

Opinnäytetyö (AMK)

Prosessi- ja materiaalitekniikka

2022

Suvi Jokisalo

BIOHAJOAVAT MUOVIT KOTIKOMPOSTOREISSA


TURKU AMK
TURKU UNIVERSITY OF
APPLIED SCIENCES

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Prosessi- ja materiaalitekniikka

2022 | 76 sivua, 3 liitesivua

Ohjaaja: Liisa Lehtinen, Turku AMK

Suvi Jokisalo

Biohajoavat muovit kotikompostoreissa

Opinnäytetyön tarkoituksena oli luoda menetelmä, jota käyttämällä voisi tutkia eri biohajoavien muovien hajoamista kotikompostoreissa. Työn tavoitteena oli selvittää, hajoavatko biomuovipussit kotikompostoreissa sekä mitä tapahtuu kertakäyttöiselle kartonkikupille kotikompostoinnin aikana.

Opinnäytetyön käytännön osuudessa tutkittiin ja vertailtiin hapellisen Biolan Pikakompostori 220eco ja hapettoman BioProffa Bokashi kompostoreiden olosuhteita sekä näytteiden hajoamista. Työ perustuu standardeihin EN 13432 ja EN ISO 14855, jotka ovat käytössä teollisessa kompostoinnissa. Näytteiden hajoamista tutkittiin sekä visuaalisten muutosten että kemiallisten rakennemuutosten avulla.

Työn aikana biohajoavat näytteet eivät hajonneet kokonaan. Tuloksista nähdään, että etenkin lämpökompostorin kompostointiolosuhteet eivät olleet oikeanlaiset kompostoinnin aikana. Tämän opinnäytetyön tulokset toivat esille uusia kysymyksiä, kuten oliko työssä kompostointiaika liian lyhyt ja hajosivatko kaikki materiaalit, joiden pitikin hajota. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että kaupalliset biojätepussit hajoavat ainakin osittain kotikompostorien olosuhteissa.

Asiasanat:

biohajoava muovi, kompostointi, bokashi, lämpökompostori

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Chemical and Materials Engineering

2022 | 76 pages, 3 pages in appendices

Supervisor: Liisa Lehtinen, Turku University of Applied Sciences

Suvi Jokisalo

Biodegradable plastics in home compostors

The aim of the thesis was to create a method which can be used to examine the degradation of various biodegradable plastics in home compostors. The objective was to determine whether bioplastic bags decompose in home compostors and what happens to a disposable coffee cup during composting.

In the practical part of the thesis, the conditions and decomposition of samples in oxygenous Biolan Quick Composter 220eco and unoxygenous BioProffa Bokashi compostors were studied and compare. The work was based on standards EN 13432 and EN ISO 14855, which are used in industrial composting. The decomposition of samples was examined based on both visual changes and chemical restructuring.

During the experiments, the biodegradable samples did not decompose completely. From these results it can be concluded that especially the conditions of the thermal composter were not correct during the composting. The results of this thesis raise new questions such as wheather the composting time was too short and wheather all the supposedly decomposable materials actually did decompose. However, on the basis of the results it can be stated that commercial biowaste bags decompose at least partially in home composter conditions.

Keywords:

biodegradable plastic, composting, bokashi, quick composter

Sisältö

Käytetyt lyhenteet tai sanasto	8
1 Johdanto	9
2 Biomuovit	11
2.1 Biopohjaiset muovit	11
2.2 Biohajoavat muovit	12
2.3 Kompostoituvat muovit	13
2.4 Biomuovien rakenne	13
2.5 Sertifikaatit	14
2.5.1 Biohajoavuuden sertifikaatit	14
2.5.2 Kompostoitavuuden sertifikaatit	16
2.6 Ympäristö	17
2.6.1 Mikromuovit	17
2.7 Biomuovien kierrätys	18
3 Kompostointi	20
3.1 Kompostoinnin olosuhteet	20
3.1.1 Happi	21
3.1.2 Kosteus	21
3.1.3 Ravinteet	21
3.1.4 Lämpötila	22
3.1.5 Seosaineet	22
3.2 Fermentointi	23
3.3 Jälkikompostointi	23
3.4 Mädätys	24
4 Kompostorit	25
4.1 Aerobinen kompostointi	25
4.1.1 Lämpenemisvaihe	27
4.1.2 Kuumavaihe	27
4.1.3 Jäähdytysvaihe	27

4.2 Anaerobinen kompostointi	27
4.2.1 Anaerobinen vaihe	28
4.2.2 Aerobinen vaihe	28
5 Työn kulku	30
5.1 Näytteet	30
5.2 Biolan Pikakompostori 220eco	32
5.2.1 Biolan pikakompostorin olosuhteet	34
5.3 BioProffa Bokashi	36
5.3.1 Bokashin anaerobinen vaihe	36
5.3.2 Bokashin anaerobisen vaiheen olosuhteet	37
5.3.3 Bokashin aerobinen vaihe	38
5.3.4 Bokashin aerobisen vaiheen olosuhteet	40
6 Tulokset	43
6.1 Biolan Pikakompostori 220e	43
6.1.1 Biomat Biojätepussi	43
6.1.2 Kompostoituva biopussi	46
6.1.3 Harmaa vihannespussi	47
6.1.4 Muovikalvo NP SF 141	50
6.1.5 Vetokoesauva PHBV	51
6.1.6 DUNI Bio kartonkimuki	53
6.2 Bioproffa Bokashi	56
6.2.1 BioMat Biojätepussi	56
6.2.2 Kompostoituva biopussi	59
6.2.3 Harmaa vihannespussi	61
6.2.4 Muovikalvo NP SF 141	62
6.2.5 Vetokoesauva PHBV	64
6.2.6 DUNI Bio kartonkimuki	66
7 Yhteenveto ja loppupäätelmät	69
8 Lähdeluettelo	71

Liitteet

Liite 1. Näytteen 4 FTIR -spektrofotometri projektissa.

Liite 2. Näytteen 1 FTIR -spektrofotometri Bokashi kompostoinnin jälkeen.

Liite 3. Näytteen 4 FTIR -spektrofotometri Bokashi kompostoinnin jälkeen.

Kuvat

Kuva 1. Biohajoavuuden TÜV AUSTRIA sertifikaatit (Muovipoli Oy 2020).	15
Kuva 2 Kompostoitavuuden TÜV AUSTRIA OK compost -sertifikaatit (Muovipoli Oy 2020).	16
Kuva 3. Mikromuoveja sekä isompi muovipartikkeleita.	17
Kuva 4. Biolan Pikakompostori 220econ vaiheet (Biolan Oy 2010).	26
Kuva 5. Alkuperäiset isommat näytteet.	31
Kuva 6. Näytteet Biolan pikakompostorissa.	33
Kuva 7. Lämpökompostorin jätepatja.	35
Kuva 8. Bokashinesteen poistoa.	37
Kuva 9. Näytteet ennen jälkikompostointia.	39
Kuva 10. Jälkikompostoinnin pintamulta.	41
Kuva 11. Kuivahtanut jälkikompostointi.	42
Kuva 12. Näyte 1 ennen ja jälkeen Biolan pikakompostorin.	44
Kuva 13. Näytteen 1 FTIR-kuvaajat ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Biolan pikakompostorin.	45
Kuva 14. Näyte 2 ennen ja jälkeen Biolan pikakompostorin.	46
Kuva 15. Näytteen 2 FTIR-kuvaajat ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Biolan pikakompostorin.	47
Kuva 16. Näyte 3 ennen ja jälkeen Biolan pikakompostorin.	48
Kuva 17. Näytteen 3 FTIR-kuvaajat ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Biolan pikakompostorin.	49
Kuva 18. Näyte 4 ennen ja jälkeen Biolan pikakompostorin.	50
Kuva 19. Näytteen 4 FTIR-kuvaajat ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Biolan pikakompostorin.	51

Kuva 20. Näyte 5 ennen ja jälkeen Biolan pikakompostorin.	52
Kuva 21. Näytteen 5 FTIR-kuvaajat ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Biolan pikakompostorin.	53
Kuva 22. Näyte 6 ennen ja jälkeen Biolan pikakompostorin.	54
Kuva 23. Näytteen 6 FTIR-kuvaajat ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Biolan pikakompostorin.	55
Kuva 24. Näyte 1 ennen ja jälkeen jälkikompostoinnin.	57
Kuva 25. Näyte 1 ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Bokashi kompostorin.	58
Kuva 26. Näyte 2 ennen ja jälkeen jälkikompostoinnin.	59
Kuva 27. Näyte 2 ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Bokashi kompostorin.	60
Kuva 28. Näyte 3 ennen ja jälkeen jälkikompostoinnin.	61
Kuva 29. Näyte 3 ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Bokashi kompostorin.	62
Kuva 30. Näyte 4 ennen ja jälkeen jälkikompostoinnin.	63
Kuva 31. Näyte 4 ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Bokashi kompostorin.	64
Kuva 32. Näyte 5 ennen (oikealla) ja jälkeen (vasemmalla) jälkikompostoinnin.	65
Kuva 33. Näyte 5 ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Bokashi kompostorin.	66
Kuva 34. Näyte 6 ennen ja jälkeen jälkikompostoinnin.	67
Kuva 35. Näytteen 6 muovipinta kompostoinnin jälkeen.	67
Kuva 36. Näyte 6 ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Bokashi kompostorin.	68

Taulukot

Taulukko 1. Tutkittavat näytteet.	30
Taulukko 2. Pikakompostorin olosuhteet.	34
Taulukko 3. Bokashinesteen määrä ja pH.	37
Taulukko 4. Jälkikompostoinnin lämpötilat.	40

Käytetyt lyhenteet tai sanasto

ATR	attenuated total reflectance, vaimennettu kokonaisheijastus
bio-PET	biopohjainen polyeteenitereftalaatti
drop-in-biomuovi	biopohjainen muovi, ei biohajoava
EM	effective micro-organism, tehokas mikro-organismi
FSC-sertifikaatti	kansainvälinen sertifikaatti, materiaali tulee vastuullisista metsistä
FTIR	fourier transform infrared, fourieinfrapuna
Hydrofiilinen	vesihakuinen molekyyli
Hydrofobinen	vettähylkivä molekyyli
Mater-Bi	biohajoava ja kompostoituva muovi, tuotemerkki
NIR	near infrared, lähi-infrapuna
PBAT	polybuteeni-adipaatti-tereftalaatti
PEF	polyeteenifuranoaatti
PHBV	polyhydroksybutyraattivaleraatti
PLA	polylaktidi

1 Johdanto

Työ on osa kansainvälistä Bio-Plastics Europe -hanketta, jossa Turun ammattikorkeakoulu on mukana. Hankkeen tarkoituksena on tuoda kestäviä ratkaisuja biomuovien kiertotalouteen. Hanke on keskittynyt biomuoveihin, joita käytetään leluina, ruokapakkauksissa sekä laivojen, kalastuksen ja vesiviljelyn tuotteissa. (Turku AMK 2019.)

Opinnäytetyön aihe, Biohajoavat muovit kotikompostoreissa, sisältää kaksi erilaista kotikompostoria, joista toinen on happea hyödyntävä Biolan Pikakompostori 220eco ja toinen hapettomissa olosuhteissa toimiva Bioproffa Bokashi. Biolan Pikakompostoria tutkittiin 12 viikon ajan ja sen olosuhteita seurattiin 2 viikon välein. Bioproffa Bokashin kompostointi jaettiin hapettomaan ja hapelliseen osa-alueeseen, joiden kesto oli yhteensä 7 viikkoa. Lisäksi tämän kompostin olosuhteita tarkkailtiin viikoittain.

Työ perustuu standardeihin EN 13432 ja EN ISO 14855, jotka määrittävät kompostointiprosessin olosuhteet sekä muovien hajoamisnopeuden teollisessa kompostoinnissa (SFS 2001; SFS 2013). Ongelmana on, että kotikompostorin olosuhteita ei saa yhtä tasaiseksi kuin teollisessa kompostoinnissa. Lisäksi kotikompostorin lämpötilaa ei saa nostettua yhtä korkealle. Tämän vuoksi kotikompostoreille ei ole omia standardeja vaan biohajoavuus ja kompostoitavuus perustuvat erilaisiin sertifikaatteihin. (Muovipoli Oy 2020.)

Muovit ovat ongelma ympäri maailmaa, sillä luonto sekä erityisesti meret täyttyvät muovirokasta. Lisäksi sekä eläinten että ihmisten elimistöstä on löytynyt mikromuovia, jonka vaikutuksia ei vielä täysin tiedetä. Tästä johtuen on pyrittävä tuottamaan mahdollisimman ympäristöystävällisiä materiaaleja sisältäviä tuotteita sekä kierrättämään mahdollisimman hyvin. (WWF n.d. a; n.d. b.)

Työssä tutkittavia näytteitä olivat biohajoavat kaupalliset muovipussit, biohajoava vetokoesauva sekä biohajovalla muovilla pinnoitettu kartonkikuppi.

Näytteiden muutoksia tutkittiin visuaalisesti sekä sen kemiallisen rakenteen avulla.

Opinnäytetyön lopussa analysoidaan saatuja tuloksia sekä pohditaan, saavutettiinkö työn tavoite, joka oli luoda menetelmä, jota käyttämällä voisi tutkia biohajoavien muovien hajoamista kotikompostoreissa niin että menetelmää toistamalla saisi luotettavasti selvitettyä, onko materiaali kotikompostoitava.

2 Biomuovit

Standardin SFS-EN ISO 472 (Plastics: Vocabulary) mukaan muovin olennainen aine on suurikokoinen polymeeri, josta voidaan muokata virtauksen avulla tuote. Polymeeri on suuri makromolekyyli, joka koostuu monomeereistä. (Lehtinen ym. 2021, 136.)

Muovit voidaan jakaa valmistusmateriaalin mukaan biopohjaisiin ja fossiilisiin. Nämä molemmat voidaan vielä jakaa biohajoaviin ja ei-biohajoaviin. Biomuovit voidaan jakaa biopohjaisiin muoveihin, biohajoaviin muoveihin ja kompostoituviin muoveihin. (Muovipoli Oy 2020.)

