sen käyttökohteita ovat hedelmien sekä vihannesten pakkaukset ja alustat sekä monet lämpömuovaussovellukset, kuten kylmien juomien pullot ja kupit. (Tavani 2017.) Hajoavuus rajaa yleensä käyttökohteita, aivan kuten kaikilla biohajoavilla muoveilla.

#### 5.4.2 Polykaprolaktoni (PCL)

Polykaprolaktoni kuuluu alifaattisiin polyestereihin. Materiaalin biohajoavuus huomattiin 1970-luvulla. Rakenteeltaan polykaprolaktoni on koostunut kemiallisin sidoksin toisiinsa liittyneistä monomeereistä. Monomeerin lineaarinen ketju sisältää yhden poolisen esteriryhmän sekä viisi metyleeniryhmää, jotka ovat poolittomia. Metyleeniryhmien takia polykaprolaktoni on täysin pooliton. Polymeerin liukenevuus riippuu poolisuudesta. (Aromaa 2010, 3.) Kuviossa 7 on esitetty polykaprolaktonin kemiallisen rakenteen erilaisia muotoja. Siinä näkyy eri rakennemuotoja lineaarisen ja kuuden sivuhaaran rakenteiden väliltä.

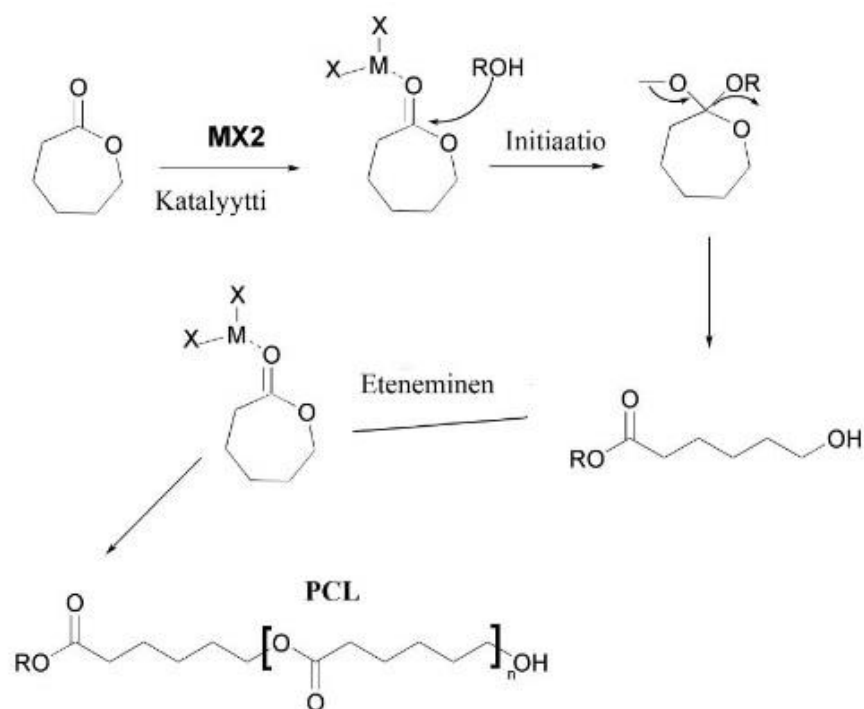


KUVIO 7. Polykaprolaktonin eri muotoisia kemiallisia rakenteita (Aromaa 2010, 4)

Polykaprolaktonin lineaarinen muoto on yleisimmin käytetty. Polykaprolaktonista voidaan tehdä myös tähtimuotoinen, mutta haaroittuneisuus alentaa polymeerin kiteisyyden määrää, sulamislämpötilaa sekä kylmäkiteytymisen lämpötilaa. Lisäksi polymeerin molekyylipaino kasvaa haarojen lisääntyessä. Tähtimuodolla on myös hidastava vaikutus polymeerin kiteytymiseen jäähdytettäessä. (Aromaa 2010, 4.)

Makrorakenteeltaan polykaprolaktoni on puolikiteinen polymeeri. Siinä on vuorotellen järjestäytyneitä tiiviitä polymeeriketjuaalueita sekä järjestäytymättömiä löyhiä amorfisia alueita. Nanorakenne on muodostunut viuhkamaisista kiteistä. Molekyylipaino vaikuttaa kiteisyyden määrään. Kun molekyylipaino kasvaa, kiteisyyden määrä vähenee. Polykaprolaktoni ei ole veden liukenevaa. Vedessä polymeeri kuitenkin turpoaa. (Aromaa 2010, 4-5.)

Polykaprolaktonin polymerointi tapahtuu  $\epsilon$ -kaprolaktonin avulla. Tuloksena on syklinen laktoni. Siinä asyyliiryhmän vieressä olevaan hiileen on happiatomi kiinnittyneenä. Vaihtelemalla erilaisia tekijöitä polymeroinnissa, voidaan valmistaa halutun muotoinen ja molekyyllipainoinen aine. Yleisin valmistustapa on kaprolaktonin renkaanavautuminen (kuvio 8). Katalyyteinä reaktiossa voidaan käyttää metalliorgaanisia aineita, kuten tetrafeenyylitinaa, tina-2-etyyliheksanoaattia tai tinadikloridia. Renkaanavautumisreaktio etenee vaiheittain, kunnes asyyliiryhmässä hapen kaksoissidos katkeaa, ja laktonirenkaaseen kiinnittyy initiaattori. Lopulta avautuu rengasrakenne, ja polymeroinnin edetessä metalli-happi-sidokseen kiinnittyy monomeeri. (Aromaa 2010, 5-7.)



KUVIO 8. Polykaprolaktonin renkaanavautumisreaktio (Aromaa 2010, 7)

Mekaanisilta ominaisuuksiltaan polykaprolaktone on hyvin elastinen. Sen murtovenymäprosentti vaihtelee 600 ja 800 %:n välillä. Polymeerin ra-

kenne on kiteisiltä alueilta luja ja amorfisilta alueilta sitkeä. Sulamislämpötilan ja lasisiirtymälämpötilan välillä tapahtuu kiteytyminen. Polykaprolaktonin vetolujuus lisääntyy, mitä suuremmaksi molekyyliaino kasvaa. Vetolujuutta laskevat haaroittuminen sekä kiteisyyden kasvaminen. (Aromaa 2010, 19-20.)

Termisiltä ominaisuuksiltaan polykaprolaktonin lämpötilat ovat alhaisia. Sulamislämpötila voi vaihdella 59 ja 61 °C:n välillä. Kiteisyyden määrä vaikuttaa sulamislämpöön. Lasinsiirtymälämpötila on -60 °C. Se on alhainen polymeerin lineaarisen rakenteen ja poolittomuuden takia. Lasinsiirtymälämpötila kasvaa molekyyliainon noustessa. (Aromaa 2010, 21.)

Polykaprolaktoni liukenee useisiin kloorattuihin liuottimiin, muun muassa kloroformiin. Liuottimet, jotka sisältävät aromaattisen-, nitro- tai halogeeniryhmän, voivat liuottaa polykaprolaktonia. Huoneenlämmössä polykaprolaktoni ei liukene alkoholeihin, mutta korkeammassa lämpötiloissa se saattaa liueta joihinkin alkoholeihin, kuten sykloheksanoliin ja n-butanoliin. (Aromaa 2010, 22.)

Polykaprolaktonin käyttökohteita voivat olla kompostoitavat astiat ja pussit, synteettiset kankaat ja nahka sekä lääketieteen sovellukset. Lääketieteessä polykaprolaktonia voidaan käyttää implanteissa, niveltynnyissä, ommelangoissa sekä hammasjuuren täyteaineissa. (Aromaa 2010, 16-18.)

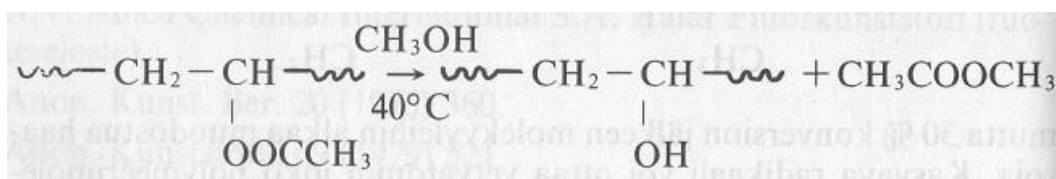
#### 5.4.3 Polyvinyylialkoholi (PVA)

Polyvinyylialkoholi on vesiliukoinen polymeeri, joka on valmistettu kemiallisesti. Polyvinyylialkoholista voidaan käyttää lyhenteitä PVA, PVOH sekä PVAL. Sen kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet riippuvat hydrolyysin sekä polymeroitumisen asteesta. (Evara 2017.) Polymeeri, joka sisältää asetaattiryhmiä, liukenee kylmään veteen. Täysin hydrolysoitu polymeeri puolestaan liukenee vain kuumaan veteen yli 85 °C:ssa. Veden lisäksi polyvinyylialkoholi liukenee vain harvoihin vetysidoksia muodostaviin nesteisiin, kuten glyseroliin, formamidiin ja eteeniglykoliin. (Tammela 1990, 87.)

Vinyylialkoholi muuttuu välittömästi kestäväksi tautomeeriksi asetaldehydiksi, eikä esiinny lainkaan vapaassa tilassa (kuvio 9). Lähtöaineena polyvinyylialkoholin valmistuksessa käytetään polyvinyyliasetaattia, josta poistetaan etikkahappoa. Polyvinyyliasetaatti hydrolysoituu helposti alkoholiliuoksissa, jotka sisältävät alkalia tai vettä ja happoa. Silloin kuitenkin saadun polyvinyylialkoholin puhdistus on vaikeaa. Alkoholyyysi metanoliliuoksessa (kuvio 10) on edullisin tapa tuottaa polyvinyylialkoholia. Siinä katalysaattorina käytetään pientä määrää natriummetoksidia, joka on emäs. (Tammela 1990, 86.) Sekä emäkset että hapot katalysoivat reaktiota, mutta tavallisesti käytetään emäksiä niiden nopeuden sekä vähempien sivureaktioiden takia (O'dian 2004, 748). Polymeeri saostuu geelinä metanolista. Se neutraloidaan etikkahapolla ja pestään metanolilla sekä kuivataan. (Tammela 1990, 86.)



KUVIO 9. Vinyylialkoholin muuttuminen tautomeeriksi asetaldehydiksi (Tammela 1990, 86)



KUVIO 10. Polyvinyylialkoholin valmistus alkoholyyysillä metanoliliuoksessa (Tammela 1990, 86)

Tavallisimpia kaupallisia päälaatuja on kaksi, joissa asetaattiryhmiä on jäljellä 11-13 % ja alle 1 %. Polyvinyylialkoholin molekyylikokoa pienentää

se, että alkoholyysissä asetaattiryhmien ohella polyvinyyliasetaatista irtoavat sellaiset haarat, joiden kasvu on lähtenyt liikkeelle asetaattiryhmistä. Moolimassat kaupallisissa laaduissa sijoittuvat välille 25 000-300 000 g/mol. (Tammela 1990, 86.)

Polymeerin tiheys on  $1,3 \text{ g/cm}^3$ , ja molekyylit ovat ataktisia rakenteeltaan. Kiteisyysaste voi nousta korkeaksi hydroksyyliiryhmien pienuuden takia. Sulamislämpötila puhtaalla polyvinyylialkoholilla on  $228 \text{ }^\circ\text{C}$ , ja 7 % asetyyliiryhmiä sisältävällä polyvinyylialkoholilla se on  $170 \text{ }^\circ\text{C}$ . Vetysidokset, jotka johtuvat hydroksyyliiryhmistä, edistävät kiteytymistä ja lujittavat polymeeriä. Pehmitettynä polyvinyylialkoholi on sitkeää, mutta tavallisesti se on lujaa ainetta. Lujuusominaisuudet ovat riippuvaisia kosteudesta ja hydrolyysias- teesta. Vetolujuus sellaisella kalvolla, joka sisältää täysin hydrolysoitua po- lymeeria, on kuivana 150 MPa. 50 %:n suhteellisessa kosteudessa varas- toituna vetolujuus on 80 MPa, asetaattipitoisuudella 11-13 % se on 120 MPa ja alle 1 % asetaattipitoisuudella 70 MPa. (Tammela 1990, 87.)

Polyvinyylialkoholin käyttökohteita voivat olla rasvankestävien papereiden pinnoitteet, liimojen paksunnosaine sekä bensiininkestävät tiivisteet, säiliöt ja letkut. Sitä voidaan käyttää myös kuiduissa ja tekstiileissä sekä paperin valmistuksessa. (Tammela 1990, 87.) Mahdollisia käyttökohteita ovat myös vesiliukoiset pakkaukset kylpysuolalle, valkaisuaineille sekä pesuai- neille (O dian 2004, 306). Polyvinyylialkoholi on myös kalvopäällysteaine. Lääketeollisuudessa sitä käytetään kapseleiden sekä tablettien päällystä- miseen. Lisäksi sitä käytetään ravintolisissä, jotka ovat kapseleina tai tab- letteina. Polyvinyylialkoholi on lisäaine, jolla on enimmäismäärärajoitus. Päivittäisenä hyväksyttävänä enimmäissaantina pidetään 50 mg/kg/vrk. (Evira 2017.)

#### 5.4.4 Muita soveltuvia biohajoavia materiaaleja

Biohajoavia muoveja ja materiaaleja on olemassa lukuisia erilaisia, joilla on kaikilla hieman erilaisia ominaisuuksia. Kasvikapselin pidikkeen materi- aaliksi voivat soveltua myös monet muut biohajoavat materiaalit, kuin mitä

tässä opinnäytetyössä on tutkittu. Seuraavassa on lueteltu muutamia vaihtoehtoisia, erityyppisiin aineisiin pohjautuvia biomateriaaleja, mutta niiden lisäksi markkinoilla on lukematon määrä muita biohajoavia materiaaleja.