2.1 Biopohjaiset muovit

Biopohjaiset muovit on valmistettu eloperäisistä ja uusiutuvista raaka-aineista. Raaka-aineina käytetään mm. sokeriruokoa, sellua ja tärkkelystä. Biopohjaiset muovit voivat olla biopohjaisia muoveja joko osittain tai kokonaan. Ne eivät kuitenkaan välttämättä ole biohajoavia. (Muovipoli Oy 2020.)

Drop-in-biomuovit ovat biomuoveja, joiden ominaisuudet ja kemiallinen rakenne ovat täysin samat kuin fossiilisista raaka-aineista valmistetuilla muoveilla, mutta ne eivät ole biohajoavia. Yksi drop-in-muoveista on biopohjainen polyeteenitereftalaatti eli bio-PET, jonka biopohjaisuus käytetystä raaka-aineesta voi olla vain 30 %, mutta se silti luokitellaan biopohjaiseksi muoviksi. (Muovipoli Oy 2020.)

Muovin biopohjaisuus määritellään standardien EN 16640 (Bio-based products. Bio-based carbon content. Determination of the bio-based carbon content using the radiocarbon method) ja EN 16785-1 (Bio-based products. Bio-based content. Part 1: Determination of the bio-based content using the radiocarbon analysis and elemental analysis) avulla (SFS 2016; 2017). Standardi EN 16640 perustuu biopohjaisen hiilen laskentaan ja standardi EN 16785-1 perustuu biopohjaisen sisällön määrän laskentaan. Nämä standardit antavat yleensä

hieman erilaiset tulokset, joten biopohjaisen sisällön määrät eivät ole täysin vertailukelpoiset. (Muovipoli Oy 2020.)

2.2 Biohajoavat muovit

Biohajoavat muovit hajoavat tietyssä ajassa ja olosuhteissa mikro-organismien avulla hiilidioksidiksi tai metaaniksi sekä vedeksi ja biomassaksi. Se, hajoaako muovi hiilidioksidiksi vai metaaniksi riippuu, onko kyseessä hapellinen vai hapeton prosessi. Biohajoava materiaali, joka hajoaa maaperässä ei välttämättä hajoa vesiympäristössä. (Syväne 2019.) Muovia voidaan kutsua biohajoavaksi, kun sen kaikki komponentit ovat biohajoavia. Biohajoava muovi voi olla biopohjainen, kuten polylaktidi eli PLA tai öljypohjainen, kuten polybuteeni-adipaatti-tereftalaatti eli PBAT. Biohajoavuuden nopeus on kiinni polymeerin kemiallisesta rakenteesta. (Muovipoli Oy 2020.)

Biohajoavuudelle on määritelty erilaisia standardeja, kuten EN ISO 17556 (Plastics. Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved) ja EN 14046 (Packaging. Evaluation of the ultimate aerobic biodegradability of packaging materials under controlled composting conditions. Method by analysis of released carbon dioxide), jotka ovat tarkoitettu eri olosuhteisiin (SFS 2003; 2019). Lisäksi standardin ISO 13432 (Pakkaukset. Vaatimuksia pakkauksille, jotka ovat hyödynnettävissä kompostoinnin ja biohajoamisen avulla. Testausmenettely ja arviointiperusteet pakkauksen hyväksynnälle) mukaan materiaalin on hajottava aerobisessa biohajoavuustestissä 90 % ja sen kesto aika tulee olla korkeintaan 6 kk (SFS 2001).

Biohajoavuutta ei ole standardoitu luonnonolosuhteissa, koska olosuhteet ovat liian vaihtelevia eri vuodenaikoina sekä eri maiden välillä. Kotikompostorin biohajoavuudesta ei ole standardia vaan erilaisia sertifikaatteja. (Muovipoli Oy 2020.)

2.3 Kompostoituvat muovit

Kompostoituva muovi hajoaa teollisessa tai kotikompostorissa tietyssä ajassa ja olosuhteissa. Standardissa EN 13432 on määritelty teollisen kompostoinnin kompostoitavuus. Standardin mukaan muovin on hajottava aerobisen kompostoinnin aikana 12 viikossa niin, että korkeintaan 10 % testimateriaalin alkuperäisestä kuiva-aineesta saa olla yli 2 mm kokoista muovipartikkelia. Lisäksi kompostoituva muovi ei saa haitata kompostointiprosessia. (SFS 2001; Syväne 2019.)

Standardin mukaan muovi ei kuitenkaan välttämättä kompostoidu kotikompostorissa tai siihen menee huomattavasti kauemmin aikaa, koska kotikompostorin lämpötila on paljon matalampi. Lisäksi kotikompostorin olosuhteet, kuten lämpötila, kosteus ja pH vaihtelevat. Jos muovi täyttää standardi EN 13432 vaatimukset, siinä on itulogo, jossa rekisteröintinumero. (Muovipoli Oy 2020.)

2.4 Biomuovien rakenne

Biohajoavat muovit voidaan jakaa synteettisiin ja luonnonpolymeereihin. Yksi biohajoavat muovi on PLA, joka on hydrofobinen eli vettähylkivä polymeeri. PLA sisältää esteriryhmiä eli hiilessä on kiinni yksöis- ja kaksoissidokselliset happiatomit. Esteriryhmä hajoaa veden vaikutuksesta hydrolyysillä eli kemiallisella reaktiolla karboksyylihapoksi ja alkoholiksi. (Tighzert ym. 2009; Teinilä 2020.)

Toinen biohajoava muovi on PHBV eli polyhydroksybutyraattivaleraatti. Se on kiteinen polymeeri eli sen atomit ovat järjestäytyneet. PHBV:n kemiallinen rakenne sisältää esteriryhmiä ja lisäksi sivuryhminä ovat etaani- ja metaaniryhmät. (Tighzert ym. 2009; Teinilä 2020.)

Yksi synteettisistä polymeereistä on Mater-Bi, joka on Novamontin valmistama materiaali. Se on hydrofiilinen eli vesihakuinen polymeeri. Mater-Bi sisältää tärkkelystä ja polyesteriä eli rakenteessa on esteriryhmiä. Tärkkelys yhdessä

mikro-organismien kanssa hajoaa myrkyttömäksi aineeksi. Tärkkelys on polysakkaridi, kuten selluloosakin. Nämä rakentuvat rengasmaisista glukoosi monomeereistä. Näissä polymeereissä glukoosit ovat kiinni toisissaan happisilloilla, jotka veden vaikutuksesta katkeavat monomeereiksi. Glukoosi sisältää happisillan, alkoholiryhmiä ja metanoli sivuryhmän. Tärkeää on huomata, että tärkkelyksen rakenne on kiertynyt ja selluloosa koostuu suorasta ketjusta. (Novamont S.p.A. n.d.; Peda n.d..)

Työn materiaaleista kartonki sisältää selluloosaa. Selluloosassa olevat glukoosimolekyylit ovat kiinni toisissaan vahvoilla kovalenttisilla sidoksilla. (Peda n.d..)

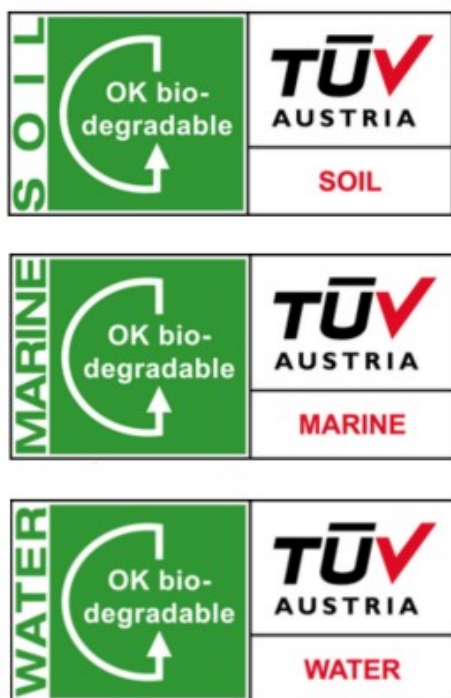
2.5 Sertifikaatit

TÜV AUSTRIA on biomuovien sertifiointeja tuottava organisaatio. TÜV AUSTRIA:n tuottamat sertifikaatit ovat luotettavia ja helpottavat sekä nopeuttavat kuluttajia tunnistamaan kompostoitavat ja biohajoavat tuotteet. (BioBag Finland Oy 2020; TÜV AUSTRIA n.d. a.)

Biohajoavuudella ja kompostoitavuudella on erilaiset sertifikaatit. Syynä on, että niillä on erilaiset olosuhteet, kuten lämpötilat ja mikro-organismit. Näiden hajoamisnopeudessa on eroja ja siksi tuotteen sertifiointi on sovittava juuri oikeaan kompostointiprosessiin. (BioBag Finland Oy 2020.)

2.5.1 Biohajoavuuden sertifikaatit

Biomuovi hajoaa maaperään mikro-organismien avulla. Prosessiin vaikuttavat ympäristön lämpötila, kosteus, pH-arvo ja hapen määrä. Biohajoavuudelle on useita sertifikaatteja: OK biodegradable SOIL, OK biodegradable MARINE ja OK biodegradable WATER, jotka näkyvät kuvassa 1. (TÜV AUSTRIA n.d. b.)



Kuva 1. Biohajoavuuden TÜV AUSTRIA sertifikaatit (Muovipoli Oy 2020).

OK biodegradable SOIL -sertifikaatti takaa, että maanviljelyyn ja puutarhanhoitoon tarkoitettut biomuovituotteet ovat täysin biohajoavia. Viljelijöiden on tärkeä tietää, että viljelyssä taimien istutukseen käytettävä muovi hajoaa täysin, jolloin sitä ei tarvitse poistaa eikä se kerrytä muovia maahan. (BioBag Finland Oy 2020.)

OK biodegradable MARINE -sertifikaatti takaa, että sillä merkityt tuotteet vähitellen liukenevat ja häviävät kokonaan, jos ne päätyvät meriveteen. Muoviroskien määrä merivedessä on ongelma ja tämän sertifikaatin muovituotteet saavat siellä vähemmän vahinkoa aikaan. (BioBag Finland Oy 2020.)

OK biodegradable WATER -sertifikaatti takaa, että biomuovi hajoaa makeassa vedessä. Koska biomuovin biohajoavuudessa on eroja makean ja suolaisen veden suhteen, tämä sertifikaatti ei takaa, että biomuovi hajoaisi suolaisessa vedessä. (BioBag Finland Oy 2020.)

2.5.2 Kompostoitavuuden sertifikaatit

Biojättestä saatava energia voidaan käyttää sähkön ja lämmön tuottamiseen tai kompostin lopputuotetta voidaan käyttää viljelysmaahan. Kompostoitavuuden sertifikaatit ovat OK Compost -merkkejä, jotka kertovat, että tuote on kompostoitava teollisessa kompostorissa tai kotikompostorissa. Nämä merkit näkyvät kuvassa 2. (BioBag Finland Oy 2020.)



Kuva 2 Kompostoitavuuden TÜV AUSTRIA OK compost -sertifikaatit (Muovipoli Oy 2020).

OK Compost INDUSTRIAL -merkki osoittaa, että tuote täyttää kaikki standardin EN 13432 vaatimukset. Merkki osoittaa, että biomuovin kaikki ainesosat ovat kompostoitavia. Tämä tuote voidaan kompostoida teollisessa kompostorissa sekä kotikompostorissa. Kotikompostorin olosuhteissa materiaali vaatii kuitenkin paljon aikaa. Materiaalista 90 % muuttuu hiilidioksidiksi kuudessa kuukaudessa ja lopun materiaalin kompostoituminen vaatii enemmän aikaa. Sertifikaatin testissä kolmen kuukauden kompostoinnin jälkeen materiaali seulotaan 2 mm seulalla, jonka jälkeen tuotteesta ei saa olla jäljellä yli 10 % alkuperäisestä massasta. (BioBag Finland Oy 2020; TÜV AUSTRIA n.d. c.)

OK Compost HOME -merkki ei vaadi mitään standardia vaan testit on toteutettu useita eri standardeja hyödyntäen. OK Compost HOME -sertifikaatti mukailee standardia EN 13432, mutta testit suoritetaan 20–30 °C lämpötilassa. Sertifikaatin biomuovi hajoaa puutarhakompostorissa kuuden kuukauden aikana. (BioBag Finland Oy 2020; Muovipoli Oy 2020.)

2.6 Ympäristö

Muovin hiilijalanjälkeä laskemalla saadaan tietää sen vaikutus ilmastonmuutokseen. Hiilijalanjälkeä laskettaessa on huomioitava tuotteen koko elinkaari ja sen aikana tapahtuneet kasvihuonekaasupäästöt, biopohjaiseen materiaaliin sitoutunut hiilidioksidi sekä maankäytön muutoksen vaikutukset. Muovien käyttö aiheuttaa ongelmia, mutta niiden käyttö on silti ympäristön kokonaiskuormituksen kannalta paras vaihtoehto. Tärkeintä on valita oikea materiaali oikeaan käyttötarkoitukseen ja huomioida käytetyn materiaalin määrä. (Muovipoli Oy 2020.)

2.6.1 Mikromuovit

Mikromuovit ovat alle 5 mm:n kokoisia muoveja tai alle 15 mm:n kokoisia kuituja. Ne koostuvat polymeeriseoksista, lisäaineista sekä mahdollisista valmistuksessa tulleista epäpuhtauksista. (WWF n.d. a..) Kuvassa 3 näkyy biomuovipohjaisia muoveja, joista mikromuovit on osoitettu nuolilla.



Kuva 3. Mikromuoveja sekä isompi muovipartikkeleita.

Mikromuoveja muodostuu muovikappaleiden kuluessa. Kuvan 3 mikromuovit ovat muodostuneet biomuovien hajotessa kompostointiprosessissa.

Mikromuoveja myös lisätään tuotteisiin, jotta saadaan tuotteelle parempia ominaisuuksia, mutta ne voidaan usein korvata muilla materiaaleilla. Niiden poistaminen ympäristöstä on mahdotonta pienen kokonsa vuoksi.

Mikromuoveja päätyy eläinten ja ihmisten elimistöön. Niiden vaikutuksia elimistössä ei kuitenkaan vielä täysin tiedetä. EU kuitenkin pyrkii rajoittamaan tuotteita, joissa on mikromuovia. (WWF n.d. a..)

2.7 Biomuovien kierrätys

Muovien kierrätysmenetelmät jaetaan mekaaniseen ja kemialliseen kierrätykseen. Lisäksi kompostoituvien muovien vuoksi on otettava huomioon biojätteen kierrätysmenetelmät, koska kompostoituvia muoveja laitetaan biojäteastiaan ja ne päätyvät kierrätyslaitokselle. Biohajoavista muoveista iso osa on biojätteen keräämiseen tarkoitettuja biopusseja. (Muovipoli Oy 2020.)

Monet biomuovit voidaan kierrättää mekaanisen kierrätyksen menetelmillä. Nykyisin käytössä on infrapunaan perustuva tunnistusmenetelmä ns. NIR-tekniikka, joka tunnistaa biomuovit. Drop-in-biomuovit päätyvät mekaanisessa kierrätyksessä samaan virtaan kuin fossiiliset muovit. Tämänhetkiset muovien kierrätysmenetelmät ovat kannattavia ainoastaan suurilla muovimäärillä ja siksi esimerkiksi biopohjainen, mutta ei-biohajoava polyeteenifuranoaatti eli PEF päätyy energiahyötykäyttöön. Biopohjaiset biohajoavat muovit eivät ole tarkoitettu mekaaniseen kierrätykseen. (Muovipoli Oy 2020.)

Biohajoavia muoveja ja biojätepusseja voi kierrättää biojätteen kanssa. Osassa jatkojalostuspaikoissa biohajoavat pussit voivat kuitenkin aiheuttaa ongelmia biojätteen käsittelylaitoksien laitteisiin. Käsittelylaitosten kompostointiprosessi on niin nopea etteivät kompostoituvat muovit ehdi kompostoitua, vaan ne pitää seuloa pois prosessista. Biojätepusseja tekevät biojätteen keräyksestä hygienisempää ja helpompaa, jolloin biojätettä ei päädy sekajätteen joukkoon ja siten saadaan sekajätteestä energiaa paremmin talteen. (Muovipoli Oy 2020.)

Biohajoavat muovit kuuluvat kompostiin, mutta ne voidaan myös kierrättää muiden muovipakkausten mukana. Ne joudutaan kuitenkin lajittelemaan käsittelylaitoksella erikseen, sillä niistä ei saa tehtyä uusiomuovia. (Suomen Uusiomuovi Oy n.d..)

Kaikki biomuovit voidaan kierrättää kemiallisen kierrätyksen menetelmillä, mutta nämä ovat vielä kehitysvaiheessa. Siksi ei voida vielä sanoa, kuinka hyvin biomuovit saadaan kierrätettyä tulevaisuudessa. (Muovipoli Oy 2020.)

Parhaiten tällähetkellä kierrättyvät drop-in-muovit. Osa kompostoituvista muoveista kierrättyvät biojätteen mukana. Biomuovien kierrätys laajenee, kun biomuovien käyttömäärät lisääntyvät tai saadaan kehitettyä kierrätysteknologioita niin, että pienenkin biomuovimäärän kierrättäminen olisi mahdollista. (Muovipoli Oy 2020.)

Heinäkuussa 2021 voimaan tulleen jätelain muutokset 714/2011 pyrkivät nostamaan kotitalousjätteen kierrätysasteen 43 %:sta 55 %:iin. Uusi jätelaki perustuu EU:n jätesäädöspakettiin. Uusi jätelaki velvoittaa, että vähintään viiden huoneiston taloyhtiössä heinäkuusta 2022 lähtien on lajiteltava biojätteet, mikä tarkoittaa käytännössä kaikille taloyhtiöille teolliseen kompostointiin kerättävää jäteastiaa. Vuodesta 2024 lähtien biojätteet on lajiteltava taajamien eli vähintään 10 000 asukkaan keskittymäalueiden omakotitaloissa, joko teolliseen kompostointiin kerättävään astiaan tai kotikompostointina. (Arffman 2021; Finlex 2021.)

3 Kompostointi

Kompostoinnin aikana biojäte hajoaa ja siten syntyy ravinteita. Kompostointi on kierrätystä, jolla voi itse tehdä multaa. Se säästää ympäristöä, sillä jätteet päätyvät takaisin luontoon eikä niitä tarvitse kuljettaa jäteasemalle. Biojäte on eloperäistä elintarvike- tai puutarhajätettä, joka on kokonaan biologisesti hajoavaa ja myrkytöntä. Kompostoitavia jätteitä ovat mm. vihannekset, leipä, tee ja kahvinporot sekä niiden suodattimet, talouspaperi ja kukat. Biojäte on hyvä pilkkoa mahdollisimman pieneksi, koska siten biojätteen pinta-ala kasvaa ja mikro-organismit tarttuvat pinnalle, jolloin biojäte hajoaa nopeammin. Erilaiset ruokajätteet hajoavat eri nopeudella mm. kananmunien sekä sitruhedelmien kuoret hajoavat todella hitaasti. Kompostiin ei sovi tuhka, metalli, lasi tai kemikaalit, sillä nämä haittaavat prosessia eivätkä kompostoidu. Tuhka hidastaa kompostoitumista, koska se nostaa kompostin pH:ta, jolloin kompostista tulee emäksinen. (Oy Botnariosk Ab 2015; Ikonen n.d..)

Biojätteen maatuessa syntyy humusta. Humus on väriltään tummaa ja se muistuttaa ulkonäöltään multaa. Se sisältää humushappoja, tyypeä sekä kuolleita pieneliöitä. Humus hajoaa pieneliöiden ansiosta maassa ravinteiksi, jolloin syntyy multaa. Multa on eloperäisen kasvi- ja eläinaineksen ja kivennäisaineksen seosta. (Tuominen 2011, 85.)

3.1 Kompostoinnin olosuhteet

Kompostoinnissa jätteiden avulla luodaan pieneliöille hyvät elinolosuhteet. Jätteitä hajottavat bakteerit, sienet, sädesienet, lierot ja erilaiset pieneliöt. Pieneliöt vapauttavat jätteistä vettä tai vesihöyryä, hiilidioksidia, ravinteita ja lämpöä. Komposti vaatii toimiakseen happea, ravinteita, kosteutta ja lämpöä. (Biolan Oy n.d. c.)

3.1.1 Happi

Pieneliöt vaativat happea pysyäkseen hengissä. Jotta kompostissa olisi happea, kompostimassan on oltava tarpeeksi kuohkeaa. Kompostia voi sekoittaa tarvittaessa. Liian märkä komposti voi estää hapelliset olosuhteet, jolloin komposti tiivistyy ja hapen määrä vähenee, silloin pieneliöiden toiminta hidastuu tai loppuu kokonaan. Hapettomassa eli anaerobisessa kompostissa toimivat eri bakteerit, jotka mädättävät jätteet. (Biolan Oy n.d. c; Ikonen n.d..)

3.1.2 Kosteus

Kompostin pieneliöt vaativat kosteat olosuhteet, sillä pieneliöiden elinehtona on vesi. Liian kuiva komposti voi johtua niukasta kastelemisesta tai liian harvasta rakenteesta. Puutarhajätteet, kuten oksat ja kukkien varret voivat aiheuttaa kuivuutta harvan rakenteensa vuoksi. Kuivassa kompostissa 20 cm syvyydessä on näkyvissä harmaata tuhkamaista rakennetta. Kotikompostin ideaali kosteus tavallisessa kotitaloudessa voidaan helposti mitata. Kun kompostimassaa puristetaan nyrkissä, siitä on irrottava muutama pisara vettä. (Biolan Oy n.d. c; Ikonen n.d..)

3.1.3 Ravinteet

Pieneliöt tarvitsevat ravinteita, joista tärkeimmät ovat sopiva suhde hiiltä ja typpeä. Hiiltä löytyy eloperäisistä jätteistä, kuten lehdistä, oksista, turpeesta ja heinästä. Typpeä löytyy runsaasti vihreistä kasvinosista, kuten ruohonleikkuujätteistä sekä talousjätteistä. Kompostiin voidaan myös lisätä valmiiksi teollisesti jalostettuja typpivalmisteita, joista yksi on Biolan Kompostihieräte. Biolan Kompostihieräte sisältää reilusti typpeä. (Biolan Oy n.d. a; Biolan Oy n.d. c.)

Kompostihierätteet ovat kompostin toimintaa nopeuttavia aineita, joita voi ostaa sellaisenaan, hankkia luonnosta tai tehdä itse. Kaupalliset kompostihierätteet

sisältävät ravinteita, entsyymejä sekä mikro-organismeja. Kompostiherätteen käyttö ei ole välttämätöntä, mutta niitä kannattaa kuitenkin käyttää etenkin kompostin aloituksessa sekä talvella. Kaupallisen kompostiherätteen tilalla voi käyttää myös tyypeä sisältävää ruohoa tai muita vihreitä kasvijätteitä, biojätteen suotonestettä tai valmistaa viherkäyte. (Ikonen n.d..)

Kompostissa voi olla liian vähän tyypeä, joka hidastaa pieneliöiden lisääntymistä. Jos tyypeä on liian vähän, kompostin lämpötila ei nouse. Kompostin lahoaminen hidastuu ja syntyvä lopputuote on niukkaravinteinen. Liiallinen typpi aiheuttaa kompostiin ammoniakkin hajun, tällöin pieneliöt käyttävät liiallisen typen, joka haihtuu ammoniakkina ilmaan. Sopivan ravinnesuhteen tietäminen on haastavaa, mutta on hyvä tietää, että puutarhakompostissa on yleensä puutetta tyypestä ja talousjätekompostissa liikaa tyypeä. (Biolan Oy n.d. c.)

3.1.4 Lämpötila

Pieneliöt tuottavat toimivaan kompostiin lämpöä, mikä auttaa kompostimullan muodostumisessa. Kompostin ihanteellisin lämpötila on 35–55 °C, koska tällöin pieneliöt ovat aktiivisimmillaan ja siten myös biojäte hajoaa parhaiten. Suomen olosuhteiden vuoksi komposteista haihtuu liikaa lämpöä ja siksi on huolehdittava, että komposti on hyvin eristetty. (Oy Botnariosk Ab 2015; Biolan Oy n.d. c.)

3.1.5 Seosaineet

Elintarvikejätekompostiin lisätään seosainetta eli kuiviketta. Kuivike tekee kompostista ilmavamman ja sitoo kosteutta sekä ravinteita. Lisäksi kuivike nopeuttaa biojätteen hajoamisprosessia. Kuivikkeen lisäys estää kompostoinnin hajuhaittoja sekä karpästen viihtymistä kompostissa. Liiallisen kuivikkeen lisääminen kuitenkin täyttää kompostia sekä saattaa kuivattaa sitä liikaa. (Ikonen n.d..)

Kuivikkeita saa ostettua valmiina tai voidaan käyttää suoraan luonnosta. Sopivia kuivikkeita ovat puiden lehdet, neulaset, heinä, puuhake, kuorike ja turve.

(Ikonen n.d..)

3.2 Fermentointi

Fermentointi on maitohappokäymistä, jossa orgaaninen jäte säilyttää mätänemisprosessiin verrattuna runsaasti enemmän tärkeitä ravintoaineita, kuten typpeä. Fermentointi on anaerobista kompostointia, jossa jätteen väri tummuu prosessin aikana. Fermentoinnin ansiosta biojätteestä saadaan laadukasta esikompostointimateriaalia. (Puutarha.net 2021.)

3.3 Jälkikompostointi

Jälkikompostointi on aina hapellista eli aerobista kompostointia, jonka tarkoituksena on tuottaa fermentoidusta esikompostointimateriaalista tai raaka-ainasta kompostointimullasta laadukasta multaa, jota voidaan käyttää kasvien kasvatukseen. Kompostimulta sitoo kosteutta ja pitää maan ilmavana. Se sisältää runsaasti ravinteita, joten kompostimultaan on hyvä sekoittaa tavallista multaa joukkoon, jotta kasvien juuret eivät vahingoitu. (Oy Botnariosk Ab 2015.)

Jälkikompostointi voidaan jakaa puolikypsään ja kypsään kompostiin. Kompostin kypsyminen kestää puolesta vuodesta vuoteen. Puolikypsä komposti sisältää runsaasti ravinteita ja hajoamatonta puuainesta sekä mahdollisesti munankuoria ja luita. Puolikypsä komposti voidaan levittää puutarhaan katteeksi puiden ja pensaiden alle tai se voidaan jälkikompostoida. (Tuominen 2011, 66-67.)

Jälkikompostoinnissa fermentoitu jäte sekoitetaan vanhaan tai ostettuun multaan. Multaantumisen aikana ravinteikas biojättemassa ravitsee ravintoköyhää multaa multaantuakseen. Jälkikompostointi vaatii lämpöä, happea ja kosteutta. Kosteutta ei saa olla liikaa, jotta jälkikompostointi ei ala käymään. (BioProffa 2019.)

3.4 Mädätys

Mädätyksessä komposti on liian kostea, jolloin se tiivistyy ja alkaa haisemaan. Liian vähäinen seosaine tai sen hienous lisäävät tiivistymistä, jolloin kompostissa on liian vähän happea tai se on kokonaan hapeton. Mädätyksessä anaerobisiin olosuhteisiin erikoistuneet mikrobit hajottavat jätteitä. Kompostista haihtuu typpeä ilmaan, jolloin siitä tulee hajuhaittoja. Mätäneminen aiheuttaa myös metaanipäästöjä ilmaan. (Tuominen 2011 91–92.)

4 Kompostorit

Kotikompostoreita löytyy erilaisiin käyttötarkoituksiin, kuten puutarha-, keittiö- ja käymäläjätekompostointiin. Kompostorit voivat olla aerobisia eli hapellisia tai anaerobisia eli hapettomia. Lisäksi on olemassa teollinen kompostointi, johon käytetään koneita, tekniikkaa, työvoimaa ja aikaa. (BioBag Finland Oy n.d..)