Yhtenä vaihtoehtona voisivat olla puupohjaiset biomateriaalit. VTT on kehittänyt termoplastisen ligniinin, joka voisi korvata muovin komposiiteissa ja sekotteissa. Ligniinillä tarkoitetaan puun kuitujen sidosaineena olevaa biopolymeeriä. Termoplastinen ligniini on lämpömuokattava versio, joka on kehitetty kraft-ligniinistä. VTT tekee aktiivista tutkimusta termoplastisista ligniinikomposiiteista. (VTT 2017b.)

Myös Valmet ja Biochemtex ovat aloittamassa yhteistyötä liittyen ligniiniin ja sen muuttamiseen biokemikaaleiksi. Projektissa on tarkoitus hyödyntää LignoBoost- sekä Moghi-tekniikoita. Valmetin LignoBoost-tekniologialla puhdistettua ligniiniä erotetaan mustalipeästä, jota sellutehtaat ovat tuottaneet. Biochemtexin Moghi-tekniologialla ligniini voidaan muuntaa biokemikaaleiksi ja biopolttoaineiksi. Yhteistyöllä on tarkoituksena saada aikaan ligniinimarkkina sekä biokemianteollisuudelle raaka-ainetta käytettäväksi bioperäiseen termoplastiseen muoviin. (Valmet 2016.)

Paptic Oy on patentoinut puupohjaisen, kierrätettävän ja biohajoavan PAPTIC-puukuitumateriaalin. Materiaalin muovimaisten ominaisuuksiensa ansiosta sillä voisi korvata tavallisen muovin. Teknologia pohjautuu VTT:n pitkälinjaiseen kuitutuotteiden kehittämisen tutkimustyöhön. PAPTIC-materiaali on 70 prosenttia puukuitua ja tavoitteena on saada siitä 100 % biopohjainen. Yritys on melko tuore, ja materiaalin teollinen tuotanto voi olla vielä tällä hetkellä vähäistä. (Biotalous 2015.)

Eräs vaihtoehto biohajoavaksi materiaaliksi voisi olla leväpohjainen luonnonpolymeeri, paksunnosaineenakin käytettävä alginaatti. Alginaattia käytetään muun muassa ruoissa sakeutus-, emulgointi- sekä stabilointiaineena parantamaan elintarvikkeiden laatua. Materiaalina se on erittäin elintarvikekelpoinen, sillä se on myrkytön ja yksi turvallisimmista elintarvikelisiä aineista. Lisäksi alginaattia käytetään tekstiilien painatusväreissä, kosmetiikassa ja erilaisissa lääkesovelluksissa. (Kimica 2009.) Alginaatista

voidaan muotoilla kappaleita myös käsin, sillä materiaalina se on kumimainen. Alginaatti voi olla jauhemaisessa, veteen sekoitettavassa muodossa. (Materialshop 2017.)

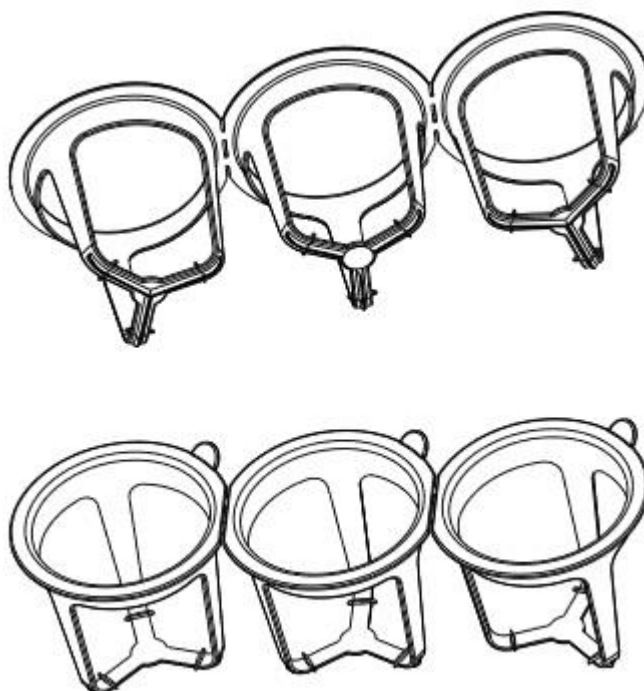
Novamont on kehittänyt täysin biohajoavat Mater-Bi-muovit. Ne pohjautuvat termoplastiseen tärkkelykseen (Saari 2014, 4). Muovi on peräisin nopeasti uusiutuvasta lähteestä, maissista, ja ominaisuuksiltaan se on sekä biohajoavaa että kompostoituvaa. Kompostoituminen on mahdollista maaperässä sekä makeassa ja suolaisessa vedessä. Mater-Bi-muovia voi muotoilla ja valmistaa käyttäen perinteisiä muovitekniikoita. (Lefteri 2008, 180-181.)

Mater-Bi-muoveja on neljää eri tyyppistä, ja ne jaetaan luokkiin Z, Y, V ja A. Z-luokan muoveissa on termoplastisen tärkkelyksen lisäksi poly- $\epsilon$ -kapolaktonia, ja niiden hajoamisaika suotuisissa olosuhteissa kompostissa on 20-45 päivää. Y-luokan muovit sisältävät selluloosajohdannaisia, ja ne hajoavat neljässä kuukaudessa. Luokan V muovit ovat 85 prosenttisesti termoplastista tärkkelystä, minkä johdosta ne biohajoavat ja liukenevat nopeasti. Luokan A muovit sisältävät eteenivinyylialkoholin kopolymeeria, ja ne biohajoavat kahdessa kuukaudessa jätevedenpuhdistuslaitoksen kaltaisissa olosuhteissa. (Saari 2014, 4-5.) Mater-Bi-muoveja voidaan käyttää monissa eri sovelluksissa, kuten elintarvikepakkauksissa, leluissa, vanupuikoissa, ostoskasseissa, biojätepusseissa, kynissä ja muissa kirjoitustarvikkeissa sekä useissa muissa käyttötarkoituksissa (Lefteri 2008, 181).

## 6 TESTIKAPPALEIDEN 3D-TULOSTUS

### 6.1 Kasvikapselin rakenne

Kasvikapselin pidike on rakenteeltaan pieni kehikkomainen kappale (kuvio 11), joka tällä hetkellä on valmistettu yleisesti käytetystä valtamuovista, polypropeenista. Kapselit on valmistettu ruiskuvalumuotilla.



KUVIO 11. Kapselin pidikkeen rakenne (Insinööritoimisto Petteri Oy 2017)

Ruiskuvalulla eli ruiskupuristuksella tarkoitetaan muovisten kappaleiden valmistusmenetelmää. Ruiskuvalumenetelmä on kestopuovisten eli sulattamisen jälkeen uudelleen muotoiltavissa olevien kappaleiden yleisin valmistustapa. Kestomuoveja ovat muun muassa PVC, PE ja PP. Ruiskuvalukoneella tehtävään valmistusprosessiin kuuluvat muovin plastisoiminen massaksi sekä sulaneen polymeerin ruiskutus yleensä teräksiseen muottiin, jossa muovi jähmettyy. (Kurri ym. 2008, 73-74.) Ruiskuvaluprosessi

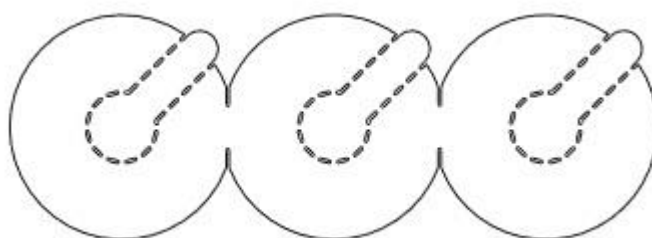
voidaan jakaa useisiin eri vaiheisiin. Aluksi muotin sulkuvaiheessa muottipuoliskot sulkeutuvat ja ruiskuvalukoneeseen muodostuu tarvittava sulkupaine. Seuraavaksi tapahtuu muovisulan ruiskutus muottiin suurella nopeudella. Jälkipaineen avulla loput muottipesästä täyttyy. Annostusvaiheessa ruuvia pyörittämällä annostellaan koneen sylinteriin uusi muovierä. Siinä materiaali plastisoituu ja on valmiina muottiin ruiskutettavaksi. Muovituotteen jäähtymisvaihe alkaa, kun jälkipaine loppuu. Jäähdytysaika on pitkäkestoisin ruiskuvalun vaiheista. Jäähdytymisen jälkeen muottipuoliskot aukeavat ja jäähtynyt kappale voidaan työntää ulos muottipesästä. Seuraavaksi tulee tauko-aika, minkä jälkeen uusi jakso voi alkaa. (Järvinen 2000, 106.)

Ruiskuvalussa käytettävät prosessointilämpötilat vaihtelevat aina työstettävän muovin mukaan. Halutun lopputuloksen saamiseksi muovimassan sekä ruiskuvalukoneen muotin lämpötilojen hallitseminen on tärkeää. Periaatteena on, että muotin lämpötila on alhaisempi kuin ruiskutettavan massan lämpötila. Muoveja on kuitenkin niin paljon erilaisia, että poikkeuksia-kin löytyy. Jotkut raaka-aineet vaativat muotin lämpötilaksi jopa 120 °C. Joka tapauksessa muovimassa on aina muottia kuumempaa. (Seppälä 2008, 281.) Jotkut muovit vaativat myös ruiskutettavalle massalle tavallista alhaisemman lämpötilan johtuen niiden matalasta sulamislämpötilasta. Muun muassa polykaprolaktonilla on hyvin alhainen sulamislämpötila verrattuna moniin muihin muoveihin. Tässä opinnäytetyössä testattavat PCL sekä PLA ovat biohajoavia kestopuoveja, ja ne sopivat ruiskuvaluun. Myös PVA soveltuu ominaisuuksiltaan ruiskuvalumenetelmään.

Menetelmänä ruiskuvalu on tarkoitettu lähinnä polymeerimateriaalien ja suurien tuotantomäärien prosessoimiseen. Ruiskuvalua voidaan käyttää termosettien ja termoplastien työstämiseen. Termosetti on lämmön avulla kovetettava materiaali, joka huoneenlämpötilassa on olomuodoltaan kiinteää ja pehmeää materiaalia tai viskoosia nestettä. Termoplasti eli termoplastinen polymeeri muuttuu nestemäiseksi lämpötilaa nostettaessa, ja päinvastoin lämpötilaa laskettaessa se muuttuu kiinteäksi. Muita vaatimuksia ruiskuvaltavalle materiaalille ovat muovattavuus paineen avulla sekä mahdollisuus tuottaa riittäviä virtausominaisuuksia. (Nykänen 2009.)

### 6.1.1 Kapselin kansi

Kapselin päällinen (kuvio 12) on paperimateriaalia, joka on liimattu elintarvikekontaktiin soveltuvalla liimalla kapseliin kiinni. Koska liima on osa elintarvikekäyttöön tarkoitettua tarviketta, se määritellään lainsäädännön mukaan myös elintarvikekontaktimateriaaliksi muovin tavoin. EU-tasolla liimoille ei kuitenkaan ole omaa yksityiskohtaista erityislainsäädäntöä. Elintarvikekontaktiliimoille on kaksi toisiaan täydentävää EU-asetusta, joissa perusvaatimukset on määritely. Toisessa asetuksessa edellytetään elintarviketurvallisuutta vaarantamattomia tuotteita, ja toisessa hyvien tuotantotapojen noudattamista eli vaatimuksenmukaisuuden osoittamista tuotteiden ja toiminnan osalta. (Järvenpää 2015, 1.)



KUVIO 12. Kapselin kansi, jossa on pois revittävä osa (Insinööritoimisto Petteri Oy 2017)

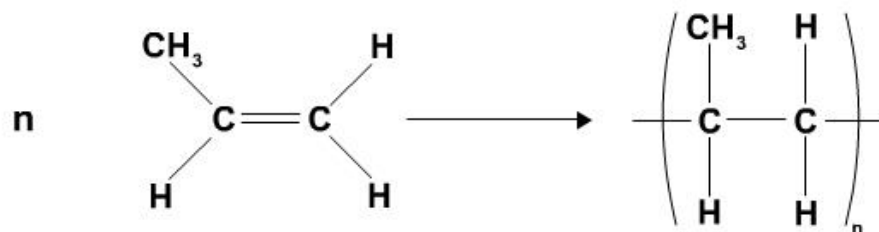
Elintarvikekäyttöön soveltuvia liimoja on useita. Elintarvikehyväksyntä vaatii liimoilta tarkat raaka-ainetiedot. Erilaisia raaka-aineita tarvitaan liimoihin muun muassa sideaineiksi, kovettimiksi, liuottimiksi, ohentajiksi, paksuntajiksi sekä pehmentäjiksi. Niillä voidaan vaikuttaa liimojen ominaisuuksiin. Liimoja voidaan jaotella kemiallisen koostumuksen, kovettumistavan, käyttökohteen, hinnan, fysikaalisen olotilan sekä toiminnon mukaan. Elintarvikepakkauksiin soveltuvat muun muassa polyvinyylisetaattiin (PVAc) pohjautuvat liimat, sillä niiden terveydelliset haittavaikutukset ovat vähäisiä. Lisäksi ne ovat hyvin kestäviä, värittömiä sekä kohtuuhintaisia. (Järvenpää 2015, 29-30.)

Lämpimässä muovautuvat sulateliimat ovat myös elintarvikekontaktiin so-  
pivia. Ne voivat pohjautua eteenivinyyliaasettiin (EVA), polypropeeniin  
(PP), eteeniakrylaattiin (EEA) tai polyamidiin (PA). Sulateliimat ovat omi-  
naisuuksiltaan nopeasti kiinnittyviä, helposti levitettäviä, liuotteettomia  
sekä ympäristöystävällisiä. (Järvenpää 2015, 30.)

Päällinen on tällä hetkellä otettava osittain pois, ennen kuin kapseli asetee-  
taan Smart Garden -laitteeseen. Tarkoituksena on saada kapselin pidik-  
keestä sekä kannesta biohajoavia niin, että kantta ei tarvitse erikseen  
poistaa ennen kasvatustuotetta, ja kapselista syntyvä jäte on kokonai-  
suudessaan kompostoituvaa. Todennäköisesti muovista kantta ei enää  
tarvitsisi liimata, vaan sen pystyisi jollakin tavoin saumaamaan kapselin pi-  
dikkeeseen kiinni.

### 6.1.2 Polypropeeni (PP)

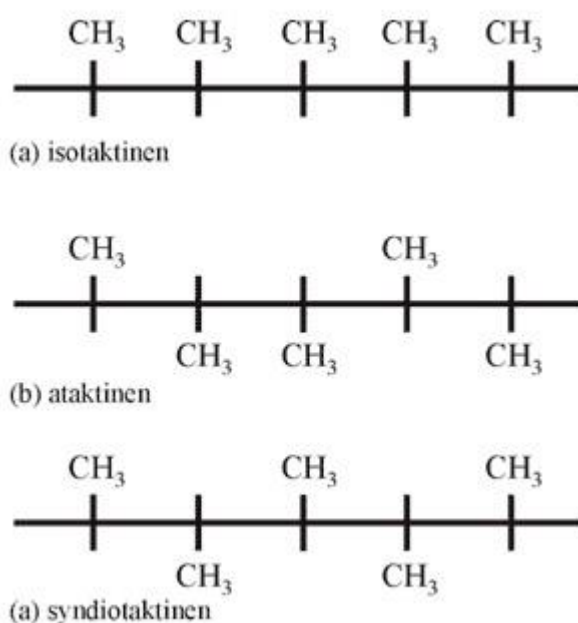
Polypropeeni on muovi, jota valmistetaan propeenista. Propeeni on orgaa-  
ninen yhdiste, jota syntyy maaöljyn jalostuksen ja eteenin valmistuksen si-  
vutuotteena. Propeeni on herkästi syttyvä kaasu. Sen kiehumispiste on  $-48$   
 $^{\circ}\text{C}$  ja jähmettymispiste on  $-185,2$   $^{\circ}\text{C}$ . (Tammela 1990, 42.) Kuviossa 13 on  
esitetty propeenin reaktio, jossa syntyy polypropeenia.



KUVIO 13. Reaktio, jolloin propeeni muuttuu polypropeeniksi (B Squared  
Future 2017)

Polypropeenin valmistuksen juuret ovat Italiassa, kun professori Giulio Natta valmisti ensimmäisen muoviksi soveltuvan polypropeenin. Hän kehitti Zieglerin katalysaattoriyhdistelmiä, joita hän sovelsi eteeniä korkeampien olefiinien polymerointiin. Olefiinit ovat alkeeneja eli kaksoissidoksellisia hiilivetyjä. (Tammela 1990, 42.)

Käytetyn katalysaattorin mukaisesti propeenin polymeroinnissa voi päätuotteeksi muodostua polymeerin kolme eri rakennemuotoa, jotka ovat ataktinen, isotaktinen tai syndiotaktinen (kuvio 14). Yleisimmin kaupallisesta polypropeenista yli 90 % on isotaktista muotoa ja loput ataktista rakennetta. (Tammela 1990, 43.)



KUVIO 14. Polypropeenin eri rakennemuodot (Tampereen teknillinen yliopisto 2005)

Muoville hyödylliset lujuusominaisuudet syntyvät isotaktisen rakenteen korkeasta kiteisyysasteesta (Tammela 1990, 43). Metyyliryhmät ovat

isotaktisen polypropeenin polymeeriketjun samalla puolella. Ataktinen polymeeri on heikkoa sekä kiinteää eli amorfista ainetta. Ataktisessa rakenteessa sivuryhmät ovat satunnaisesti järjestyneet molemmiin puolin ketjua. Syndiotaktisen polypropeenimuodon metyyliiryhmät puolestaan ovat järjestelmällisesti vuorotellen eri puolin polymeeriketjua. (Tampereen teknillinen yliopisto 2005.)

Polypropeenin valmistus tapahtuu matalassa paineessa käyttämällä Ziegler-Natta katalysaattoreita. Katalyytin valinta vaikuttaa siihen, syntyykö polymeeroinnissa ataktista, isotaktista vai syndiotaktista polypropeenia. Monissa kaupallisissa polypropeenilaaduissa on käytetty titaanikloridikatalyyttiä. Pääasiassa silloin muodostuva polypropeeni on isotaktista. Polypropeenia, jolla on korkeampi moolimassa, saadaan valmistettua metalloseenikatalyyteillä. Silloin syntyvän polypropeenin ominaisuudet ovat paremmat. (Technical University of Gabrovo 2003.)

Kiteisyysaste polypropeenilla vaihtelee välillä 40-60 %, mutta lämpökäsittelyllä 150 °C:ssa sitä voidaan nostaa 70 %:iin. Kiteisyyteen vaikuttavat isotaktisen polymeerin määrä sekä molekyylien suuruus. Mitä suurempia molekyylit ovat, sitä vaikeampaa kiteytyminen on. Olosuhteiden mukaan polypropeeni voi kiteytyä kolmessa erilaisessa kidemuodossa. Kiteisyyden määrä ja molekyylien suuruus vaikuttavat polypropeenin mekaanisiin ominaisuuksiin. Jäykkyys, kovuus ja myötörajan jännitysarvo kasvavat, kun kiteisyysaste suurenee. Kun taas moolimassa kasvaa, niin aineen venyvyys ja sitkeys lisääntyvät ja tiheys puolestaan alenee. (Tammela 1990, 44-45.)

Polypropeenin sulamislämpötilat vaihtelevat välillä 150-175 °C. Hajontaan vaikuttavat polymeerien laatueroavaisuudet sekä mittausmenetelmät. Lukukeskimääräiset moolimassat kaupallisissa polypropeeneissa vaihtelevat 38 000-200 000 g/mol välillä, ja painokeskimääräiset moolimassat välillä 200 000-700 000 g/mol. Huoneenlämmössä polypropeeni ei liukene mihinkään liuottimeen. (Tammela 1990, 45.)

Pääasiallisia polypropeenin työstömenetelmiä ovat ruisku- ja suulakepuristus. Polypropeenin käyttökohteita voivat olla säiliöt, pullot, pakkauslaatikot,

sterilisoitavat lääkepakkaukset, kuidut, taloustavarat, kalvot, putket, matot sekä köydet. (Tammela 1990, 46.)

## 6.2 3D-tulostus

Tähän tutkimukseen kapselin valmistusmenetelmäksi valittiin 3D-tulostus. Testattaviksi materiaaleiksi kapseliin valittiin biohajoavista muoveista polylaktidi, polykaprolaktoni sekä polyvinyylialkoholi. Kannen materiaaliksi valikoitui polyvinyylialkoholi, sillä se on vedessä hajoavaa materiaalia, ja näin ollen se on paras vaihtoehto päällisen materiaaliksi, sillä se hajoaa ennen kuin kasvi ehtii aloittaa kasvamisen.

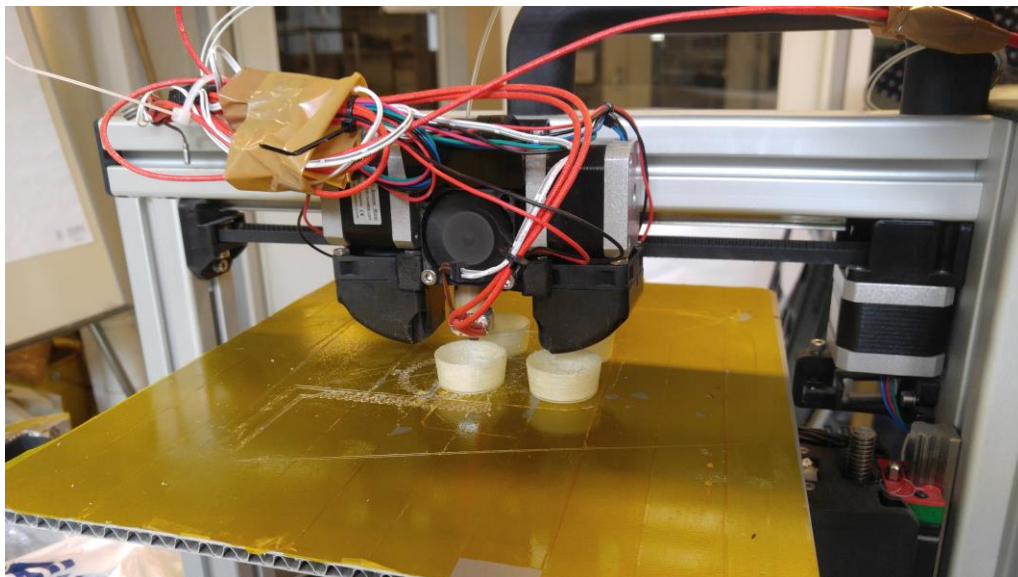
Polylaktidi ja polyvinyylialkoholi olivat valmiina tulostettavassa nauhamaisessa muodossa, kun taas polykaprolaktonista piti aluksi tehdä 3D-tulostettavaa nauhaa granulaateista eli rakeista. Polykaprolaktonia yleensä prosessoidaan pienemmissä lämpötiloissa kuin useita muita muoveja, sillä sen sulamislämpötila on niin alhainen. Nauhan työstölämpötila oli noin 100 °C.

Testikappaleiden materiaaleista kaikki ovat muoveja, joita voidaan 3D-tulostaa. 3D-tulostus valikoitui kappaleiden valmistustavaksi kustannussyistä ja sen helppouden vuoksi. Menetelmä oli materiaaleille sopiva sekä paras järjestelyiden kannalta. Käytännössä kappaleiden tulostukset tapahtuivat Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan alan muovilaboratorion tiloissa, jossa 3D-tulostimet sijaitsevat.

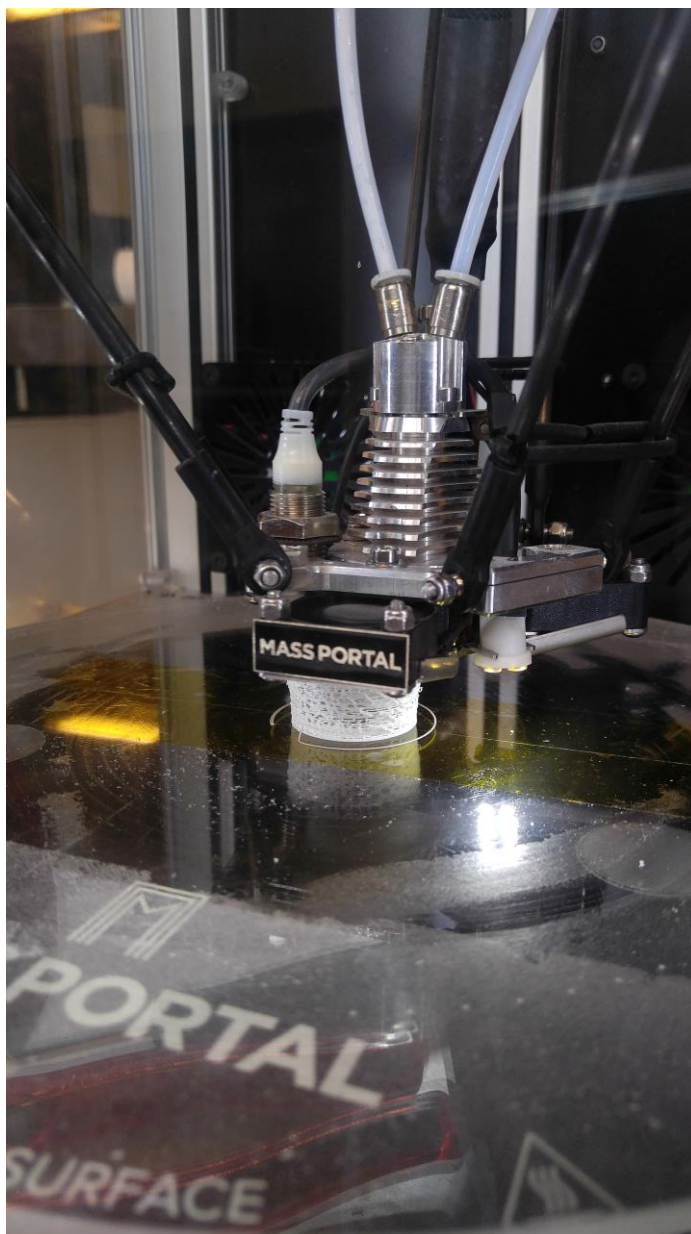
3D-tulostuksella tarkoitetaan kappaleen kolmiulotteista tulostamista. Lopputuotteena on siis fyysinen, halutun mallinen tuote. Ennen kuin kappaleita voidaan alkaa tulostaa, se täytyy suunnitella ja mallintaa kolmiulotteisuuden perustuvalla suunnitteluohjelmistolla tietokoneella. Mallinnusohjelmana voidaan käyttää 3D-CAD (Computer-Aided Design) suunnitteluohjelmisto SolidWorksia. Tässä opinnäytetyössä tulostusta varten kappaleen malli ja mitat otettiin oikeasta kasvukapselistä, minkä jälkeen kapseli ja kansi mallinnettiin tietokoneella. Tietokoneella malli on muutettava STL-tiedostoksi. Jotta tulostin pystyy käsittelemään ja tulostamaan kappaleen,

niin ensin kappale on viipaloitava (slice) kerroksiksi tulostusohjelman avulla. Lämpötila, tulostusnauhan paksuus sekä muut säädöt asennetaan juuri tulostettavalle materiaalille sopiviksi. Tässä työssä käytettävillä muoveilla tulostuslämpötila oli noin 200 °C, ja tulostusnauhan paksuus oli 0,75 mm. Poikkeuksena polykaprolaktonia yritettiin tulostaa 100 °C asteessa alhaisen sulamislämpötilansa takia, mutta niin alhaisella lämpötilalla tulostin ei saanut sitä tulostettua eli materiaali ei ollut tarpeeksi kuumaa, jotta se olisi pursottunut suuttimesta ulos. Sen vuoksi polykaprolaktoniakin jouduttiin tulostamaan samassa lämpötilassa kuin muita muoveja.