Teollisessa kompostoinnissa olosuhteet ovat tasaiset, jolloin jätteiden hajoaminen on helpompi määrittää. Siinä kompostointi on nopeaa ja tehokasta. Teollisessa kompostoinnissa seurataan lämpötilaa, kosteutta ja pH:ta. Näitä voidaan myös säädellä prosessin aikana. (Bioliike 2013.)

4.1 Aerobinen kompostointi

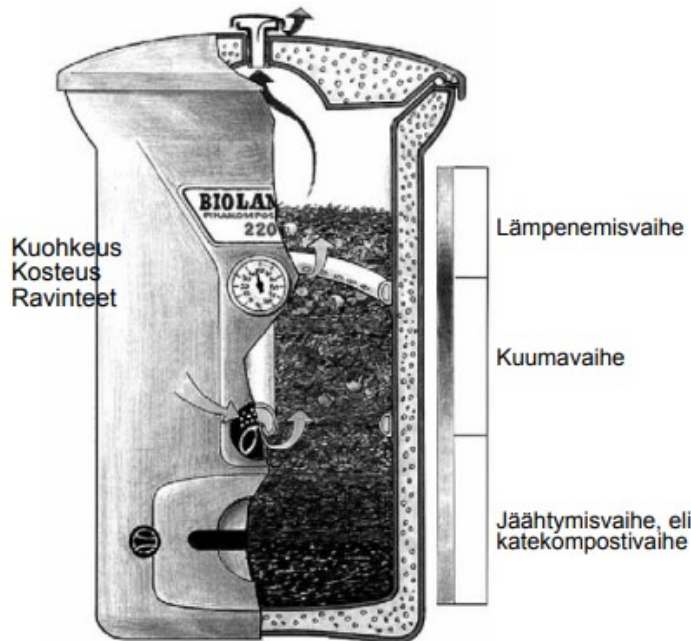
Yksi aerobisista kotikompostoreista on Biolan Pikakompostori 220eco, joka on tarkoitettu kotitalousjätteiden ympärivuotiseen kompostointiin. Sen tilavuus on 220 litraa ja se on tarkoitettu 1–6 henkilön kotitalouteen. Sitä yleensä säilytetään ulkona puutarhassa, mutta tämän työn aikana kompostori oli käytössä sisätiloissa biokaasuhuoneessa. Biolan Pikakompostori 220eco on lämpökompostori, jossa on tehokas ilmanvaihto sekä vahva eristys ja lämpömittari. Se on valmistettu Suomessa. (Biolan Oy n.d. b.)

Kompostorin päällä on kansi, jonka kautta sitä täytetään. Tyhjennys tapahtuu alhaalla olevan luukun kautta. Biolan Pikakompostoriin sopii kaikki kotitalouden biojätteet. Näitä jätteitä ovat hedelmät, vihannekset, kahvinporot sekä niiden suodatinpussit ja talouspaperit. Kompostiin ei voi laittaa hajoamattomia jätteitä, kuten muovia tai lasia, myrkkyjä, tupakantumppeja, suuria määriä paperia tai tuhkaa. Kompostoituminen käynnistyy, kun kompostissa on riittävästi jätettä ja olosuhteet ovat oikeat. (Biolan Oy n.d. d.)

Aerobisen kompostorin kuiva-aine on standardin SFS-EN ISO 14855 (Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions. Method by analysis of evolved carbon

dioxide. Part 1: General method) mukaan oltava 50–55 %, pH 7–9 ja lämpötila $58\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$. Jos materiaalin sulamispiste on alhainen, kompostin lämpötila voi olla eri, mutta sen muutosten pitää olla koko prosessin ajan $\pm 2\text{ °C}$. (SFS 2013.) Aerobinen kompostori tuottaa paljon lämpöä. Bakteereille ihanteellisin kosteuspitoisuus olisi 40–60 %. Jos kosteutta on vähemmän, bakteerien toiminta hidastuu. Jos enemmän, olosuhteet muuttuvat liiasta kosteudesta anaerobiseksi. (BioBag Finland Oy n.d..)

Kompostori jakautuu kolmeen vaiheeseen, jotka ovat lämpenemisvaihe, kuumavaihe ja jäähtymisvaihe. Nämä vaiheet ovat näkyvissä kuvassa 4.



Kuva 4. Biolan Pikakompostori 220econ vaiheet (Biolan Oy 2010).

Kompostoria täytetään ylhäältä, joten jätteiden ensimmäinen vaihe on lämpenemisvaihe, jonka jälkeen tulee kuumavaihe ja lopuksi vielä ennen kompostin tyhjennystä jäähtymisvaihe.

4.1.1 Lämpenemisvaihe

Lämpenemisvaihe tapahtuu kompostorin ylimmässä kerroksessa, jossa lämpötila on 0–40 °C. Siinä mesofiiliset bakteerit eli bakteerit, jotka lisääntyvät näissä lämpötiloissa, käyttävät biojätteen sokereita ja valkuaisaineita hyödykseen. Lämpenemisvaiheessa kompostimassa on hapanta, joten sen pH on alhainen. Tämä vaihe kestää muutaman päivän, kunnes alkaa kuumavaihe. (Biolan Oy 2010; Ikonen n.d..)

4.1.2 Kuumavaihe

Kuumavaihe tapahtuu keskellä yli 40 °C:ssa, jossa toimivat näihin lämpötiloihin erikoistuneet termofiiliset bakteerit ja sädesienet. Ne käyttävät hyödykseen kaikista helpoimmin hajoavia jätteitä eli sokereita ja rasvoja sekä lämpenemisvaiheen pieneliöitä. Nopeiten hajoaminen tapahtuu, kun lämpötila on +35–50 °C. Tämä vaihe kestää muutamasta päivästä muutamaan viikkoon, kunnes alkaa jäähtymisvaihe. (Biolan Oy 2010; Ikonen n.d..)

4.1.3 Jäähtymisvaihe

Jäähtymisvaiheessa eli katekompostivaiheessa muodostuu humusta. Jäähtymisvaiheessa kompostin lämpötila laskee ympäristön lämpötilaan ja kompostin jätettä hajottavat puuainekseen erikoistuneet sienet, sädesienet ja lierot. Nämä hajottavat puuaineksesta ligniiniä ja selluloosaa. Tämä vaihe vie aikaa vähintään kuukausia. (Biolan Oy 2010; Ikonen n.d..)

4.2 Anaerobinen kompostointi

Yksi anaerobisista kompostoreista on BioProffa Bokashi -keittiökompostori. Bokashi on japanista lainattu sana ja tarkoittaa fermentoitunutta orgaanista jätettä. Bokashin avulla biojätteet fermentoidaan biojättemassaksi, joka multaan sekoittamalla muuttuu kompostimullaksi. (BioProffa 2019.)

Bokashiin soveltuu kaikki tavallisimmat kotitalouden ruokajätteet. Sinne eivät kuitenkaan sovellu nestemäiset jätteet, kuten maito, mehu, etikka, öljy tai vesi eikä isot luut, tuhka tai sanomalehdet. (BioProffa 2019.)

4.2.1 Anaerobinen vaihe

Bokashi täytetään biojätteillä, jonka jälkeen odotetaan 2–3 viikkoa tai kunnes toinen bokashi on täynnä. Keittiökompostin jatkuva availu tuo kompostoriin happea, joten jätteitä olisi hyvä lisätä vain kerran päivässä. Jätteet on hyvä pilkkoa ennen lisäämistä, jotta fermentointi pääsee tapahtumaan ja lisätä mikrobirouhetta tai -liuosta. Lopuksi jäte tiivistetään, jotta kompostoriin ei jäisi happea ja jätetään fermentoitumaan. Fermentoidun jätemassan voi tyhjentää kompostoriin tai biojätekeräykseen, mikäli ei halua tehdä kompostimultaa. (BioProffa 2019.)

Fermentoinnin aikana syntyy sivutuotteena ruskeaa bokashinestettä. Bokashi tyhjennetään nesteestä hanan avulla 3–5 päivän välein, jotta sen sisältö ei olisi liian märkää ja se ei alkaisi mädäntymään. Bokashineste on tehokas lannoite laimennettuna kukille, tehokas viemärin puhdistaja sekä kompostin kiihdytin. Bokashineste sisältää kaliumia ja fosforia sekä vähän typpeä. Sen pH:n tulisi olla alle 6, jotta käyminen toimisi odotetusti. Nesteen ihanteellinen pH on 4–5, mikä johtuu maitohapon ja karboksyylihappojen muodostumisesta. (BioProffa 2019; Bokashi Garden Finland 2022.)

4.2.2 Aerobinen vaihe

Bokashin jälkikompostoinnissa fermentoitunut massa sekoitetaan vanhaan multaan suhteessa 1:1. Jälkikompostointi on aerobinen prosessi, joka voidaan tehdä mihin tahansa astiaan, mikä on ulkona jyrsijöiltä suojattu ja se ei ole ilmatiivis. Mikrobeja sisältävä bokashimassa elävöittää vanhaa köyhää käytettyä multaa, jolloin uusi valmistettu multa on ravinteikasta. Multaantuminen kestää lämpimässä 2–3 viikkoa käytettäessä vanhaa multaa. Jälkikompostoinnissa voi

käyttää myös ostettua multaa, jolloin multaantumisen menee hieman pidempään, koska ostettu multa on kuivaa ja siitä puuttuu mikrobit. Ulkona multaantumisen aikana on huomioitava, ettei astiaan pääse satamaan tai että vesi pääsee pois astiasta. Sisätiloissa tehdessä on huomioitava, että astia ei ole liian kostea tai että se ei kuivu lämpimästä sisäilmasta liikaa. Multa-astian pohjalle voi lisätä sanomalehtiä tai biohiiltä imemään liiallisen kosteuden. Mullan ja bokashimassaseoksen päälle on hyvä laittaa kerros multaa päälle hajulukoksi, jotta hajut eivät pääse astian ulkopuolelle. (BioProffa 2019.)

Bokashirouhe on edellytys fermentoitumiseen. Se sisältää vehnälesettä, mikro-organismeja (EM), maitohappobakteereita, hiivoja, erilaisia mineraaleja ja auringonkukkaöljyä. Siinä on myös melassia, joka ruokkii mikrobeja ja siten saa ne tehokkaammiksi. (Ekosoppi n.d.) Bokashirouheen voi myös itse valmistaa käyttämällä EM (effective micro-organism) kantaliuosta, joka sisältää samoja mikro-organismeja kuin valmis rouhe. (Eurogarden n.d.)

Bokashi on pieni ja lähes huomaamaton astia, jota säilytetään sisätiloissa, kuten roskakaapissa tai saunan lämpimällä lattialla. Sen täyttämisen menee viikkoja ja se on melko helppohoitoinen. Sitä täyttäessä on muistettava lisätä bokashirouhetta ja täytyessä tyhjentää kahdesti viikossa bokashinesteestä. Bokashimassasta saa tehtyä helposti kukkamultaa pienissäkin tiloissa, kuten kerrostalon parvekkeella.

Bokashia ei kannata avalla montaa kertaa päivässä, jotta sinne ei pääse liikaa happea. Tämän vuoksi biojätettä voi joutua keräämään erilliseen astiaan, jos jätettä kertyy pitkin päivää. Bokashiin pitää myös ostaa erikseen rouhetta tai valmistaa sitä itse. Bokashiin laitettavat jätteet on ensin pienennettävä, jotta fermentointi tapahtuu. Koska bokashi on keittiökompostori, sinne ei voi lisätä puutarhajätteitä, kuten Biolan pikakompostoriin.

5 Työn kulku

Työssä tutkittavia biopohjaisia muovinäytteitä oli viisi ja lisäksi yhtenä näytteenä oli kartonkikuppi. Työssä käytettäviä kompostoreita oli kaksi, joista toinen oli aerobinen lämpökompostori ja toinen anaerobinen keittiökompostori, jonka jätteet jälkikompostoituihin aerobisesti.

5.1 Näytteet

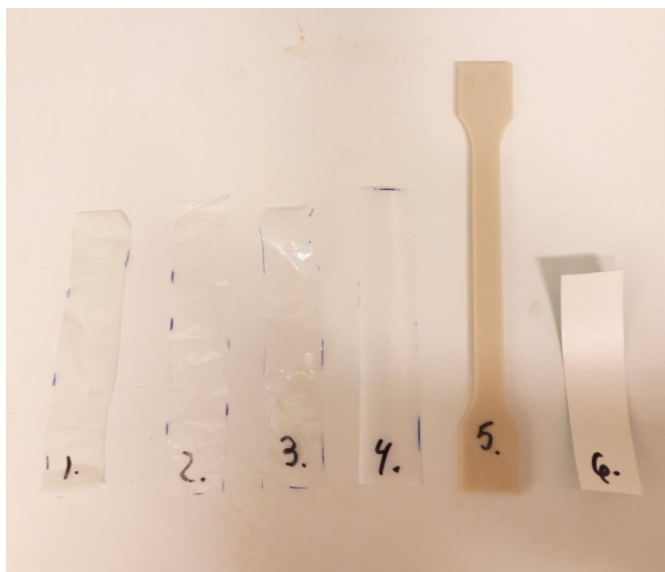
Näytteet 1 ja 2 olivat kaupallisia biojätepusseja, näyte 3 oli biohajoava muovi, näyte 4 oli paksumpi biopohjainen muovikalvo, näyte 5 oli PHBV -muovinen vetokoesauva ja näyte 6 oli kaupallinen kartonkikuppi. Kaikki tutkittavat näytteet näkyvät taulukossa 1.

Taulukko 1. Tutkittavat näytteet.

	Näyte
1	BioMat Biojätepussi 10l
2	Kompostoituva biopussi
3	Harmaa vihannespussi
4	Muovikalvo NP SF 141
5	Vetokoesauva PHBV
6	DUNI Bio kartonkimuki 24 cl Rice Blue

Tutkittavat näytteet 1–4 ja 6 leikattiin kahteen eri kokoon 2 cm x 2 cm ja 2 cm x 10 cm. Lisäksi molempia kokoja oli neljä rinnakkaista näytettä. Näytettä 5 eli PHBV vetokoesauvaa oli yksi näyte Bioproffa Bokashissa ja kaksi Biolan

Pikakompostori 220eco:ssa. Niiden pituudet olivat 15 cm. Kuvassa 5 isommat näytteet ennen kompostointia.