Kun tulostimen säädöt ovat oikein ja materiaali asennettu paikoilleen, niin tulostus voidaan aloittaa. Kuvissa 1 ja 2 näkyy kappaleiden tulostusta eri tulostimilla. Tulostuksen kokonaiskestoon vaikuttavat muun muassa materiaali ja sen säädöt, kuten kuinka monta kerrosta tulostin yhdellä kierroksella tekee, ja myös se, kuinka monta kappaletta tulostetaan samaan aikaan. Kappaleet onnistuivat tulostamalla muuten hyvin, mutta polykaprolaktoni ehti sulaa valmistusvaiheessa korkean lämpötilan takia niin paljon, että kappaleet eivät pysyneet koossa. Siitä johtuen PCL -kappaleita piti muotoilla tulostuksen jälkeen kuuman veden alla käsin paremmiksi. Muotoilun jälkeen ne jäähmettyivät, ja lopulta niistä saatiin ihan hyvin testaukseen sopivia.



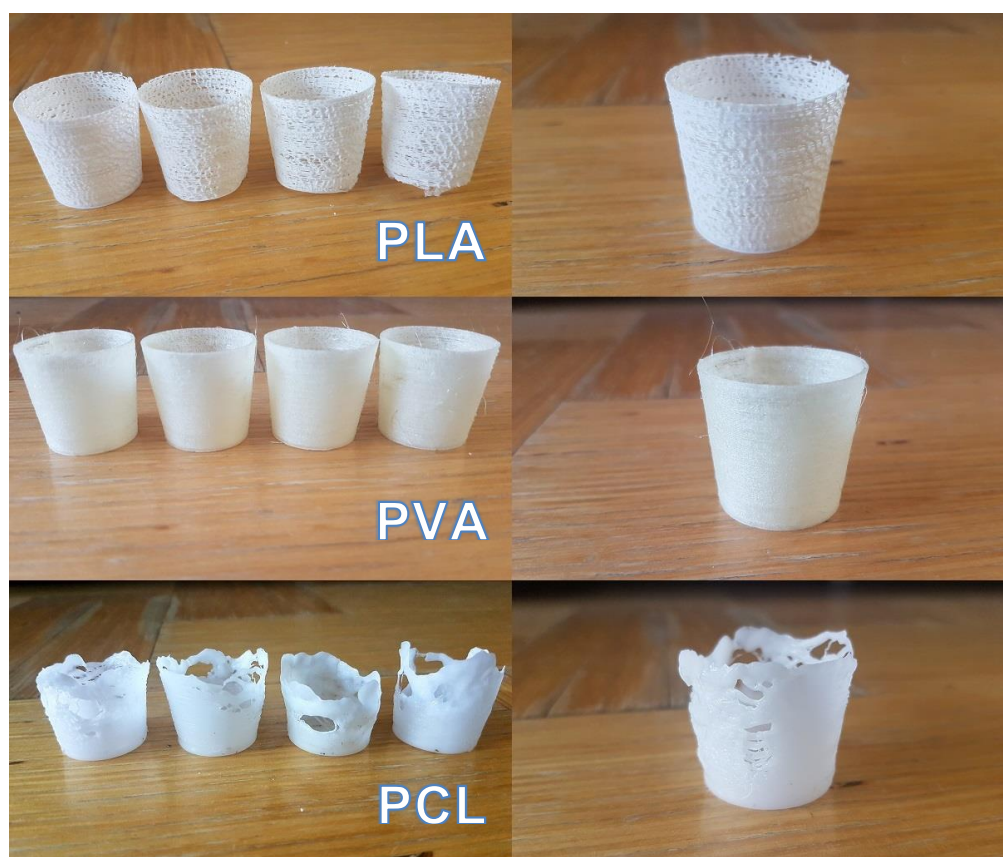
KUVA 1. PVA-kappaleiden tulostusta



KUVA 2. PLA-kappaleiden tulostusta

Kuvassa 3 näkyvät kaikki tulostetut kappaleet, ylimpänä PLA, keskellä PVA ja alimpana PCL. Kaikkiaan siis jokaista muovia tulostettiin neljä kappaletta. Sivuilla on kuvat jokaisesta muovilaadusta yksittäin. Tulostetut kappaleet eroavat muodoltansa hieman alkuperäisistä oikeista kapseleiden pidikkeistä, sillä mallinnuksen ja tulostuksen kannalta umpinainen malli oli parempi. Käytännössä testin kannalta muodolla ei ole vaikutusta,

sillä älypuutarhassa vallitsevat olosuhteet vaikuttavat biohajoaviin muoveihin samalla tavalla huolimatta siitä, minkä mallinen kappale on. Kannet onnistuivat myös tulostamalla. Eri tulostimilla tulostettaessa kansista tuli hie- man eri paksuisia keskenään, minkä seurauksena puolet kansista tulivat paksummiksi ja puolet ohuemmiksi. Näin testaukseen saatiin myös kan- sien osalta vaihtelua. Tulostetut kannet näkyvät kuvassa 4.



KUVA 3. Kaikki tulostetut valmiit kappaleet



KUVA 4. Kaikki tulostetut polyvinyylialkoholikannet

3D-tulostusta voidaan kutsua myös materiaalia lisääväksi valmistukseksi, AM-tekniikaksi tai pikavalmistukseksi. Tulostustekniikoita sekä tulostettavia materiaaleja on useita erilaisia. 3D-tulostettavia materiaaleja voivat olla erilaiset muovit, metallit ja metalliseokset, paperi, betoni, kipsi sekä monet muut materiaalit. Tulostusmenetelmiä ovat muun muassa pursotustekniikka, lasersintraus, stereolitografia ja laminated object manufacturing -tekniikka. Eri tekniikoilla voidaan tulostaa eri materiaaleja erilaisilla periaatteilla. (Rissanen & Pekkanen 2014, 11.)

3D-tulostusta pidetään osana digitaalista vallankumousta, sillä se vaikuttaa teollisuuden rakenteeseen ja toimintatapoihin (VTT 2017a). 3D-tulostuksen avulla on mahdollista valmistaa tuotteita monilla eri teollisuuden aloilla ja useista eri materiaaleista. Sen johdosta tulevaisuudessa 3D-tulostusmenetelmät ja -sovellukset lisääntyvät varmasti.

## 7 KOEJÄRJESTELYT JA TUTKIMUKSET

### 7.1 Tutkimusmenetelmät

Tässä opinnäytetyössä tärkeimpänä tutkimusmenetelmänä on visuaalinen havainnointi eli mahdolliset muutokset testikappaleiden ulkonäössä ja rakenteessa tutkimusprosessin aikana. Lisäksi tutkimusmenetelminä käytetään viikoittaisia veden happamuuden eli pH-arvon sekä sähkönjohtavuuden mittauksia kokeen eri vaiheissa. Mittauksilla voidaan seurata ja havainnoida muun muassa sitä, kuinka hapanta, emäksistä tai mineraalipitoista vesi testijakson aikana on. Arvoista voidaan päätellä, onko niillä mahdollisesti joitakin vaikutuksia testikapselien muoveihin vai ei.

Veden pH-arvolla kuvataan vetyionien määrää eli happamuutta. Neutraalina lukemana pidetään arvoa 7. Jos pH on alle 7, vesi on hapanta. Yli 7 oleva arvo kertoo veden emäksisyydestä. Asteikko ulottuu arvosta 0 arvoon 14. Happamassa vedessä on suurempi pitoisuus hiilidioksidia kuin emäksisessä vedessä. Näin ollen emäksisessä vedessä puolestaan on enemmän happea kuin happamassa vedessä. Suomessa talousveden suositeltu pH-arvo on lukemien 6,5 ja 9,5 välillä eli suhteellisen neutraalista melko emäksiseen. (Aqva 2016.)

Sähkönjohtavuudella voidaan ilmaista liuenneiden suolojen eli mineraalien määrää vedessä. Veden korkean suolapitoisuuden voi määrittellä suuresta sähkönjohtokyvystä, jolloin sähkönjohtavuuden arvo on korkea. Vesi johtaa sitä paremmin sähköä, mitä enemmän siinä on liuenneita suoloja. Korkea veden suolapitoisuus voi aiheuttaa korroosiota muun muassa vesilaitteille. Suomessa laatusuosituksena juomavedelle sähkönjohtavuuden arvon tulisi olla enintään 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Vesistöissä erilaiset ravinteet lisäävät sähkönjohtavuutta. (Aqva 2016.) Sähkönjohtavuutta kuvaava mittayksikkö voi vaihdella tilanteen mukaan, mutta tässä työssä yksikkönä käytetään  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Kasteluvetenä on käytetty normaalia vesijohtovettä, johon on lisätty kasvukapseleiden mukana tullutta jauhemaista ravinnetta.

Arvojen mittaamisessa käytetään elektronista mittaria, jossa on samassa pH- ja sähkönjohtavuuselektrodit. Ennen jokaista mittauskertaa elektrodit kalibroidaan, jotta tulokset olisivat mahdollisimman luotettavia. Testauksessa on käytetty kolmea eri materiaalia, joita jokaista on neljä testikappaletta eli yhteensä 12, jotta rinnakkaisnäytteitä on riittävästi. Kannet ovat kaikki samaa materiaalia ja niitä on jokaiselle kappaleelle omansa, yhteensä 12 kappaletta. Puolet kansista ovat paksumpia ja puolet huomattavasti ohuempia.

Tutkimusta varten käytössä on Smart Garden -älypuutarha, jossa on 12 paikkaa kasvikapseilleille. Koejärjestelyt aloitettiin 2.6.2017 niin, että oikeista kapselin pidikkeistä otettiin sisällä oleva kivivillamainen materiaali (kuva 5) ja siemenet pois, ja ne siirrettiin testipidikkeisiin. Myös testikannet aseteltiin paikoilleen kapselien päälle. Sen jälkeen testikapselit asetettiin Smart Garden -laitteeseen (kuva 6). PVA-kapselit jäivät hieman koholle, sillä ne olivat kovempaa laatua eivätkä asettuneet yhtä hyvin kuin muut kappaleet, vaikka mitat olivat kaikissa keskenään täysin samat.



KUVA 5. Alkuperäiset kasvikapselit sisältöineen ja kansineen



KUVA 6. Testikappaleet valmiina kolmen kuukauden koejaksoon

Testaukseen valittiin mukaan 3-5 viikossa, 5-8 viikossa sekä 8-12 viikossa itäviä kasveja. Laitteen käyttöohjeessa suositellaan valitsemaan keskenään samaan tahtiin itäviä kasveja, mutta tämän tutkimuksen kannalta kasvien laadulla ei ole suurta merkitystä. Laitteen pohjalle mitattiin kolme litraa vettä sekä kolme lusikallista kasviravinnetta käyttöohjeen mukaan.

Lopuksi laitteeseen kiinnitettiin virtajohto sekä asetettiin päälle hattu, jossa kasvien tarvitsemat valot sijaitsevat. Virtajohto laitettiin pistorasiaan, jolloin tutkimus voitiin aloittaa. Koejärjestelyn aikana valaistus oli hämärä. Lisäksi kattoikkunasta tuli hieman luonnonvaloa. Tutkimuksen kesto oli yhteensä kolme kuukautta, ja se toteutettiin Lahden ammattikorkeakoulun Niemen Kampuksen laboratoriossa.

## 7.2 Mittaukset ja visuaalinen havainnointi

Ensimmäiset pH-arvon sekä sähkönjohtavuuden mittaukset suoritettiin koejärjestelyiden aloituspäivänä. Mittalaite kalibroitiin, ja elektrodit huuhdeltiin puhdistetulla vedellä ennen varsinaisia mittauksia. pH- ja sähkön-

johtavuus -elektrodit upotettiin Smart Garden -laitteen pohjalla olevaan veteen yhtä aikaa. Mittauksen tuloksena saatiin pH-arvoksi 6,17, joka on asteikossa happaman puolella. Sähkönjohtavuudeksi mitattiin 2300  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### 7.2.1 Ensimmäinen kuukausi

Viikon kuluttua ensimmäisistä mittauksista suoritettiin seuraavat mittaukset sekä kapseleiden havainnointi. pH-arvo oli hieman noussut, ja tulokseksi saatiin 6,57. Sähkönjohtavuus oli 2270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  eli lähes sama kuin ensimmäisellä kerralla. Polyvinyylialkoholikapselit olivat viikossa pehmenneet sen verran, että niitä sai työnnettyä syvemmälle melkein sopivalle korkeudelle. Kaikki kannet olivat myös pehmentyneet. Muille kapseleille ei visuaalisesti ollut tapahtunut viikon aikana vielä mitään. Vettä lisättiin vähän, jotta polyvinyylialkoholi pehmenisi vielä enemmän, ja kapselit saisi asettumaan kunnolla. Myös ravinteita lisättiin, koska vesimäärä on iso ja kapseleita on niin monta.

Seuraavan viikon mittauksissa sähkönjohtavuus oli noussut, ja tuloksena oli 3070  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . pH oli puolestaan laskenut arvoon 6,38. Visuaalisesti PVA-kapselit olivat hajonneet jo erittäin paljon niistä kohdista, jotka ovat kosketuksessa veteen eli kapseleiden alaosista. Hajoamisen seurauksena kivivillamainen sisältö oli irrallaan eikä enää kapselin tukemana. Ohuimmat kannet olivat hajonneet myös paljon. Niistä oli tullut jopa niin harsomaisia, että kasvi saattaa pystyä kasvamaan siitä läpi. PLA sekä PCL olivat säilyneet ennallaan saman näköisinä ja muotoisina. Vettä ja ravinteita ei lisätty. Ensimmäinen korotuspala asetettiin laitteeseen, jotta kasvit mahtuvat hyvin kasvamaan.

Kolmen viikon jälkeen molemmat arvot olivat nousseet edellisistä. Sähkönjohtavuus oli 3120  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja pH oli 6,43. PVA-kapselit olivat alaosistaan hajonneet jo kokonaan, joten kasvit eivät olleet niissä päässeet juurikaan kasvamaan. Yläosat olivat niissä vielä koossa, sillä ne eivät ole kosketuksessa veteen. Paksummat kannet olivat vielä ennallaan, mutta ohuimmat olivat hajonneet jo niin paljon, että kasvi pääsi jopa kasvamaan siitä läpi. PCL-kapselit eivät olleet visuaalisesti muuttuneet, mutta PLA-kapseleissa

oli jo huomattavissa pientä muutosta hauraamman tuntuisiksi, mutta siitä huolimatta ne olivat vielä kestäviä ja pysyivät hyvin kasassa. Vettä ja ravinteita lisättiin vähän.

Seuraavalla viikolla visuaalisesti kapseleissa ei ollut tapahtunut merkittäviä muutoksia. Toinen korotuspala lisättiin, koska osa kasveista oli jo kasvanut niin korkeiksi. Vettä ja ravinteita ei tarvinnut lisätä. Sähkönjohtavuudeksi mitattiin 3560  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja pH-arvoksi saatiin 6,59. Kumpikin arvoista oli noussut edellisestä mittauskerrasta. Tässä vaiheessa kapselit olivat olleet kuukauden verran testauksessa, ja muovit vaikuttivat hyvin kestävilta lukuun ottamatta polyvinyylialkoholia. Liitteessä 1 näkyvät ensimmäisen kuukauden eli kesäkuun mitatut arvot taulukoituina. Visuaaliset havainnot ensimmäiseltä kuukaudesta ovat viikoittain koottuina liitteessä 2.

### 7.2.2 Toinen kuukausi

Heinäkuun ensimmäisellä viikolla testijakson ensimmäisen kolmanneksen jälkeen arvot olivat jälleen nousseet. Sähkönjohtavuudeksi mitattiin 4370  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja pH-arvoksi mitattiin 7,23 eli pH oli jo emäksisen puolella. PVA-kapseleiden yläosa oli pehmentynyt viime kerrasta selvästi, mutta se ei ollut lähelläkään täysin hajonnutta. Muut kapselit olivat pysyneet tukevin ja olivat enitisellään. PCL-kapselia pystyi kuitenkin painamaan hieman syvemmälle. Kansissa ei ollut tapahtunut merkittäviä muutoksia. Vettä lisättiin noin 0,5 litraa, sillä sitä näytti olevan melko vähän säiliössä. Ravinteita ei lisätty lainkaan, koska säiliön pohjalla näytti olevan ravinnetta liukene mattomana. Juuria oli kasvanut jo melko paljon veteen ja säiliön pohjalle asti.

Seuraavalla viikolla testijakso oli jo puolessa välissä. Olosuhteet älypuutarhassa vaikuttivat erittäin kosteilta, ja kasvit olivat ottaneet vettä ja kasvaneet todella paljon. Sähkönjohtavuudeksi saatiin 4670  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja pH-arvoksi 7,71. Molemmat arvot olivat siis jälleen nousseet edellisistä. Kapseleissa ei viime kerran jälkeen ollut tapahtunut huomattavia muutoksia. PCL- sekä PLA-kapselit vaikuttivat yhä tukevilta ja kestävilta. Vettä lisättiin kaksi litraa ja ravinnetta neljä lusikallista, sillä vesi oli säiliössä todella vähissä.

Seuraavan eli seitsemännen testiviikon jälkeen sekä sähkönjohtavuus että pH olivat laskeneet edellisestä mittauskerrasta. Sähkönjohtavuus oli 4270  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja pH-arvo oli 7,56. PVA-kapseleissa kasvit olivat kasvaneet huonoinen verrattuna PLA- ja PCL-kapseleihin. Siihen oli todennäköisesti syynä se, että PVA-kapselit eivät olleet pysyneet alaosaan koossa, ja yläosaakin vaikutti hauraalta. PLA-kapseleissa kasvit olivat kasvaneet parhaiten, ja polylaktidi materiaalina vaikutti kaikista tukevimmalta. Vettä lisättiin 0,5 litraa, sillä säiliössä oli jälleen melko vähän vettä.

Kahdeksannen viikon jälkeen sähkönjohtavuudeksi mitattiin 4740  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , mutta pH-arvo jäi mittaamatta kalibroinnin epäonnistumisen takia. Kalibrointiliuokset olivat vanhentuneet ja tästä syystä pH-mittaus tehtiin tuoreiden kalibrointiliuosten kanssa 1.8., jolloin tulokseksi saatiin 7,79. Arvot olivat siis edelleen nousseet. Kapseleissa ei visuaalisesti ollut tapahtunut muutoksia edelliseen kertaan verrattuna. Kaksi PCL-kapselia kuitenkin kiinnitti huomion, sillä niissä kasvit olivat aivan ruskeita ja kuolleen näköisiä. Siihen ei kuitenkaan välttämättä muoveilla ole ollut vaikutusta. Kaikki toisen kuukauden eli heinäkuun mitatut arvot näkyvät liitteessä 1. Mukana on elokuun ensimmäisenä päivänä mitattu pH-arvo, sillä sitä ei saatu virheen takia samana päivänä sähkönjohtavuuden kanssa. Liitteessä 3 on esitelty visuaaliset havainnot toiselta kuukaudelta.

### 7.2.3 Kolmas kuukausi

Elokuun ensimmäisellä viikolla eli testivaiheen viimeisen kolmanneksen alussa sähkönjohtavuus oli huomattavasti laskenut koko heinäkuun arvoihin verrattuna, kun taas pH-arvo oli jälleen noussut edellisestä mittauskerrasta. Sähkönjohtavuudeksi mitattiin 3060  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja pH-arvoksi saatiin 7,92. PLA-kapselit vaikuttivat tukevimmilta ja olivat ennallaan. PVA-kapselit olivat erittäin pehmeitä edelleen, ja myös PCL-kapseleissa oli havaittavissa selkeää haurastumista, sillä ainakin yhdessä niistä oli alkanut lohkeilla paloja. Vettä lisättiin litran verran ja ravinteita kaksi lusikallista.

Seuraavan viikon mittauksissa sähkönjohtavuudeksi saatiin 3590  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja pH-arvoksi 7,75. Sähkönjohtavuus oli siis noussut, mutta pH-arvo puolestaan oli hieman laskenut. Testikapseleiden ulkonäössä ei ollut oikeastaan lainkaan muutoksia edelliseen kertaan. PLA-kapselit tuntuivat edelleen tukevimmilta verrattuna kahteen muuhun materiaaliin. Vettä lisättiin säiliöön 0,5 litraa.

Seuraavalla viikolla eli 11. viikolla molemmat arvot olivat nousseet edellisistä mittauksista. Sähkönjohtavuus oli 3690  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja pH-arvo oli 7,94. Kapseleissa ei ollut tapahtunut huomattavia muutoksia edelliseen kertaan verrattuna. PLA-kapselit tuntuivat melko kovilta, kuten aiemminkin. Muut kapselit olivat jo melko huteran ja osittain hajonneen oloisia. Laitteen säiliöön lisättiin hieman yli litra vettä ja ravinnetta lisättiin kaksi lusikallista.

Kolmannen kuukauden lopussa eli testijakson viimeisellä viikolla arvot olivat pysyneet suunnilleen samoina viime kertaan verrattuna. Sähkönjohtavuudeksi mitattiin 3740  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ja pH-arvoksi 7,86. Viimeisellä havaintokerralla testikapselit otettiin laitteesta pois, jotta voitiin lopulta selvästi nähdä koko kolmen kuukauden aikana niissä tapahtuneet muutokset. Liitteessä 4 näkyvät kaikki viikoittaiset havainnot koko kolmannen kuukauden ajalta. Liitteessä 1 ovat kaikki elokuun arvot taulukoituina.

PCL-kapselit olivat tahmeita ja märkiä. Alaosistaan ne olivat suhteellisen kovia, mutta muuten ne halkeilivat koko rungoistaan jonkun verran. Kapselien huonoon kuntoon saattoi osaltaan vaikuttaa niiden reikäisyys ja epämuodostuneisuus jo kapselien valmistusvaiheessa. PCL-kapseleissa kasvit olivat kasvaneet huonoiten ja jääneet lyhyimmiksi verrattuna muissa testikapseleissa kasvaneisiin kasveihin. Kuvassa 7 näkyvät osa PCL-kapselien alaosista muutoksineen. Kasvikapseleiden materiaaliksi PCL on näiden havaintojen perusteella todennäköisesti liian haurasta ja hajoavaa. PVA-kapselit puolestaan olivat todella hajonneita, sillä niistä olivat enää vain pelkät yläosat eli puolet koko kapseleista jäljellä. Veteen kosketuksissa olleet alaosat olivat hajonneet jo testijakson alkuvaiheessa. Kapselien alaosista ei ollut enää mitään havaittavissa, joten ne olivat ilmeisesti liuenneet ja hävinneet täysin kasteluveden sekaan. Puoliksi hajonnut PVA-

kapseli näkyy kuvassa 8. PVA ei siis tämän tutkimuksen perusteella sovi kasvikapselin materiaaliksi, sillä vedessä se hajoaa täysin. PLA-kapselit taas olivat säilyneet lähes muuttumattoman näköisinä (kuva 9). Ne tuntuivat kuivilta ja suhteellisen kestäviltä. Kapselit hieman kärsivät ja repeilivät laitteesta pois otettaessa, sillä kasvien pitkät juurakot olivat työntyneet niitiukasti kapselisiin ja niistä läpi. Havaintojen perusteella PLA voisi olla potentiaalinen vaihtoehto ominaisuuksiensa ja kestävyytensä puolesta materiaaliksi kasvikapseliin.



KUVA 7. PCL-kapselit kolmen kuukauden testijakson jälkeen



KUVA 8. PVA-kapselin ehjänä säilynyt yläosa



KUVA 9. Kolmen kuukauden jälkeen hyvin säilyneet PLA-kapselit

Kansista paksummat olivat säilyneet kovina ja muuttumattomina, sillä ne eivät missään vaiheessa olleet kosketuksissa veteen. Testijakson alkuvaiheessa kasvit työnsivät kannet kapselien päältä pois, sillä kannet olivat päällä irrallaan. Ohuemmat kannet olivat hieman kurtistuneet ja repeilleet. Yksi ohut kansi oli säilynyt kasvin varren ympärillä, ja siitä kannesta kasvi

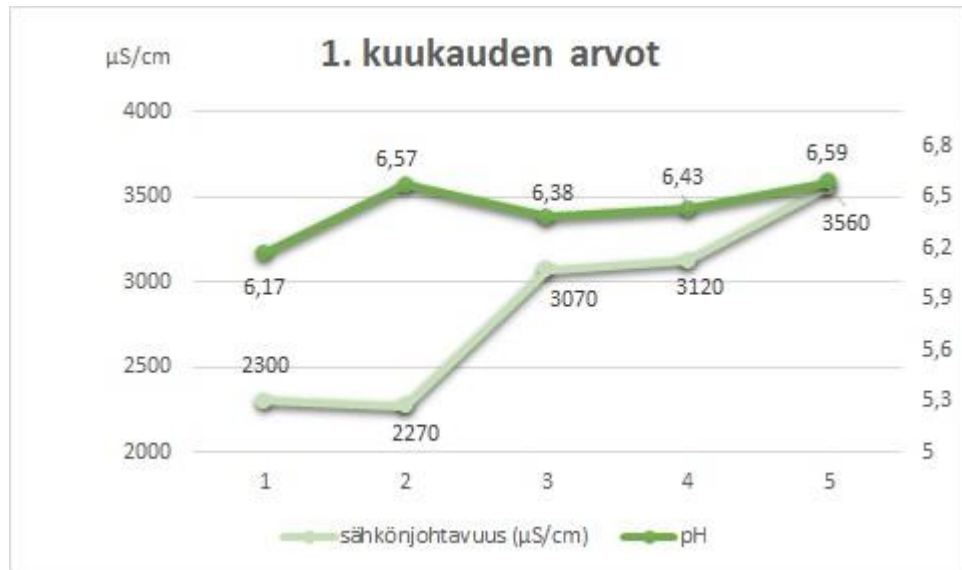
oli päässyt kasvamaan läpi (kuva 10). Yksi ohuista kansista puolestaan oli hävinnyt kokonaan, sillä sitä ei löytynyt laitteen purkuvaiheessa mistään. Todennäköisesti kansi oli kulkeutunut kapselien sisällön kautta veteen tai sotkeutunut kasveihin niin, että sitä ei ollut enää havaittavissa.