Kuva 5. Alkuperäiset isommat näytteet.

BioMat biojätepussissa ja Kompostoituvassa biopussissa löytyy OK Compost Home -hyväksyntä sekä itulogo, joten näytteiden pitäisi hajota kuuden kuukauden sisällä puutarhakompostorissa. Itulogo kuvaa, että materiaalit täyttävät standardin EN 13432 vaatimukset.

BioMat biojätepussi eli näyte 1 on valmistettu MATER-BI -materiaalista. Tämän Novamontin valmistaman materiaalin valmistuksessa on käytetty tärkkelystä, selluloosaa, kasviöljyä ja niiden yhdistelmiä. Mater-Bi sisältää glukoosiryhmiä (Wallinmaa 2014). Materiaali on osittain fossiilista ja siksi materiaalista on saatu valmistettua ohutta muovia. Se on biohajoava ja kompostoituva muovi, jonka ominaisuudet ovat hyvin samanlaiset kuin perinteisten muovien. (Novamont S.p.A. n.d..)

EU:n kehysasetus 1935/2004 koskee kaikkia elintarvikekontaktimateriaaleja ja -tarvikkeita (Lehtinen ym. 2021, 407). Kompostoituvassa biopussissa eli näytteessä 2 on malja-haarukka symboli, joka kuvaa tuotteen turvallista käyttöä elintarvikkeiden kanssa. Tuotteessa on lisäksi mainittu, että se on

mikromuoviton eli tuotteen hajotessa siitä ei jää mikromuovipartikkeleita, jotka ovat haitallisia erityisesti luonnoneläimille. (Euroopan parlamentti 2018.)

Harmaan vihannespussin eli näyteen 3 materiaali on osakiteistä, koska sen materiaali on läpinäkymätöntä. Näyte on materiaaliltaan PLA-pohjaista biohajoavaa muovia.

Muovikalvo NP SF 141 eli näyte 4 on biohajoava PLA-pohjainen viljelykalvo. Näyte on valkoista osakiteistä läpinäkymätöntä muovikalvoa ja se on reilusti edellisiä näytteitä paksumpaa materiaalia.

Vetokoesauva eli näyte 5 on valmistettu ruiskuvalukoneella ja se sisältää PHBV:tä. PHBV on biopohjainen ja biohajoava muovi (Lehtinen ym. 2021, 151). Näytteen materiaalia on aloitettu tutkimaan jo vuonna 2020 Bio-Plastics Europe -hankkeessa. Materiaalia käytetään yleisesti leluissa ja kalojen syöteissä. (Barbir 2021.)

DUNI Bio kartonkimuki eli näyte 6 on materiaaliltaan FSC-sertifioitua kartonkia. FSC-sertifikaatti kertoo, että tuotteen materiaali tulee metsistä, jonka hoitoa suunnitellaan ja seurataan, jolloin metsät pysyvät hyvässä kunnossa myös tuleville sukupolville. (FSC n.d..) Näyte 6 on kartonkia, joka koostuu puun selluloosasta.

Tuotteessa on lisäksi biopohjainen ja biohajoava PLA-muovibarrieri eli suoja-pinnoite. PLA eli polylaktidi on materiaaliltaan hauras, jähkä ja läpinäkyvä ja sitä käytetään paljon take away astioissa. (Lehtinen ym. 2021, 153.) Suojapinnoitteen ansiosta tuote pysyy paremmin oikeassa muodossa ja lisäksi se toimii vesi-, kuumuudenkesto- sekä aromibarrierina, sillä näitä ominaisuuksia ei kartongilla ole. Tuote on teollisesti kompostoitava ja biohajoava. Se täyttää standardin EN 13432:2000. (Duni Group 2022; Duni Group Suomi n.d..)

5.2 Biolan Pikakompostori 220eco

Biolan Pikakompostori 220eco käynnistettiin 4 päivää ennen näytteiden lisäystä, jotta kompostori olisi toiminnassa näytteitä lisättäessä ja siten

kompostoitumisajan (12 viikkoa) laskenta voisi alkaa heti, kun näytteet olisi lisätty. Biojäte ja komposti olivat kuivia, joten Biolanin Kompostiherätettä lisättiin yhteen litraan kädenlämpöistä vettä. Lopuksi lisättiin Biolanin Komposti- ja Huussikuiviketta biojätteiden päälle ja jäätin odottamaan kompostorin käynnistymistä.

Kompostoriin lisättiin pienennettyä biojätettä, jotta jäte hajoaisi kompostorissa mahdollisimman nopeasti. Näytteet lisättiin kahden metalliverkon päälle, jotta ne olisivat helpommin löydettävissä kompostoinnin päätyttyä. Metalliverkon reikien koko oli 2 mm x 2 mm, sillä standardin EN 13432 mukaan muovin tulee hajota alle 2 mm paloiksi 12 viikon aikana. Näytteet ovat siis hajonneet, kun ne läpäisevät reiät. Kuvassa 6 on näkyvillä näytteet verkkojen päällä.



Kuva 6. Näytteet Biolan pikakompostorissa.

Näytteet 1–3 aseteltiin kompostorin vasemmalle puolelle ja näytteet 4–6 oikealle puolelle. Pienennettyä alle 2 cm kokoista biojätettä aseteltiin varovasti näytteiden päälle, jotta näytteet eivät tipahtaisi verkkojen päältä. Kompostiherätettä lisättiin molempien biojätekerrosten päälle. Koska

kuumavaihealue ei ollut vielä täynnä eikä jätettä ollut enempää saatavilla, päälle lisättiin kuiviketta täytteeksi.

5.2.1 Biolan pikakompostorin olosuhteet

Kahden päivän päästä aukaistiin ilma-aukkoa 20 %:sta 60 %:iin, jotta komposti saisi enemmän happea. Kompostoriin lisättiin vielä pienennettyä biojätettä ja kompostointiherätettä, jotta saatiin metalliverkot kokonaan peittoon. Lisättiin myös turvetta ja hiekkaa sisältävää Greencare puutarhamultaa täytteeksi. (Greencare n.d.) Pikakompostorin olosuhteita eli lämpötilaa, pH:ta ja kuiva-ainetta tarkkailtiin kahden viikon välein koko 12 viikon kompostoinnin ajan. Pikakompostorin olosuhteet taulukoitiin ja ne näkyvät taulukossa 2.

Taulukko 2. Pikakompostorin olosuhteet.

	Lämpötila (°C)	Kuiva-aine (%)	pH
Viikko 2	29	26,9	7.0
Viikko 4	28	28,4	7.0
Viikko 6	27	29,6	6.5
Viikko 8	26	28.3	7.0
Viikko 10	26	28,9	7.0
Viikko 12	26	28,9	6.5

Standardin ISO 14855 mukaan kompostin pH:n tulisi olla 7–9 eli neutraali tai lievästi emäksinen. Saman standardin mukaan kuiva-aineen tulisi olla 50–55 %. (SFS 2013.) Pikakompostorin lämpötila oli koko kompostoinnin ajan melko matala. Koska kompostorin lämpötila oli kuitenkin enemmän kuin huoneenlämpötila, kompostori oli käynnissä koko 12 viikon ajan. Kompostorin lämpömittari on sijoitettu kuumanvaiheen yläreunaan, joten se ei kerro, mikä lämpötila on kuuman vaiheen keskellä. Kompostorin kannen avatessa lämpenemisvaiheen pinta tuntui huoneenlämpötilaa lämpimämmältä.

Taulukossa 2 löytyvät kuiva-ainepitoisuudet on mitattu kosteusanalyysointilaitteen avulla. Jos vertaa standardiin ISO 14855, kompostorin kuiva-ainepitoisuus oli selkeästi liian matala koko kompostoinnin ajan. Viikolla 2 kosteus oli kuitenkin

ihanteellinen kotitestillä mitattuna, sillä kompostimassasta tippui puristaessa muutama tippa vettä. Tämän jälkeen massa oli liian märkä tämän testin mukaan. Viikolla 4 kuiva-aine oli edelleen standardiin ISO 14855 verrattuna liian matala. Ilma-aukkoa ei kuitenkaan avattu isommalle, jotta lämpötila ei laskisi liikaa. Koska kuiva-aineprosentti ei noussut tarpeeksi nopeasti, viikolla 6 avattiin ilma-aukko 60 %:sta 100 %:iin. Kompostori kuivahtaa helposti, jos sinne ei lisätä jätettä tai sinne laitetaan täytteeksi kuivikkeita, jotka imevät kosteutta. Poistoilmaventtiilin avaus olisi voinut poistaa liian kosteuden, mutta samalla se olisi voinut laskea lämpötilaa liikaa. Bakteereille optimaalinen kuiva-ainepitoisuus on 40–60 % (BioBag Finland Oy n.d.).

Kompostin pH oli 7 suurimman osan 12 viikosta, joten sille ei ollut tarvetta tehdä muutoksia. Happamuuden määrittämisessä voi olla pientä mittauksellista epätarkkuutta, sillä pH tutkittiin pH-indikaattoripaperin avulla visuaalisesti.

Seuraavien 12 viikon aikana verkkojen päälle oli muodostunut haisevat jätepatjat. Jätepatjojen ja verkon välistä löytyivät näytteet. Jätepatja on näkyvissä kuvassa 7.



Kuva 7. Lämpökompostorin jätepatja.

Jätepatjassa oli selkeästi näkyvissä päällimmäisessä kerroksessa multaa ja alemmissa kerroksissa ruuan jäämiä. Kompostori ei lämmennyt kunnolla ja sen massa oli selkeästi liian tiivistä. Kuivikkeen lisäys sekä möyhentäminen olisi auttanut. Jätepatjojen olemassaolo tuli kuitenkin tietoon vasta näytteitä etsiessä. Kompostorin lämpötila oli matala koko prosessin ajan. Syynä voi olla liian vähäinen jätemäärä tai kompostori ei vielä ollut käynnistynyt kunnolla.

5.3 BioProffa Bokashi

Bioproffa Bokashin käyttö perustui Bokashin omaan ohjeeseen, jossa fermentoituminen alkaa, kun astia on täynnä jätettä. Fermentoitumisen vähimmäisaika on 2 viikkoa ja enimmillään kuukausia. Jälkikompostoinnin tavoiteaika on 2–3 viikkoa. (BioProffa 2019.)

5.3.1 Bokashin anaerobinen vaihe

Bokashin käyttö aloitettiin lisäämällä käsipaperia välipohjan päälle, jotta välipohjan reiät eivät tukkeutuisi fermentoinnin aikana. Ennen biojätteiden lisäystä annosteltiin mikrobirouhetta 2 rkl käsipaperien päälle, jotta jäte fermentoituisi myös pohjalta. Astiaan lisättiin pienennettyä, 1–2 cm kokoista biojätettä kahdessa erässä ja päälle mikrobirouhetta. Näytteet 1–3 lisättiin bokashin puoliväliin metalliverkon päälle. Verkon tehtänä oli helpottaa näytteiden löytämistä etenkin niiden hajottua. Näytteiden päälle lisättiin kerros jätettä sekä bokashirouhetta. Näytteet 4–6 lisättiin ilman verkkoa, sillä nämä näytteet olivat selkeästi muita näytteitä paksumpia ja siten helpommin löydettävissä. Biojätettä lisättiin vielä kolmessa osassa ja rouhetta lisättiin jokaisen kerroksen päälle. Lopuksi bokashin täytyttyä paineltiin jäte tasaiseksi ja suljettiin kansi tiiviisti, jotta astiaan jäisi mahdollisimman vähän happea.

5.3.2 Bokashin anaerobisen vaiheen olosuhteet

Bokashi jätettiin fermentoitumaan ja siitä tyhjennettiin bokashinestettä. Kuvassa 8 on näkyvillä bokashinesteen tyhjennystä alhaalla olevan hanan kautta.



Kuva 8. Bokashinesteen poistoa.

Nestettä poistettiin Bokashista ensin viikon välein, jonka jälkeen siirryttiin kahdesti viikossa -rytmiin, koska nestettä kertyi niin paljon. Bokashinesteen määrää ja sen pH:ta seurattiin koko fermentoitumisen ajan. Nämä tiedot näkyvät taulukossa 3.

Taulukko 3. Bokashinesteen määrä ja pH.

	Nesteen määrä (ml)	pH
Viikko 1	660	4.5
Viikko 2	780	4.0
Viikko 2,5	140	4.0
Viikko 3	80	4.0

Kahden ensimmäisen viikon nesteen määrä oli todella korkea, mikä johtui biojätteestä, joka sisälsi paljon nestettä sisältäviä kastikkeita. Taulukosta 3 nähdään, että bokashinesteen tyhjennys olisi pitänyt tehdä alusta asti kahdesti viikossa, jotta oltaisiin voitu välttää astiassa bokashinesteen ja jätteen kosketus toisiinsa. Vaikka viikolla 3 nestettä tuli edelleen astiasta, fermentointi lopetettiin, koska fermentoitu jäte sekoitettiin melko kuivaan ja ravintoköyhään ostettuun multa (Greencare n.d.). Bokashinesteen ihanteellinen pH on 4–5 ja siinä pysyttiin, joten ei ollut tarvetta muuttaa sen pH:ta (Bokashi Garden Finland 2022).

5.3.3 Bokashin aerobinen vaihe

Kolmen viikon fermentoitumisen jälkeen siirrettiin bokashin sisältö aerobiseen jälkikompostointiin multaantumaan. Jälkikompostointiastian pohjalle lisättiin käsipaperia ja päälle 5 cm multaa imemään liiallinen kosteus jälkikompostoinnin aikana. Fermentoitunut jäte sekoitettiin multa erillisessä astiassa kahdessa osassa ja suhteessa 1:1. Ensimmäinen osa seoksesta kaadettiin astiassa olevan multakerroksen päälle ja lisättiin fermentoitumassa olleet näytteet kahden ritilän päälle. Jälkikompostointiastian näytteet näkyvät kuvassa 9.