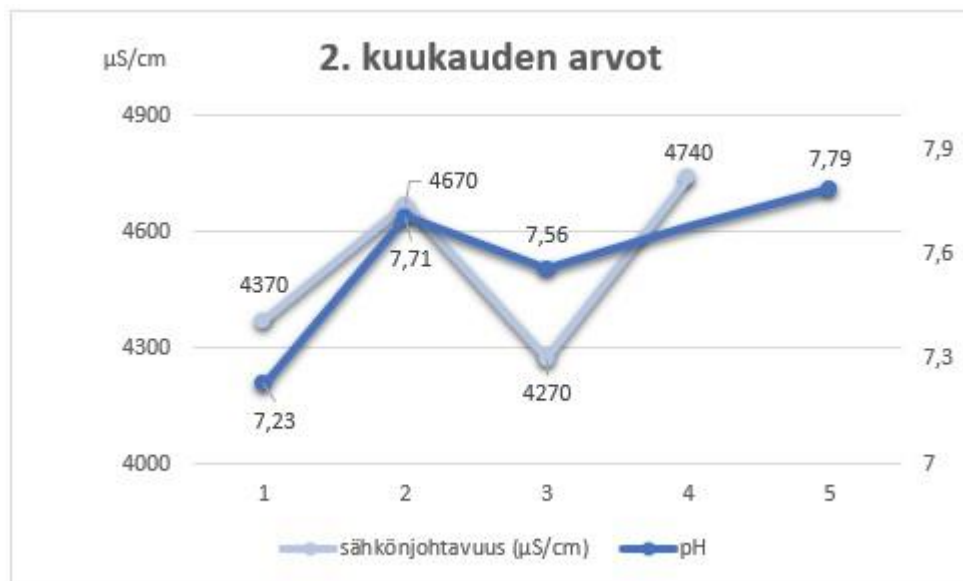
KUVA 10. Ohut kansi, josta kasvi on päässyt kasvamaan läpi

### 7.3 Tulokset ja johtopäätökset

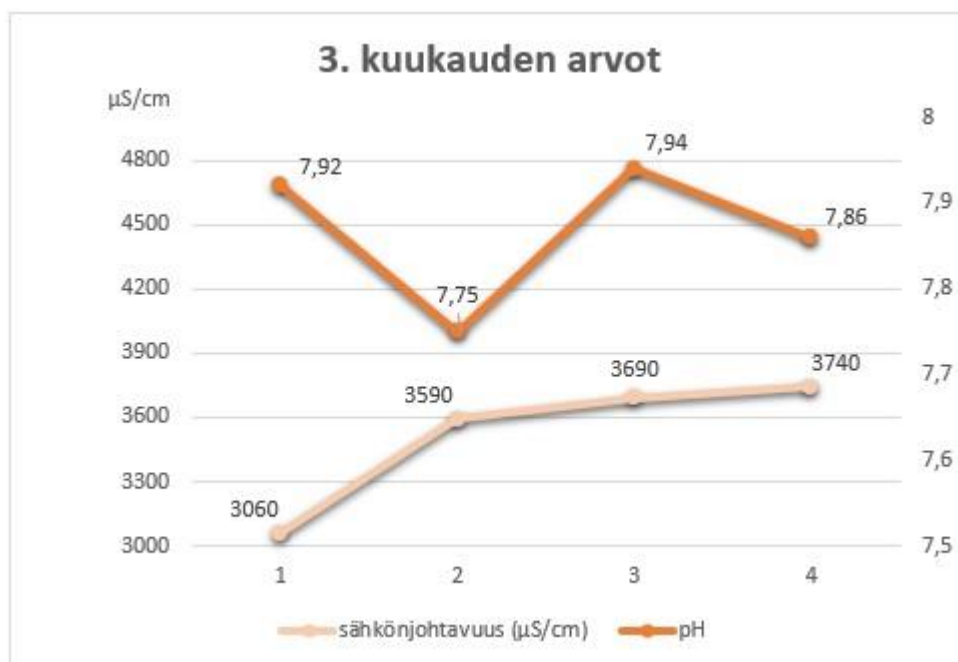
Kolme kuukautta eli tasan 12 viikkoa kestäneen koejakson aikana havainnoitiin aina viikoittain testikapseleissa mahdollisesti tapahtuneita muutoksia ja muita huomioita sekä mitattiin laitteen vesisäiliössä olevan kasteluveden pH-arvo ja sähkönjohtavuus. Kuvioissa 15, 16 ja 17 on esitetty kaikki mitatut arvot jokaiselta kuukaudelta.



KUVIO 15. Testijakson ensimmäisen kuukauden aikana mitatut pH- ja sähkönjohtavuusarvot



KUVIO 16. Testijakson toisen kuukauden aikana mitatut pH- ja sähkönjohtavuusarvot



KUVIO 17. Testijakson kolmannen kuukauden aikana mitatut pH- ja sähkönjohtavuusarvot

Pääpiirteittäin veden analysoinnista voidaan todeta, että veden pH oli koko kolmen kuukauden jakson aikana lähellä neutraalia. Jakson alussa vesi oli hieman happaman puolella, ja loppua kohden se kääntyi jonkin verran emäksiseen suuntaan. Koska pH-arvo oli koko testijakson ajan neutraalin molemmin puolin, niin sillä ei todennäköisesti ollut mitään merkittävää vaikutusta itse kapselisiin.

Sähkönjohtavuus kasvoi kahden ensimmäisen kuukauden aikana suhteellisen tasaisesti joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta. Kolmannen kuukauden alussa sähkönjohtavuus yhtäkkiä laski hieman, mutta jatkoi taas nousuaan viimeisen kuukauden aikana. Arvojen muutoksiin saattoivat vaikuttaa kasvien kasvu ja niiden ravinteiden käyttö sekä juurakoiden kasvaminen. Alkuvaiheessa vesi oli vielä suhteellisen puhdasta, mutta pikkuhiljaa jakson aikana se alkoi samentumaan luonnollisesti kasvien kasvaessa ja ravinteita lisättäessä sekä eräiden testikapselien hajotessa. Nämä seikat ainakin osaltaan selittävät sen, että loppuvaiheessa arvojen nousu ei ollut enää niin tasaista kuin alkuvaiheessa.

Koko testijakson aikana tapahtuneisiin arvojen notkahduksiin ja muihin muutoksiin vaikuttivat todennäköisesti monet eri tekijät yhdessä. Niitä voivat olla muun muassa ajoittainen ravinteiden ja vesijohtoveden lisäys sekä kasveista ja niiden kasvualustana toimivasta kivivillamaisesta aineesta sekä mahdollisesti itse testikapseleista irronneet aineet. Ainakin PVA-kapselit olivat hajonneet niin paljon, että kapseleista ja niiden sisällöistä varmasti liukeni aineita veteen.

Tuloksena kolme kuukautta kestäneen tutkimuksen perusteella voidaan siis todeta, että testatuista muoveista polylaktidi voisi soveltua kasvikapselin materiaaliksi, mutta polykaprolaktoni ja polyvinyylialkoholi eivät ominaisuuksiltaan ja käyttäytymiseltään sovi siihen käyttötarkoitukseen. Kaikki kapselit kolmen kuukauden testijakson jälkeen näkyvät kuvassa 11. Kannen materiaaliksi polyvinyylialkoholi voisi hyvinkin sopia, mikäli kansi olisi todella ohut, kuten tässä tutkimuksessa ohuimmat kannet olivat. Kannessa ei saisi kuitenkaan olla lainkaan reikiä tai muita koloja, jotta siemenet eivät pääsisi tippumaan pois. Ohuilla kansilla oli kuitenkin taipumusta kurtistua, joten toisaalta olisi selvitettävä, miten kannet käyttäytyisivät, jos ne olisivat saumattu tai liimattu kapseliin kiinni.



KUVA 11. Kaikki testikapselit koejakson päätyttyä

#### 7.4 Biohajoavien muovien kustannusten määräytyminen

Muovien käytöstä aiheutuviin kustannuksiin vaikuttavat monet eri tekijät, ja näin ollen mitään valmiita hintoja tai hintavertailuja ei voida esittää. Muovien tapauksessa hintojen rakentuminen tapahtuu aina myyjän ja ostajan välisen sopimuksen kautta. Muovien hinnoille ei ole pörssiä tai mitään muuta julkista noteerauspaikkaa, vaikka joitakin ammattilehdissä, kuten Plastics Information Europe (PIE), koottuja haastattelutietoja muovien hintatasoista onkin olemassa. (Kärhä 2017.)

Hintaseurantoja ei kuitenkaan ole tehty biomuoveista tai biohajoavista muoveista. Yleisen tiedon mukaan biomuovit ovat perinteisiä muoveja kaltevia, vaikka se tosin on vaikeasti todennettavissa. Kustannusten kannalta suuntaa antavia näkökohtia kuitenkin ovat biomuovien suurempi yksikköoperaatiotarve ja pienemmät volyymit, kaikki prosessitekniset seikat sekä raaka-ainelogistiikka. Pienellä volyyymilla tarkoitetaan pienemmän mittakaavan teollisuutta, ja yksikköoperaatioilla puolestaan kemianteollisuudessa tapahtuvia operaatioita ja reaktioita. Voidaan siis todeta, että joka tapauksessa biomuoveista on oltava valmis maksamaan merkittävän paljon enemmän kuin valtamuoveista, joita saadaan tuotettua petrokemian sivuvirtana. (Kärhä 2017.) Petrokemiolla tarkoitetaan liuotinkemikaaleja, muoveja sekä muovien raaka-aineita maakaasusta ja öljynjalostusteollisuuden sivuvirroista valmistavaa teollisuudenalaa (Kurri ym. 2008, 222).

Jotta tulevaisuudessa biohajoavien muovien hinta saadaan kilpailukykyiseksi, on niiden valmistuskapasiteetti saatava riittävän suureksi sekä muovit ominaisuuksiltaan tehokkaammiksi. Lisäksi pitkällä tähtäimellä öljyn tullessa rajalliseksi sen hinnan nousu voi vaikuttaa biohajoavien muovien kysyntään sekä hintaan. Myös ihmisten tietoisuuden lisääntyminen koskien ympäristöasioita voi vaikuttaa biohajoavien muovien kilpailukykyyn parantamiseen. (Asikainen 2016, 18.)

## 8 YHTEENVETO

Muovijätteen vähentämisessä sekä puhtaan luonnon säilyttämisessä ihmisten asenteilla ja teoilla on erittäin suuri merkitys. Materialismiin keskittyneessä yhteiskunnassa pienetkin muutokset edistävät ympäristöongelmien ratkaisua. Koska muovia tuotetaan maailmassa kymmeniä miljardeja kiloja vuosittain ja meriin päätyvä osuus on useita miljoonia tonneja, niin keinoja muovin vähentämiseksi todella tarvitaan. Biohajoavuuden ansiosta osa muovijätteestä päätyy kompostoitavaksi ja häviää aikanaan kokonaan. Kompostoituminen ja sitä kautta häviäminen riippuu kuitenkin aina olosuhteista, sillä hajoamiseen voi kulua jopa useita kymmeniä vuosia.

Biohajoavat materiaalit pakkauksissa ja muissa kulutustavaroissa ovat kuitenkin todella suuri edistysaskel ympäristön säästämässä, ja niiden käyttö yleistyy jatkuvasti. Kehitystyötä biohajoavien muovien ja muiden materiaalien parissa tehdään koko ajan, minkä johdosta uudet käyttötarkoitukset ja sovellukset lisääntyvät tulevaisuudessa. Biohajoaville muoveille pyritään saamaan samankaltaisia, monipuolisia ominaisuuksia kuin valtamuoveilla on, ja osa biohajoavista onkin jo hyvin lähellä niitä, muun muassa tässä opinnäytetyössä testattu polylaktidi. Vaikka biohajoavilla muoveilla on vielä pitkä matka yhtä suureen suosioon kuin valtamuoveilla, niin jokainen askel on kuitenkin edistystä oikeaan suuntaan. Ympäristön kannalta oikeanlaisilla pakkauksilla ja ihmisten tietoisuuden sekä asenteiden ja kierrätystottumusten parantuessa valtamuovien käyttöä sekä muovijätteen määrää on mahdollista ajan myötä vähentää.

Pakkausteollisuus on eräs isoimmista osa-alueista, joissa muoveja ja biohajoavia materiaaleja käytetään. Lisäksi kyseiset materiaalit yleensä ovat tekemisissä elintarvikkeiden kanssa. Elintarvikkeen kanssa kontaktissa olevilla materiaaleilla on Suomessa Euroopan unionin alueella tarkat säädökset, joita tulee noudattaa. Joillakin materiaaleilla, kuten muoveilla, on lisäksi omat erityissäännöksensä. Suomessa on useita eri viranomaisia, jotka valvovat näitä säädöksiä. Ylimpänä elintarvikealan viranomaisista on Evira.

Biohajoavuus ominaisuutena on ympäristöystävällisyyttä edistävä, mikäli sillä saadaan tuotteeseen merkittävää lisäarvoa. Biohajoavien pakkausten on täytettävä tiettyjen standardien vaatimukset, jotta ne voidaan luokitella kompostoituviksi tai biohajoaviksi. Jotta biohajoavaksi määritelty tuote hajoaisi sille ominaiseen tapaan, olosuhteiden on oltava hajoamisprosessin kannalta suotuisat. Täydellinen hajoaminen vaatii myös aikaa riippuen siitä, mikä biohajoava materiaali on kyseessä.