Kuva 9. Näytteet ennen jälkikompostointia.

Fermentoinnin jälkeen osa näytteistä oli värjäätynyt jätteestä, mutta muuten näytteet olivat alkuperäisessä kunnossa eivätkä olleet visuaalisesti tarkasteltuna hajonneet. Eniten jätemassasta väriä oli imeytynyt kartonkinäytteeseen. Vetokoesauva ja isot kartonkinäytteet eivät mahtuneet metalliverkkojen päälle, joten ne aseteltiin metalliverkkojen ympärille.

Loput multa-fermentointimassa-seoksesta lisättiin näytteiden päälle ja lisättiin vielä 5 cm multaa, jotta jälkikompostointi ei päästäisi hajua huoneilmaan. Astian kansi jätettiin raolleen, jotta happea pääsisi astiaan.

5.3.4 Bokashin aerobisen vaiheen olosuhteet

Jälkikompostoinnin olosuhteita eli kosteutta ja lämpötilaa seurattiin viikoittain.

Kosteutta tarkkailtiin visuaalisesti ja lämpötilaa lämpömittarin avulla.

Jälkikompostoinnin lämpötilat näkyvät taulukossa 4.

Taulukko 4. Jälkikompostoinnin lämpötilat.

	Lämpötila (°C)
Viikko 1	37
Viikko 2	25
Viikko 3	24
Viikko 4	24

Ensimmäisen viikon jälkikompostoinnin jälkeen lämpötila oli korkeimmillaan 37 °C eli silloin mikrobitoiminta oli vilkkaimmillaan. Tästä eteenpäin lämpötila laski nopeasti ja kahtena viimeisenä viikkona lämpötila oli enää 24 °C eli hieman korkeampi kuin huoneenlämpötila (22 °C).

Jälkikompostoinnin loputtua pintamulta oli osittain kuiva eikä päällä olleen kannen alle ollut kerääntynyt kosteutta, kuten aiemmilla viikoilla. Kuvassa 10 on näkyvillä kuivahtanut pintamulta.



Kuva 10. Jälkikompostoinnin pintamulta.

Pintamultaa olisi voinut kastella vedellä, jos multaantuminen olisi jatkunut pidempään, mutta tähän ei ollut tarvetta, sillä pinta oli ollut kostea viikkoa aikaisemmin. Jälkikompostoinnin pintamullan alla näkyi vielä ruuan jäämiä, mutta ne eivät olleet enää tunnistettavissa.

Astian sisältö oli keskeltä kuiva, mikä näkyi selkeästi harmaana kerroksena. Kuvassa 11 on näkyvillä jälkikompostoinnin harmaa kuiva kerros, joka oli ritilöiden alla.



Kuva 11. Kuivahtanut jälkikompostointi.

Jälkikompostoitu multa oli selkeästi harmaata ja muistutti tuhkamaista rakennetta, joten se oli liian kuivaa. Jälkikompostoinnissa ohuimmat biomuovi näytteet eli näytteet 1–3 olivat jääneet kiinni metalliverkkoon, josta näytteet eivät lähteneet kokonaan irti. Näytteitä ei olisi kannattanut asetella verkon päälle vaan näytteiden ja verkon väliin olisi pitänyt lisätä kerros multa-jätseosta. Lisäksi näytteet olivat imeneet kosteutta, joten näytteitä ei kannattanut punnita ja vertailla alkuperäiseen massa.

6 Tulokset

Molempien kompostoreiden tuloksia tarkasteltiin visuaalisesti kuvien avulla, joita vertailtiin alkuperäiseen näytteeseen. Käytössä oli Shimadzun FTIR-laite, jossa oli ATR-taso. FTIR-spektri kertoo materiaalin kemiallisen rakenteen ja sen tuloksia vertailtiin alkuperäiseen näytteeseen.

6.1 Biolan Pikakompostori 220e

Jotta oltaisiin voitu välttää kompostorin mätäneminen, lämpökompostorin ilma-aukko olisi pitänyt avata 100 % heti alusta alkaen. Jatkossa massan kuiva-ainetta on tarkkailtava koko prosessin ajan viikoittain tai joka toinen viikko ja avattava ilmanpoistoa tarvittaessa, möyhennettävä, lisättävä kuiviketta tai vettä tarpeen mukaan.

Näytteitä 1 ja 4 on käytetty aiemmin Turun ammattikorkeakoulun projektissa, Biomuovien hajoaminen anaerobisissa olosuhteissa. Näyte 1 hajosi kokonaan projektin aikana eikä yhtään sen rinnakkaista näytettä löydetty 12 viikon kompostoinnin jälkeen. Näytteen 4 kemiallisen rakenteen hajoamisen muutokset olivat vähäiset, joten todennäköisesti näyte ei hajonnut kompostoinnin aikana. Näytteen 4 FTIR kuvaaja liitteenä 1. (Jokisalo ym. 2021.)

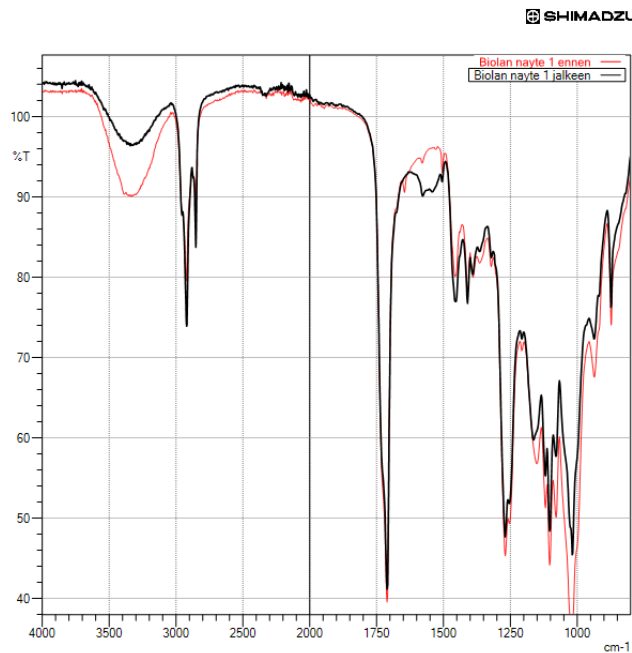
6.1.1 Biomat Biojätepussi

Näytteestä 1 löydettiin kompostoinnin jälkeen kaikki isot näytteet sekä puolet pienistä näytteistä. Kompostoidut näytteet sekä yksi alkuperäinen näyte näkyvät kuvassa 12.



Kuva 12. Näyte 1 ennen ja jälkeen Biolan pikakompostorin.

Näytteet olivat selkeästi värjäytyneet tummiksi, mutta muuten ne näyttivät alkuperäisen kuntoisilta. Kaksi pienempää näytettä, joita ei löydetty ovat joko hajonneet kokonaan tai jääneet huomaamatta. Koska näyte 1 hajosi aiemmassa projektissa kokonaan, nämä pienet näytteet myös luultavasti hajosivat kompostoinnin aikana. Kuvasta 13 nähdään näytteen FTIR-kuvaajat.



Kuva 13. Näytteen 1 FTIR-kuvaajat ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Biolan pikakompostorin.

Näytteen rakenteessa on jonkin verran tapahtunut muutoksia kompostoinnin aikana, kun FTIR-kuvaajaa vertaillaan alkuperäiseen. Näytteen 1 FTIR-kuvaajassa näkyy muutoksia koko käyrän ajan. Näyte 1 on hydrofiilinen materiaali, joka sisältää glukoosiryhmiä, jotka ovat kiinni toisissaan happisilloilla. Kompostoinnin aikana saattaa katketa polymeerin happisillat, jolloin syntyisi monosakkarideja eli yksittäisiä glukooseja. Happisillat katkeaisivat FTIR -spektrissä aaltoluilla 1050–1410 cm⁻¹ ja näissä aaltoluissa on näkyvillä muutoksia. Alkoholiryhmät katkeavat aaltoluilla 1050–1410 cm⁻¹ ja 3200–3600 cm⁻¹. Näillä aaltoluilla näkyy muutoksia, joten luultavasti näin on tapahtunut. FTIR-kuvaajan alussa näkyy eri kokoisia muutoksia, jossa luultavasti materiaali on imenyt vettä itseensä ainakin aaltoluilla 2700–3500 cm⁻¹. (Seppänen ym. 2013, 148-167.)

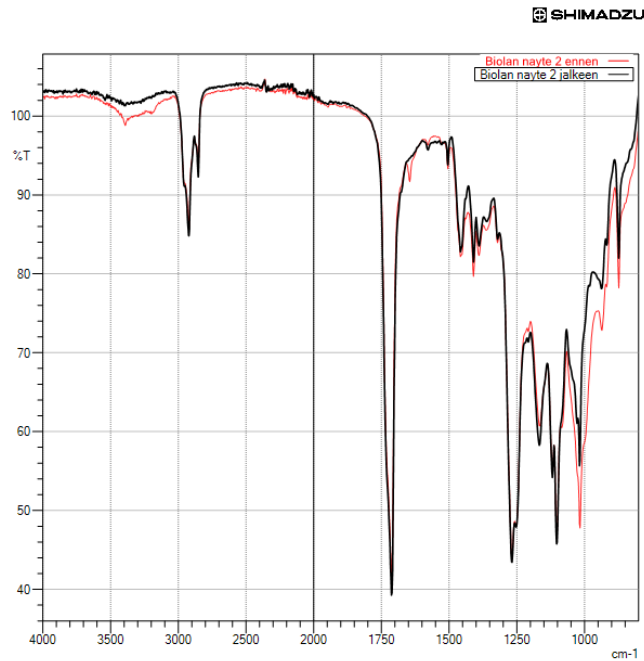
6.1.2 Kompostoituva biopussi

Näytteen 2 kaikkia näytteitä ei löydetty kompostoinnin jälkeen. Näytteet olivat tummentuneet ainakin osittain ja kaksi pienempää rinnakkaista näytettä ei löytynyt kompostoinnin jälkeen. Kuvassa 14 näkyy kaikki löytyneet näytteet sekä kuvan vasemmassa reunassa alkuperäinen näyte 2.



Kuva 14. Näyte 2 ennen ja jälkeen Biolan pikakompostorin.

Näytteet olivat tummentuneet, mutta ne olivat silti helposti tunnistettavissa. Näytteet olivat rypistyneet eivätkä olleet aukaistavissa hajoamatta. Näytteiden 1 ja 2 FTIR-käyrät ovat hyvin samannäköiset, joten näytteet ovat samantyyppistä materiaalia keskenään. Kuvassa 15 on esillä näytteen 2 FTIR-kuvaaja.



Kuva 15. Näytteen 2 FTIR-kuvaajat ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Biolan pikakompostorin.

Näytteen 2 FTIR-spektrissä ei näy suuria muutoksia. Näyte on saattanut imeä vettä itseensä, sillä käyrän alussa näkyy muutoksia ja veden aaltoluku on 2700-3500 cm^{-1} . Koska näyte 1 on hydrofiilinen ja näytteet muistuttavat rakenteeltaan toisiaan, näyte 2 on luultavasti myös hydrofiilinen. Kuvaajassa näkyy muutoksia erityisesti sen loppupäässä aaltoluvuilla $< 1100 \text{ cm}^{-1}$. Hajoamista on siis saattanut tapahtua kompostoinnin aikana materiaalin happisilloissa ja alkoholiryhmissä. (Seppänen ym. 2013, 148-167.)

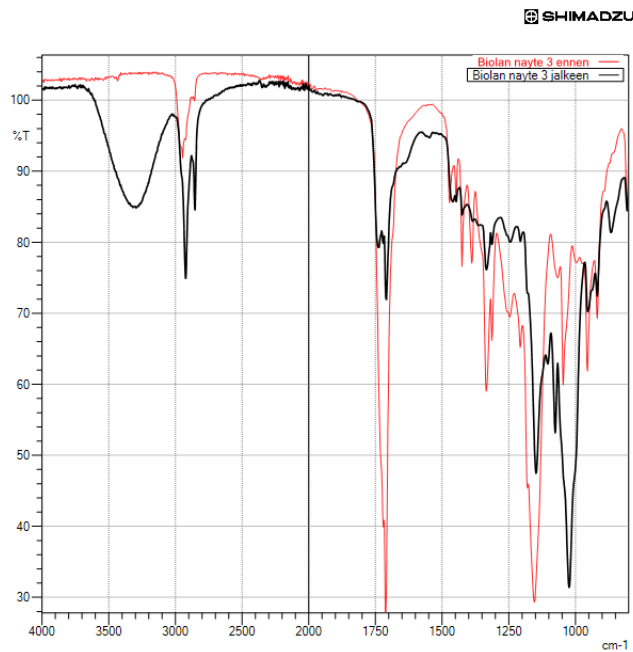
6.1.3 Harmaa vihannespussi

Näyte 3 on osittain tummentunut kompostoinnin aikana. Kuvasta 16 nähdään, että kaikki näytteet löytyivät kompostista kokonaisina.



Kuva 16. Näyte 3 ennen ja jälkeen Biolan pikakompostorin.

Näyte 3 on osakiteistä, joten siinä on heikot sidokset. Todennäköisesti heikkojen sidosten vuoksi pidemmät näytteet ovat haurastuneet kompostoinnin aikana ja siksi katkenneet. Osakiteiset muovit kestävät hyvin kulutusta, joten siksi ne eivät ole hajoa helposti (Majamaa 2012). Kuvassa 17 nähdään näytteen 3 rakenteessa tapahtuneet muutokset.

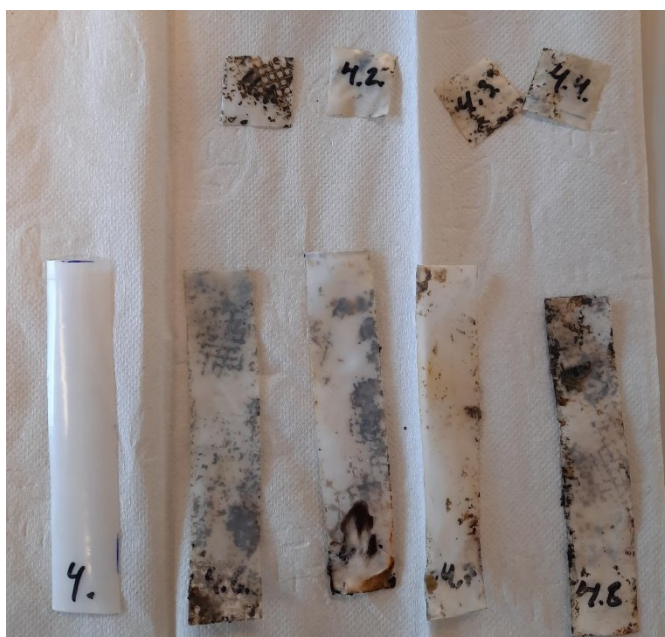


Kuva 17. Näytteen 3 FTIR-kuvaajat ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Biolan pikakompostorin.

Materiaalin kemiallisessa rakenteessa on tapahtunut muutoksia koko FTIR-kuvaajan ajan. Näytteen FTIR-spektrissä aaltoluvuilla 1050–1410 cm⁻¹ ja 1700–1750cm⁻¹ näkyy muutoksia, jotka luultavasti johtuvat esterin hajoamisesta. Esteri yhdessä veden kanssa hajoaa karboksyylihapoksi ja alkoholiiksi. Suurin rakennemuutos on tapahtunut alueella 1700–1750cm⁻¹, jossa kaksoissidos hiili- ja happiatomien välillä on hajonnut. Tämä tarkoittaisi näytteen 3 sisältämän PLA-muovin ja sen esterin hajoamista tai sen jälkeistä karboksyylihapon hajoamista. Jos karboksyylihappo on hajonnut, silloin todennäköisesti myös alkoholiryhmä on hajonnut ja se tapahtuisi aaltoluvun ollessa 1050–1410 cm⁻¹ ja 3200–3600 cm⁻¹. Kuvaajassa näkyy näissä aaltoluvuissa muutoksia. Näytteen rakenne on saattanut hajota kompostoinnin aikana alkuperäisestä, mutta näyte ei vielä ole kompostoitunut, koska kaikki näytteet löytyivät kompostoinnin jälkeen. (Seppänen ym. 2013, 148-167.)

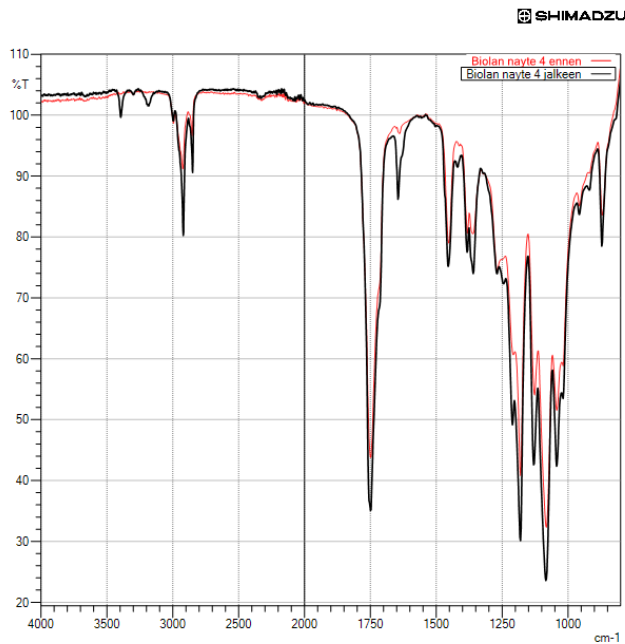
6.1.4 Muovikalvo NP SF 141

Näyte 4 on muita näytteitä paksumpaa muovikalvoa. Näytteen pinta on värjäätynyt kompostin jätteistä, mutta näyte ei kuitenkaan ole imenyt väriä vaan jätteiden jäämät olivat jääneet näytteiden pintaan ja ne olisivat lähteneet vesihuuhtelulla. Tämä johtuu luultavasti näytteen hydrofobisuudesta. Kaikki näytteet löytyivät kompostista kokonaisina, kuten kuvasta 18 voidaan nähdä.



Kuva 18. Näyte 4 ennen ja jälkeen Biolan pikakompostorin.

Kaikki näytteet olivat muuttuneet hieman aaltoilevaksi, kuten kuvasta 18 voidaan todeta. Näytteen pinta ei myöskään enää kompostoinnin jälkeen kiiltänyt samalla tavalla kuin alkuperäinen. Näytteen ulkonäössä oli tapahtunut muutoksia, mutta selkeää hajomista näytteissä ei näy. Kuvassa 19 FTIR kuvaaja osoittaa, ettei näytteen rakenteessa ole juurikaan tapahtunut muutoksia.



Kuva 19. Näytteen 4 FTIR-kuvaajat ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Biolan pikakompostorin.

Näytteen 4 FTIR-kuvaajassa nähdään pieniä muutoksia alkuperäiseen verrattuna. PLA-muovissa olevan esterin hajominen tapahtuu aaltoluviilla 1050–1410 cm^{-1} ja 1700–1750 cm^{-1} . Näytteen FTIR-kuvassa näkyy muutoksia näillä pienemmillä aaltoluviilla, mutta ei voida todeta, että materiaali olisi vielä hajonnut. (Seppänen ym. 2013, 148-167.)

Liitteessä 1 on näytteen 4 FTIR-kuvaaja projektista, Biomuovien hajoaminen anaerobisissa olosuhteissa, jossa näkyy myös samanlaisia muutoksia. Kompostointiaika ja komposti olivat molemmissa samoja, mutta projektissa näyte oli kuitenkin hajonnut hieman enemmän, mikä luultavasti johtuu erilaisista olosuhteista. (Jokisalo ym. 2021.)

6.1.5 Vetokoesauva PHBV

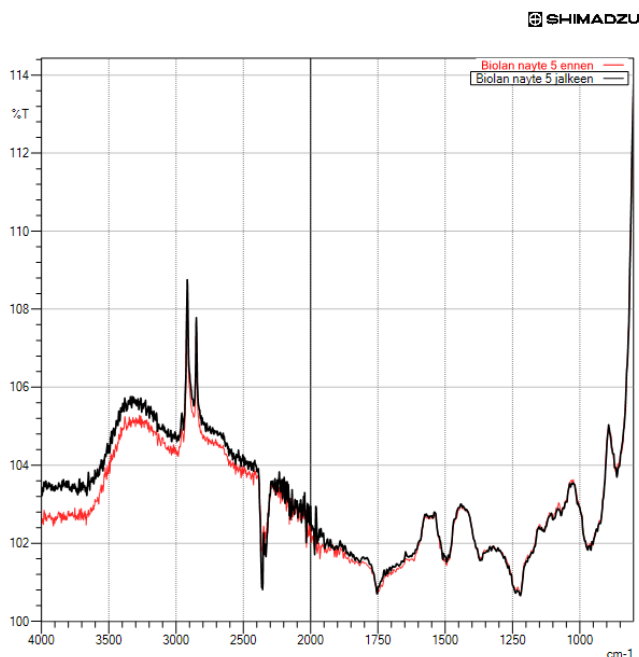
Näytteen 5 pinnalle on jäänyt kompostoinnista jätteiden jäämiä, mutta nämä olisivat puhdistuneet vesihuuhtelulla. Kuvassa 20 näkyvät kompostoinnissa

olleet kaksi vetokoesauvaa sekä vasemmalla pala alkuperäistä näytettä, josta voidaan vertailla alkuperäisen ja kompostoitujen näytteiden värimuutoksia.



Kuva 20. Näyte 5 ennen ja jälkeen Biolan pikakompostorin.

Värieroja alkuperäiseen verrattuna ei näy eikä näytteet vaikuta hajonneen, koska näytteet ovat kokonaisia eikä niissä ole näkyvillä murtumakohtia. Kuvan 21 FTIR-kuvaajassa näkyy pientä rakennemuutosta.



Kuva 21. Näytteen 5 FTIR-kuvaajat ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Biolan pikakompostorin.

Näytteen FTIR-kuvaaja on samanlainen kuin alkuperäinen, mutta kompostissa olleen näytteen tranmittanssiprosentti on suurilla aaltoluviilla hieman suurempi. Suurimmillaan ero on alle 1 %, joten merkittävää muutosta eikä hajoamista ole tapahtunut.

6.1.6 DUNI Bio kartonkimuki

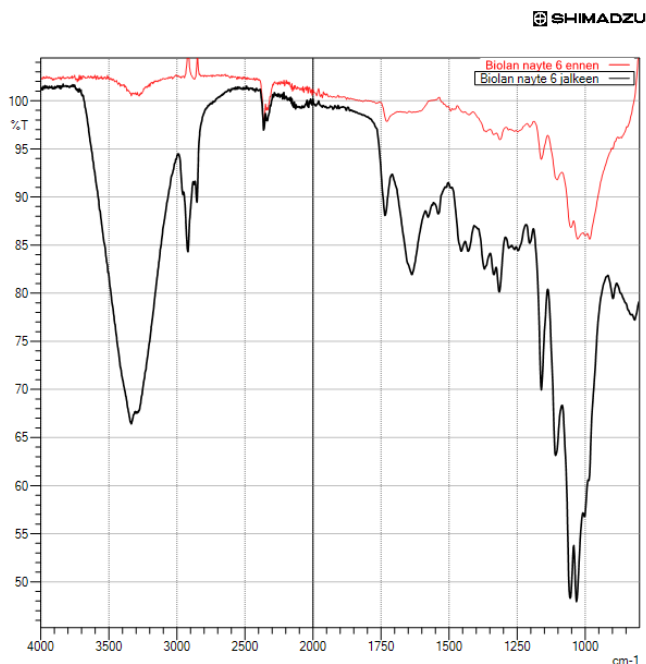
Näyte 6 on kartonkia, joka on selluloosaa. Selluloosa koostuu glukoosimolekyyleistä. Kartonkipakkauksessa on myös PLA-muovia, joka sisältää esteriryhmiä.

Osa näytteistä on värjäätynyt tummiksi ja loput täysin mustiksi. Näytteet muistuttavat humusta, mutta ne eivät ole sitä. Osa näytteiden muovibarriereista on irronnut osittain ja osa on lähtenyt kokonaan irti. Nämä näkyvät kuvassa 22.



Kuva 22. Näyte 6 ennen ja jälkeen Biolan pikakompostorin.

Yksi näytteistä on katkennut kompostoinnin aikana ja loput tummuneet ja taittuneet. Näytteet ovat imeneet kosteutta ja FTIR-laitteeseen aseteltaessa näytteet olivat vielä kosteita. Kuvassa 23 näkyy näytteen 6 FTIR-kuvaaja, jossa näkyy suuria muutoksia alkuperäiseen näytteeseen verrattuna.



Kuva 23. Näytteen 6 FTIR-kuvaajat ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Biolan pikakompostorin.

Näytteen 6 FTIR spektrin alussa aaltoluviilla $2700\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ näkyvät muutokset luultavasti johtuvat näytteen kosteudesta eli veden imeytymisestä näytteen selluloosaan. Muut muutokset, jotka luultavasti johtuvat veden imeytymisestä näytteen selluloosaan näkyvät aaltoluviilla 1700 cm^{-1} ja 800 cm^{-1} . (Seppänen ym. 2013, 148-167.)

Suuria muutoksia on tapahtunut aaltoluvun ollessa $< 1750\text{ cm}^{-1}$. FTIR-kuvaajassa on tapahtunut muutoksia aaltoluviilla $1050\text{--}1410\text{ cm}^{-1}$ ja $1700\text{--}1750\text{ cm}^{-1}$. Näissä aaltoluviissa näytteessä oleva esteriryhmä luultavasti on hajonnut. PLA-muovin esteriryhmä on saattanut hajota, jolloin vesi olisi liittynyt hydrolyysillä ja näin muodostuisi karboksyylihappo ja alkoholi. Kartongissa olevan selluloosan pitkän suoran ketjun happisillat ovat saattaneet hajota, jolloin syntyisi yksittäisiä glukoosimolekyylejä. (Seppänen ym. 2013, 148-167.)

6.2 Bioproffa Bokashi

Bokashi keittiökompostorin fermentoinnin aikana bokashinestettä on tyhjennettävä kahdesti viikossa, jotta voidaan välttää nesteiden osuminen jätteeseen. Näytteet on sijoitettava astian keskivaiheille. Fermentoitus-aika työssä oli sopiva eli 3 viikkoa, sillä edellisessä projektissa se oli lyhyempi eikä siinä saatu yhtä hyviä tuloksia vaan näytteiden FTIR-kuvaajissa ei näkynyt niin paljon muutoksia. (Jokisalo ym. 2021.) Nesteen pH:ta tarkkailemalla saadaan tietää, onko kompostiin päässyt happea. Bioproffa Bokashissa kannen pullistuminen kertoo saman eli silloin kompostorin käymisestä tulevat kaasut eivät ole päässyt pois astiasta ja kompostori on silloin ilmatiivis eli hapeton.

Bokashin jälkikompostointivaiheessa fermentoitu jäte on sekoitettava erillisessä astiassa mullan kanssa. Näytteet on laitettava jälkikompostointiastian puoliväliin. Jälkikompostoinnin lämpötilaa on tarkkailtava, että se on yli sisälämpötilan. Jälkikompostoinnin aika 4 viikkoa on sopiva, mutta kosteutta on tarkasteltava ja pintaa kasteltava, jos se kuivahtaa. Standardin EN 13432 mukaan anaerobisen biohajoavuuden testi saa kestää enimmillään 2 kk (SFS 2001).

Projektissa, Biomuovien hajoaminen anaerobisissa olosuhteissa, tutkittiin samoja näytteitä 1 ja 4 kuin tässä opinnäytetyössä. Opinnäytetyön näyte 1 on projektin näyte 2 ja opinnäytetyön näyte 4 on projektin näyte 5. Projektissa kumpikaan näyte ei ollut kokonaan hajonnut 3,5 viikon fermentoinnin ja 2 viikon aerobisen jakson aikana. Projektissa olleiden näytteiden FTIR-kuvaajat liitteenä 2 ja 3. Näytteessä 1 näkyi muutosta FTIR-kuvaajassa, mutta näytteessä 4 ei.