Lisäksi biohajoavilta muoveilta voidaan vaatia erityyppisiä ominaisuuksia riippuen käyttökohteesta. Sellaisiin sovelluksiin, joissa vaatimuksena on maatuminen, tarvitaan muoveja, jotka tuotteen elinkaaren ja käyttöolosuhteiden aikana hajoavat hitaasti tai ei lainkaan. Kompostointiolosuhteissa muovin taas tulee hajota nopeasti. Lääketieteellisissä sovelluksissa käytettävien biohajoavien muovien ominaisuuksien on puolestaan oltava erilaisia. Niiden on oltava elimistön kanssa yhteensopivia, erittäin puhtaita sekä hajotessaan lähellä elimistön omia materiaaleja. (Järvinen 2000, 58-59.)

Tarkoituksena tässä opinnäytetyössä oli saada Smart Garden -älypuutarhassa käytettävä muovinen kapselin pidike kansineen biohajoavaksi. Materiaalivaihtoehdoiksi valittiin kolme eri biohajoavaa muovia, PLA, PCL sekä PVA. Opinnäytetyön käytännön osuus koostui testikappaleiden valmistuksesta 3D-tulostuksella sekä koejärjestelyiden valmistelusta ja kolmen kuukauden pituisesta, kontrolloidusta testausjaksosta mittauksineen ja havaintoineen laboratoriossa.

3D-tulostuksessa haasteina olivat ongelmat tulostinten toimivuudessa sekä materiaaleista polykaprolaktoni, jota Lahden ammattikorkeakoulun muovilaboratorion laitteilla ei oltu aikaisemmin tulostettu. Johtopäätöksenä PCL:n 3D-tulostuksesta voidaan todeta, että kyseinen muovi ei ominaisuuksiensa puolesta sovellu kovin hyvin tulostamiseen. Luultavasti siitä johtuen se onkin harvemmin 3D-tulostuksessa käytetty materiaali. Alhaisemmillä lämpötiloilla tulostaminen saattaisi joissakin olosuhteissa onnistua, vaikka tässä opinnäytetyössä sitäkin kokeiltiin. Materiaalilla oli ongelmia ulostulossa tulostimen suuttimesta ilmeisesti liian alhaisen lämpötilan

takia. PCL:n 3D-tulostaminen vaatii lisää testausta ja tutkimuksia. Ruiskuvalumenetelmä sopii todennäköisesti PCL:n työstämiseen paremmin. Lopulta kuitenkin kaikista muoveista saatiin tehtyä valmiit ja käyttötarkoitukseen riittävän onnistuneet testikappaleet. Tulostuksessa ilmenneiden ongelmien vuoksi opinnäytetyön käytännön osuuden aikataulu hieman venyi alun perin suunnitellusta. Tulostusongelmien seurauksena kappaleet valmistuivat vasta toukokuun lopussa, ja koejakson aloittaminen siirtyi kesäkuun alkuun, mutta siitä ei varsinaisesti ollut haittaa.

Koejärjestelyt sekä kappaleiden testausvaihe kokonaisuudessaan onnistuivat hyvin. Käytännössä testivaihe suoritettiin viikoittaisilla kappaleiden havainnoineilla ja veden sähkönjohtavuuden sekä pH-arvon mittauksilla. Kaikkien havaintojen perusteella polylaktidi voisi olla parhaiten soveltuva materiaali kasvukapseliin tässä opinnäytetyössä testatuista kolmesta eri materiaalista. Kanteen voisi soveltaa polyvinyylialkoholia, mikäli se valmistettaisiin hyvin ohueksi.

Ehdotuksena sopivaksi aiheeksi jatkotutkimuksen kannalta voisi olla kapselit sisältävien muovisten pussien kehittäminen biohajoaviksi tai jotenkin muuten ympäristöystävällisemmiksi. Lisäksi hyvä jatkotutkimuksen aihe voisi olla tässä opinnäytetyössä testattujen materiaalien biohajoavuuden ja kompostoitumisen tutkiminen.

## LÄHTEET

Aromaa, H. 2010. Polykaprolaktonin käyttö ja ominaisuudet biomateriaalina. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö [viitattu 5.5.2017]. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/6780/aromaa.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Asikainen, T. 2016. Muovien kierrätyksen eri vaihtoehdot. Helsingin yliopisto. Kandidaatintutkielma [viitattu 10.7.2017]. Saatavissa: [http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/Asikainen\\_T\\_2016\\_kandidaatin\\_tutkielma.pdf](http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/Asikainen_T_2016_kandidaatin_tutkielma.pdf)

Aqva 2016. Mitä vedessäni on? [viitattu 31.7.2017]. Saatavissa: [https://www.aqva.fi/Mit\\_vedess\\_ni\\_ono/ekauppa/g323/](https://www.aqva.fi/Mit_vedess_ni_ono/ekauppa/g323/)

B Squared Future 2017. Polychloroethene [viitattu 16.6.2017]. Saatavissa: [http://www.bsquaredfutures.com/pluginfile.php/274/mod\\_imsdp/content/1/lo\\_5-1-scorm/lo\\_5-1-scorm/page4.html](http://www.bsquaredfutures.com/pluginfile.php/274/mod_imsdp/content/1/lo_5-1-scorm/lo_5-1-scorm/page4.html)

BioBag 2017. Biohajoava ja kompostoitava [viitattu 28.6.2017]. Saatavissa: <https://biobagworld.com/fi/ymparisto/biohajoava-ja-kompostoitava/>

Biotalous 2015. Papticin puupohjainen materiaali korvaa muovia [viitattu 17.5.2017]. Saatavissa: <http://www.biotalous.fi/papticin-puupohjainen-materiaali-korvaa-muovia/>

Britannica 2017. Racemate [viitattu 20.6.2017]. Saatavissa: <https://www.britannica.com/science/racemate>

Chem 2017. Tautomerism [viitattu 20.6.2017]. Saatavissa: <http://www.chem.ox.ac.uk/vrchemistry/nor/notes/tautomers.htm>

Creative Mechanisms 2016. Everything you need to know about polylactic acid (PLA) [viitattu 8.5.2017]. Saatavissa: <https://www.creativemechanisms.com/blog/learn-about-polylactic-acid-pla-prototypes>

Elintarvikelaki 23/2006.

Eur-Lex 2015. Komission asetus elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista kierrätysmuovimateriaaleista ja -tarvikkeista 282/2008 ja asetuksen (EY) N:o 2023/2006 muuttamisesta, ETA:n kannalta merkityksellinen teksti [viitattu 26.6.2017]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:02008R0282-20151026&rid=1>

Eur-Lex 2016. Komission asetus elintarvikkeiden kanssa kosketukseen joutuvista muovisista materiaaleista ja tarvikkeista 10/2011, ETA:n kannalta merkityksellinen teksti [viitattu 26.6.2017]. Saatavissa: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?qid=1478074785483&uri=CELEX:02011R0010-20160914>

Evira 2016a. Elintarvikelainsäädäntö [viitattu 11.7.2017]. Saatavissa: <https://www.evira.fi/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/lainsaadanto/>

Evira 2016b. Elintarvikevalvonta [viitattu 26.6.2017]. Saatavissa: <https://www.evira.fi/elintarvikkeet/tietoa-elintarvikkeista/valvonta/>

Evira 2016c. Komission asetus (EU) N:o 10/2011 elintarvikekelpoisesta muovista [viitattu 18.4.2017]. Saatavissa: <https://www.evira.fi/elintarvikkeet/valmistus-ja-myynti/kontaktimateriaalit/komission-asetus-eu-no-102011-elintarvikekelpoisesta-muovista/>

Evira 2016d. Kontaktimateriaaleja koskeva valvontaohje [viitattu 18.4.2017]. Saatavissa: [https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/lo-makkeet-ja-ohjeet/elintarvikkeet/kontaktimateriaalit/eviran\\_ohje\\_17018\\_3\\_fi.pdf](https://www.evira.fi/globalassets/tietoa-evirasta/lo-makkeet-ja-ohjeet/elintarvikkeet/kontaktimateriaalit/eviran_ohje_17018_3_fi.pdf)

Evira 2017. E1203 - Polyvinyylialkoholi (PVA) [viitattu 3.5.2017]. Saatavissa: <https://www.evira.fi/elintarvikkeet/tietoa-elintarvikkeista/koostumus/elintarvikeparanteet/lisaaaineet/e-koodit/e1203/>

Harlin, A., Kangas, T., Kärhä V., Nyman, T. & Pietilä, A. 2017. Plastics are bio. Paneelikeskustelu Lahden Muovi&Pakkaus -messuilla 20.4.2017.

Helmenstine, A. 2014. Acetate definition [viitattu 20.6.2016]. Saatavissa: <https://www.thoughtco.com/definition-of-acetate-604737>

ICIS 2007. Polyethylene – high density (HDPE) [viitattu 27.9.2017]. Saatavissa: <https://www.icis.com/resources/news/2007/11/06/9076150/polyethylene-high-density-hdpe-cas-no-9002-88-4/>

Insinööritoimisto Petteri Oy 2017. Triple holder ver 2. Piirustus.

Järvenpää, T. 2015. Uuden toimintatavan kehittäminen elintarvikekontaktiin tarkoitettujen liimojen vaatimustenmukaisuuden osoittamiseksi. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö [viitattu 27.6.2017]. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/23274/jarvenpaa.pdf?sequence=1>

Järvinen, P. 2000. Muovin suomalainen käsikirja. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Järvinen, P. 2008. Uusi muovitieto. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Katajajuuri, J. 2017. Pakattavien tuotteiden ja pakkausten ympäristövaikutukset ja hävikki – case: ruoka. Seminaariluento Lahden Muovi&Pakkaus -messuilla 20.4.2017.

Kilponen, J. 2016. Microplastics and Harmful Substances in Urban Runoffs and Landfill Leachates – Possible Emission Sources to Marine Environment. Lahden ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö [viitattu 26.6.2017]. Saatavissa: [https://theseus.fi/bitstream/handle/10024/114539/Kilponen\\_Juho.pdf?sequence=1](https://theseus.fi/bitstream/handle/10024/114539/Kilponen_Juho.pdf?sequence=1)

Kimica 2009. Applications with alginates [viitattu 30.6.2017]. Saatavissa: <http://www.kimica-alginate.com/alginate/application.html>

Koskinen, A. 2008. Kumiobjektien säilytystilasuunnitelman toteutuminen museon kokoelmakeskuksessa. Jyväskylän yliopisto. Pro Gradu -tutkielma [viitattu 20.6.2017]. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/45027/URN%3ANBN%3Afi%3Aju-201501081046.pdf?sequence=1>

Kurri, V., Malen, T., Sandell, R. & Virtanen, M. 2008. Muovitekniikan perusteet. 4. tarkistettu painos. Helsinki: Opetushallitus.

Kärhä, V. VS: Muoviteollisuus ry – Postia www-lomakkeelta, Yhteydenotto-lomake. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Heinonen, H. Lähetetty 10.7.2017.

Lefteri, C. 2008. The Plastics Handbook. Hove: RotoVision SA.

Linnamaa, A. 2007. Standardinmukaisen pistolujuustestausmenetelmän soveltuvuuden selvitys elintarvikepakkauskalvoille. Tampereen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö [viitattu 27.9.2017]. Saatavissa: <https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/8606/TMP.objres.978.pdf?sequence=4>

Maa- ja metsätalousministeriö 2017a. Elintarvikekontaktimateriaalit [viitattu 18.4.2017]. Saatavissa: <http://mmm.fi/elintarvikekontaktimateriaalit>

Maa- ja metsätalousministeriö 2017b. Muu elintarvikelainsäädäntö [viitattu 11.7.2017]. Saatavissa: <http://mmm.fi/lainsaadanto/elaimet-elintarvikkeet-ja-terveys/lainsaadanto/l-rekisteri>

Materialshop 2017. Alginaattien käyttö [viitattu 30.6.2017]. Saatavissa: [https://www.materialshop.fi/epages/Materialshop.sf/fi\\_FI/?ObjectPath=/Shops/2014052201/Categories/Alginaattien\\_kaeyttoa](https://www.materialshop.fi/epages/Materialshop.sf/fi_FI/?ObjectPath=/Shops/2014052201/Categories/Alginaattien_kaeyttoa)

Muovien kierrätys 2017. Biohajoavat muovit [viitattu 3.5.2017]. Saatavissa: <https://muovienkierratys.wordpress.com/biohajoavat-muovit/>

Muoviteollisuus ry 2017a. Biomuovit [viitattu 19.4.2017]. Saatavissa: [http://www.muoviteollisuus.fi/fin/muovitieto/muovit\\_ja\\_ymparisto/biomuovit/](http://www.muoviteollisuus.fi/fin/muovitieto/muovit_ja_ymparisto/biomuovit/)

Muoviteollisuus ry 2017b. Elintarvikkeiden kanssa kosketuksiin joutuvat muovit [viitattu 18.4.2017]. Saatavissa: <http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/elintarvikemuovit/>

Muoviteollisuus ry 2017c. Muovien luokitus [viitattu 9.5.2017]. Saatavissa: [http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/muovien\\_luokitus/](http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/muovien_luokitus/)

Muoviteollisuus ry 2017d. Muovisanastoa [viitattu 11.7.2017]. Saatavissa: <http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/sanasto/>

Muoviteollisuus ry 2017e. Muovit ovat monipuolinen materiaaliryhmä [viitattu 9.5.2017]. Saatavissa: <http://www.plastics.fi/fin/muovitieto/muovit/>

Myllymäki, T. 2014. Ligniinin rakenne ja kemiallinen muokkaus. Helsingin yliopisto. Pro Gradu -tutkielma [viitattu 20.6.2017]. Saatavissa:

[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136539/Teemu\\_Myllymaki\\_Pro\\_Gradu\\_01042014.pdf?sequence=2](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/136539/Teemu_Myllymaki_Pro_Gradu_01042014.pdf?sequence=2)

Mäntykangas, M. 2010. Polymeeritekniikan peruskurssin viikkotehtävät. Aalto-yliopiston Teknillinen korkeakoulu [viitattu 20.6.2017]. Saatavissa:

<https://www.inkubio.fi/sites/default/files/pdf/prujut/pote-viikkotehtavat.pdf>

Nykänen, S. 2009. Ruiskuvalu. Tampereen teknillinen yliopisto [viitattu 17.7.2017]. Saatavissa: <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvalu-prosessi.pdf>

Odian, G. 2004. Principles of Polymerization. 4. painos. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc.

Orgaaninen kemia 2017. Isomeria [viitattu 27.9.2017]. Saatavissa: <http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/kemia/kemia2/isomeria.html>

Pakkaussuunnittelu 2014. Biohajoavat muovit [viitattu 21.6.2017]. Saatavissa: <https://pakkaussuunnittelu.net/tag/biohajoava/>

Peda 2017. Kondensaatio ja hydrolyysi [viitattu 27.9.2017]. Saatavissa: [https://peda.net/jao/schildtin\\_lukio/kurssit/kemia/krje/kl2p2/orbitaali3/orbitaali3-1301152/kr/kh](https://peda.net/jao/schildtin_lukio/kurssit/kemia/krje/kl2p2/orbitaali3/orbitaali3-1301152/kr/kh)

Plantui 2017a. Plantui. Yritysesittely pdf.

Plantui 2017b. Smart Garden [viitattu 11.4.2017]. Saatavissa: <http://plantui.com/fi/>

Polymer Chemistry 2000. Morphology [viitattu 20.6.2017]. Saatavissa: <http://faculty.uscupstate.edu/llever/Polymer%20Resources/Morphology.htm>

Rissanen, P. & Pekkanen, M. 2014. Liiketoiminnan kehittäminen 3D-tulostuksen avulla. Savonia-ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö [viitattu 12.5.2017]. Saatavissa: <http://www.theseus.fi/handle/10024/76705>

Saari, T. 2014. Luonnonmateriaaliseostetut muovit ja biomuovit. Tampereen teknillinen yliopisto. Diplomityö [viitattu 30.6.2017]. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/22289>

Seppälä, J. 2008. Polymeeritekniikan perusteet. 6. painos. Helsinki: Otatieto Oy.

SFS-EN ISO 472, 2001. Muovit. Sanasto. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS ry.

Suomen luonnonsuojeluliitto 2002. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy at the Science Centre North Rhine-Westphalia. MIPS-laskenta, Tuotteiden ja palveluiden luonnonvaratuottavuus [viitattu 12.4.2017]. Saatavissa: <https://www.sll.fi/mita-me-teemme/kohtuutalous/mips/materiaaleja/WIspecial27fi.pdf>

Talvitie, J., SYKE & Aalto yliopisto. 2014. Mikromuovit – vesistöjen pieni suuri ongelma [viitattu 21.6.2017]. Saatavissa: [https://www.hyria.fi/files/10898/mikromuovit\\_-\\_vesistojen\\_pienisuuri\\_ongelma\\_-\\_HSY.pdf](https://www.hyria.fi/files/10898/mikromuovit_-_vesistojen_pienisuuri_ongelma_-_HSY.pdf)

Tammela, V.1990. Polymeeritiede ja muovitekniikka, Osa 3. Helsinki: Otatieto Oy.

Tampereen teknillinen yliopisto 2005. Materiaaliopin laitos. Muovit, polymeerien kemiallinen rakenne [viitattu 4.5.2017]. Saatavissa: [http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv\\_4\\_4\\_1.php](http://www.ims.tut.fi/vmv/2005/vmv_4_4_1.php)

Tavani 2017. Biohajoavat [viitattu 3.5.2017]. Saatavissa: <http://www.tavani.fi/index.php/erikoismuovit/biohajoavat-pla>

Technical University of Gabrovo 2003. Polypropeeni (PP) [viitattu 4.5.2017]. Saatavissa: [http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics\\_PP\\_FI.pdf](http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/plastics_PP_FI.pdf)

Tekniikka & Talous 2016. Tutkimus: Merissä lilluva mikromuovi voi tehdä kaloista myrkyllisiä [viitattu 12.4.2017]. Saatavissa: [http://www.tekniikkatalous.fi/tiede/kestava\\_kehitys/tutkimus-merissa-lilluva-mikromuovi-voi-tehda-kaloista-myrkyllisia-6574876](http://www.tekniikkatalous.fi/tiede/kestava_kehitys/tutkimus-merissa-lilluva-mikromuovi-voi-tehda-kaloista-myrkyllisia-6574876)

Telko 2017. Polyeteenit (PE) [viitattu 27.9.2017]. Saatavissa: <http://www.telko.com/fi/tuotteet/muovit/volyymimuovit/pe>

Tieteen termipankki 2014. Asyyli [viitattu 20.6.2017]. Saatavissa: <http://tieteen termipankki.fi/wiki/Biologia:asyyli>

University Of Eastern Finland 2016. Mikromuovitutkimus saa jatkoa Kallavedellä – nyt tutkitaan myös järven pohjasedimenttiä [viitattu 21.6.2017]. Saatavissa: <https://www.uef.fi/-/mikromuovitutkimus-saa-jatkoa-kallavedella-nyt-tutkitaan-myo-jarven-pohjasedimenttia>

Yle Tiede 2017. Päätykö mikromuovi juomaveteesi. Prisma Studio [viitattu 12.4.2017]. Saatavissa: <http://yle.fi/aihe/artikkeli/2016/10/11/paatyyko-mikromuovi-juomaveteesi>

Yle Uutiset 2016a. Maailman merissä pyörii miljoonia tonneja muovijätettä – keksijät taistelevat jättiläisongelmaa vastaan [viitattu 21.6.2017]. Saatavissa: <https://yle.fi/uutiset/3-8610827>

Yle Uutiset 2016b. Tutkija yllättyi muovisaasteen määrästä Kallavedessä – ”Asiaa täytyy tutkia kaikissa Suomen sisävesissä” [viitattu 4.5.2017]. Saatavissa: <http://yle.fi/uutiset/3-8902482>

Yle Uutiset 2017. Asiantuntija: Käynnissä valtava liikehdintä kohti mikromuovien kieltoa [viitattu 4.5.2017]. Saatavissa: <http://yle.fi/uutiset/3-9592375>

Valmet 2016. Valmet ja Biochemtex aloittavat yhteistyön ligniinipohjaisten biokemikaalien valmistusteknologian kehittämiseksi [viitattu 17.5.2017].

Saatavissa: <http://www.valmet.com/fi/media/uutiset/lehdistotiedotteet/2016/valmet-ja-biochemtex-aloittavat-yhteistyon-ligniinipohjaisten-biokemikaalien-valmistusteknologian-kehittamiseksi/>

VTT 2017a. 3D-tulostus kilpailutekijänä [viitattu 12.5.2017]. Saatavissa:

<http://www.vtt.fi/palvelut/%C3%A4lyk%C3%A4s-teollisuus/tulevaisuuden-tehdas/valmistusmenetelm%C3%A4t/3d-tulostus>

VTT 2017b. Termoplastinen ligniini [viitattu 17.5.2017]. Saatavissa:

<http://www.vtt.fi/palvelut/biotalous/biopohjaiset-peruskemikaalit/lis%C3%A4-arvoa-ligniinist%C3%A4/termoplastinen-ligniini>

Vuorinen, K. VS: Opinnäytetyö. Sähköpostiviesti. Vastaanottaja Heinonen, H. Lähetetty 12.4.2017.

Ympäristö 2017. Mikromuovit riski myös Suomen vesistöille [viitattu

21.6.2017]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mikromuovit\\_riski\\_myos\\_Suomen\\_vesistoill\(42492\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Meri/Mikromuovit_riski_myos_Suomen_vesistoill(42492))

## LIITTEET

- LIITE 1. Taulukot tuloksista
- LIITE 2. Ensimmäisen kuukauden havainnot
- LIITE 3. Toisen kuukauden havainnot
- LIITE 4. Kolmannen kuukauden havainnot

LIITE 1. Taulukot tuloksista

	pH	sähkönjohtavuus ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
2.6.	6,17	2300
9.6.	6,57	2270
16.6.	6,38	3070
22.6.	6,43	3120
30.6.	6,59	3560

	pH	sähkönjohtavuus ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
7.7.	7,23	4370
14.7.	7,71	4670
21.7.	7,56	4270
28.7.	—	4740
1.8.	7,79	—

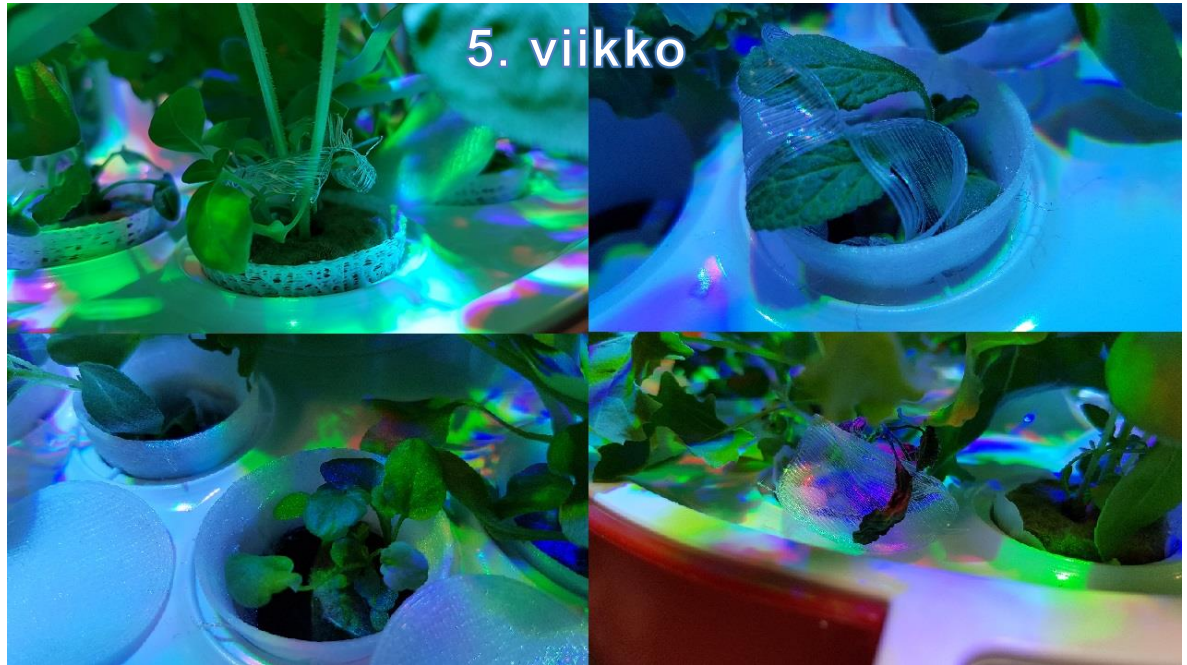
	pH	sähkönjohtavuus ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )
4.8.	7,92	3060
11.8.	7,75	3590
18.8.	7,94	3690
25.8.	7,86	3740

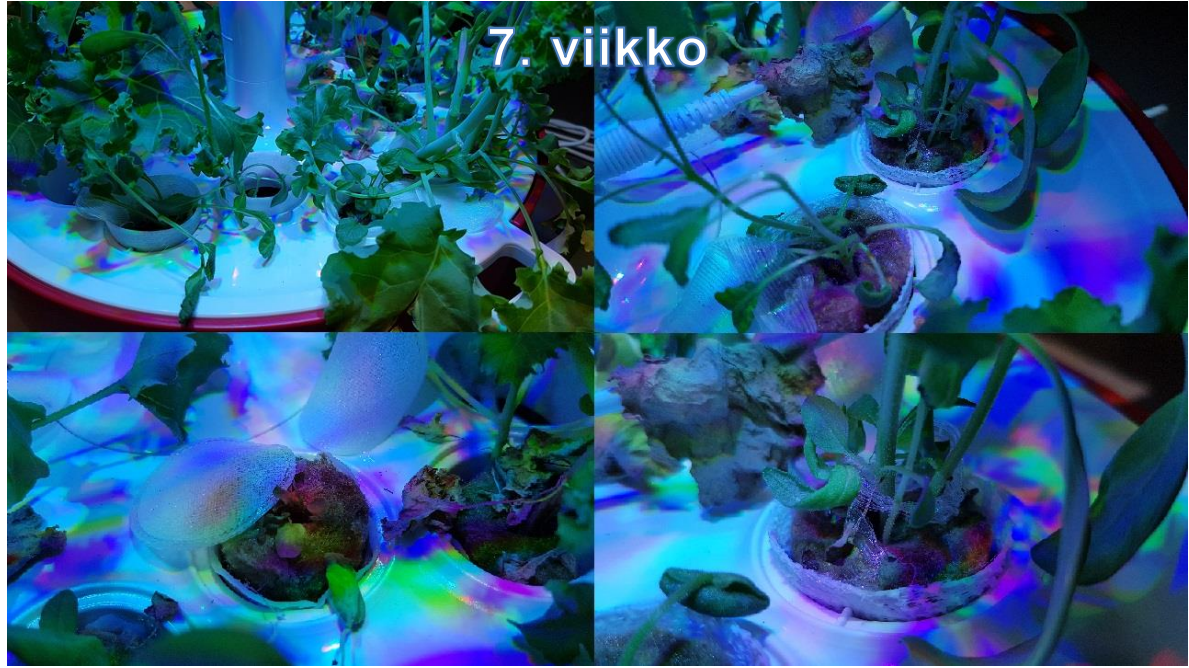
LIITE 2. Ensimmäisen kuukauden havainnot





LIITE 3. Toisen kuukauden havainnot





LIITE 4. Kolmannen kuukauden havainnot