6.2.1 BioMat Biojätepussi

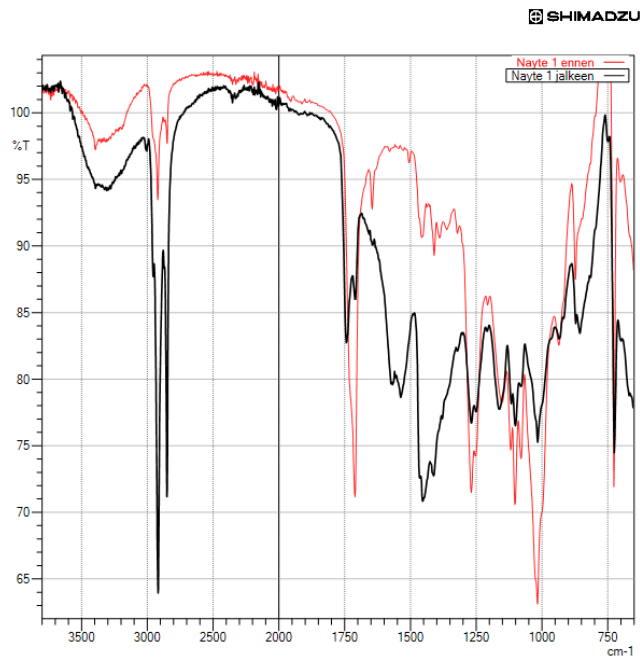
Kaupallisen BioMat biojätepussin kaikki pienet näytteet ovat saattaneet hajota jälkikompostoinnin aikana, sillä niitä ei löydetty enää kompostoinnin jälkeen. Lämpökompostorissa näytteet olivat tummuneet, mutta eivät rypistyneet, joten Bokashi kompostoinnissa hajoamista oli tapahtunut enemmän. Kuvassa 24 on

näkyvillä alkuperäinen isompi näyte sekä jälkikompostoinnin jälkeen löytyneet näytteet.



Kuva 24. Näyte 1 ennen ja jälkeen jälkikompostoinnin.

Osa isommista näytteistä oli hädin tuskin tunnistettavissa, mutta kaikki näytteet löytyivät kuitenkin ainakin osittain. Näytteet olivat reilusti pienentyneet, hauraita ja rypistyneitä sekä osittain hajonneita. Kuvassa 25 on näkyvillä näytteen FTIR-spektri.



Kuva 25. Näyte 1 ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Bokashi kompostorin.

Näytteen 1 rakenne on todennäköisesti hajonnut kompostoinnin aikana, koska alkuperäisen näytteen ja kompostoidun näytteen FTIR-spektrit ovat hyvin erinäköisiä. Kompostissa ollut kosteus on todennäköisesti katkaissut polymeeristä happisillat, jolloin polymeeri olisi hajonnut yksittäisiksi glukooseiksi. Hiilen ja hapen väliset sidokset katkeavat aaltolukujen ollessa $1050\text{--}1410\text{ cm}^{-1}$ ja kuvaajassa näkyy muutoksia näissä aaltoluvuissa. Glukoosi monomeerit ovat luultavasti hajonneet, koska FTIR-kuvaajassa on muutoksia alkoholiryhmän aaltoluvuilla $1050\text{--}1410\text{ cm}^{-1}$ ja $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$. Kompostissa ollut kosteus on luultavasti imeytynyt näytteeseen, sillä veden aaltoluvuilla 800 cm^{-1} , 1700 cm^{-1} ja $2700\text{--}3500\text{ cm}^{-1}$ näkyy muutoksia FTIR-kuvaajassa. (Seppänen ym. 2013, 148-167.)

Projektissa olleen saman näytteen FTIR-kuvaajassa näkyy muutoksia, joka löytyy liitteenä 2. Tästä kuvaajasta ei voida kuitenkaan sanoa, että näytteet olisivat vielä hajonneet. (Jokisalo ym. 2021.)

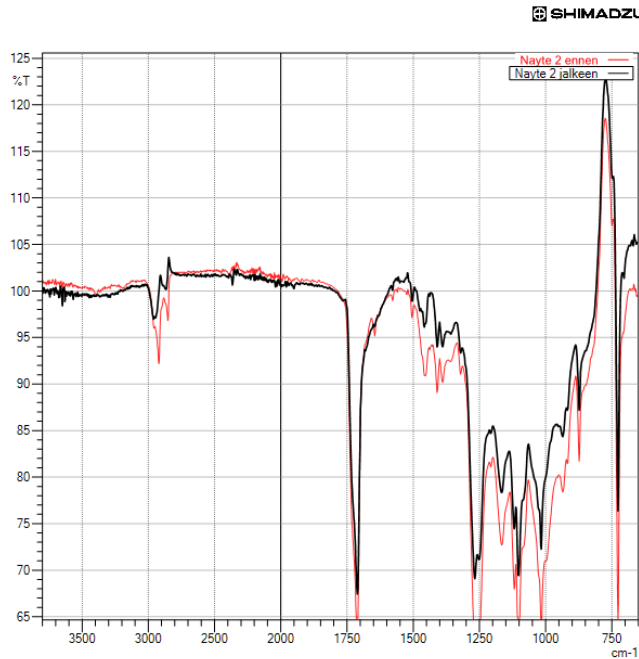
6.2.2 Kompostoituva biopussi

Kompostoituvan biojätepussin näytteet olivat paksuuntuneet, mutta myös lyhentynyt pituudestaan. Näytteet olivat tummunut kompostoinnin aikana, kuten myös näyte 1. Kuvasta 26 nähdään, että ainoastaan kaksi isompaa näytettä löytyivät kompostoinnin jälkeen ja muut näytteet olivat kokonaan kadonneet.



Kuva 26. Näyte 2 ennen ja jälkeen jälkikompostoinnin.

Näytteen leveyttä ei pystytty tutkimaan ilman, että näyte hajoaisi. Näytteet olivat hauraita, joten niitä käsiteltiin varovaisesti. Kuvan 27 FTIR-spektristä näkyy, että näytteen kemiallisessa rakenteessa on tapahtunut muutoksia.



Kuva 27. Näyte 2 ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Bokashi kompostorin.

Kuvia 15 ja 27 vertaillen huomataan, että näytteen 2 rakenteessa on tapahtunut suurempia muutoksia Bokashi kompostoinnissa.

Lämpökompostorissa olleissa näytteissä suurimpia muutoksia on tapahtunut aaltoluvun ollessa $< 1050 \text{ cm}^{-1}$. Bokashi kompostorin näytteissä pieniä muutoksia on tapahtunut koko kuvaajan ajan. Suurimmat muutokset ovat tapahtuneet, kun aaltoluku on $< 1500 \text{ cm}^{-1}$. Tästä voidaan päätellä, että kaikista näytteiden rakenteista on todennäköisesti hajonneet ainakin happisillat, koska näyte 2 muistuttaa rakenteeltaan näytettä 1. Hapen ja hiilen väliset sidokset katkeavat aaltolukujen ollessa $1050\text{--}1410 \text{ cm}^{-1}$ ja FTIR-kuvaajassa näillä aaltoluvuilla on tapahtunut muutoksia. Näyte on luultavasti myös imenyt vettä itseensä, sillä veden aaltoluvuilla 800 cm^{-1} , 1700 cm^{-1} ja $2700\text{--}3500 \text{ cm}^{-1}$ näkyy muutoksia kuvaajassa. (Seppänen ym. 2013, 148-167.)

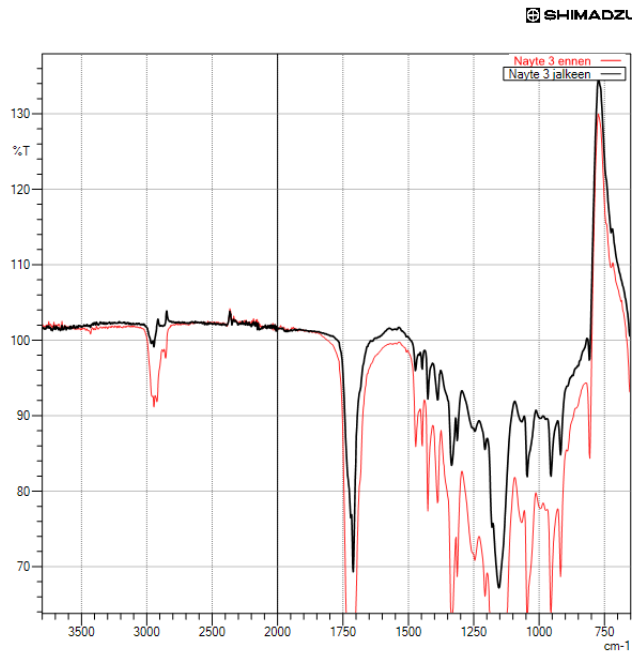
6.2.3 Harmaa vihannespussi

Näyte 3 on tummunut Bokashi kompostoinnin aikana. Lisäksi näytteet eivät enää kiiltäneet, kuten ennen kompostointia. Näytteet ovat myös rypistyneet, kuten kuvasta 28 nähdään.



Kuva 28. Näyte 3 ennen ja jälkeen jälkikompostoinnin.

Näytteen sameus ja katkeaminen viittaavat siihen, että näyte olisi osakiteinen. Pienet näytteet ovat myös haljenneet, toisin kuin Biolan kompostoinnin aikana. Pidemmät näytteet ovat hieman lyhentyneet, mikä viittaa myös hajoamiseen. Kuvan 29 FTIR spektrissä on nähtävillä merkkejä rakenteen hajoamisesta.



Kuva 29. Näyte 3 ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Bokashi kompostorin.

Näytteen 3 merkittävien hajoaminen on tapahtunut aaltoluvun ollessa 800–1800 cm^{-1} . FTIR-kuvaajasta voidaan nähdä, että hajoamista on saattanut tapahtua hiilen ja hapen välisissä sidoksissa eli näytteen esteriryhmässä aaltoluvuilla 1050–1410 cm^{-1} ja 1700–1750 cm^{-1} karboksyylihapoksi ja alkoholiiksi. Karboksyylihapporyhmä hajoaa aaltoluvuilla 1700–1750 cm^{-1} ja 2500–3300 cm^{-1} ja näillä aaltoluvuilla näkyy muutoksia FTIR-kuvaajassa. Jos karboksyylihapo on hajonnut, silloin todennäköisesti myös alkoholiryhmä on hajonnut ja se tapahtuisi aaltoluvun ollessa 1050–1410 cm^{-1} ja 3200–3600 cm^{-1} , mutta näistä kuvaajassa ei näy muutoksia isommilla aaltoluvuilla. Näytteen rakenne on saattanut hajota kompostoinnin aikana alkuperäisestä, mutta näyte ei vielä ole kompostoitunut. (Seppänen ym. 2013, 148-167.)

6.2.4 Muovikalvo NP SF 141

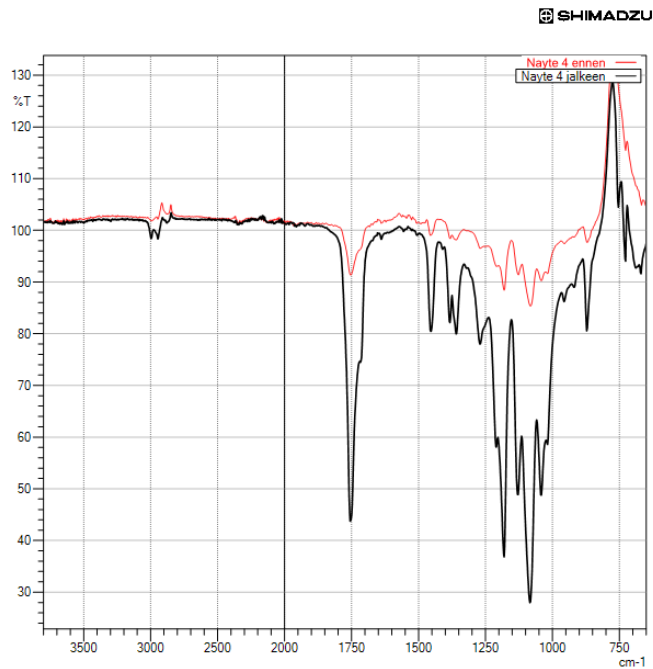
Näytteen 4 pintaan on tarttunut kompostointijätettä, mutta näytteet olisivat puhdistuneet juoksevalla vedellä. Näyte ei ollut imenyt jätejäämiä, mikä johtuu luultavasti näytteen hydrofobisuudesta. Näyte 4 on muuttunut aaltoilevaksi

bokashi kompostorissa kuin myös lämpökompostorissa, kuten kuvasta 30 voidaan nähdä.



Kuva 30. Näyte 4 ennen ja jälkeen jälkikompostoinnin.

Näyte on muita näytteitä paksumpaa muovikalvoa, mistä johtuen ne eivät ole halkeilleet tai rypistyneet. Näytteiden värisävy on muuttunut kompostoinnin aikana. Näytteiden FTIR-spektissä on tapahtunut enemmän muutoksia kuin lämpökompostorissa olleissa, kuten kuvasta 31 voidaan todeta.



Kuva 31. Näyte 4 ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Bokashi kompostorin.

Biolan kompostorin FTIR-kuvissa kuvassa 19 ei näy juurikaan muutoksia. Sen sijaan kuvan 31 FTIR-kuvaaja näyttää, että muutoksia olisi kuitenkin tapahtunut Bokashi-kompostoinnin jälkeen. Kuvassa 31 alkuperäisen näytteen kuvaajassa on virhe, sillä alkuperäisen näytteen kuvaaja on erilainen kuin kuvassa 19. Vertailtaessa lämpökompostorin alkuperäistä FTIR-kuvaajaa eli kuvaa 19 ja Bokashissa olleita näytteitä voidaan sanoa, että näyte ei ole juurikaan hajonnut. Näyte ei myöskään hajonnut projektissa, jonka FTIR-kuvaaja on liitteenä 3. (Jokisalo ym. 2021.)

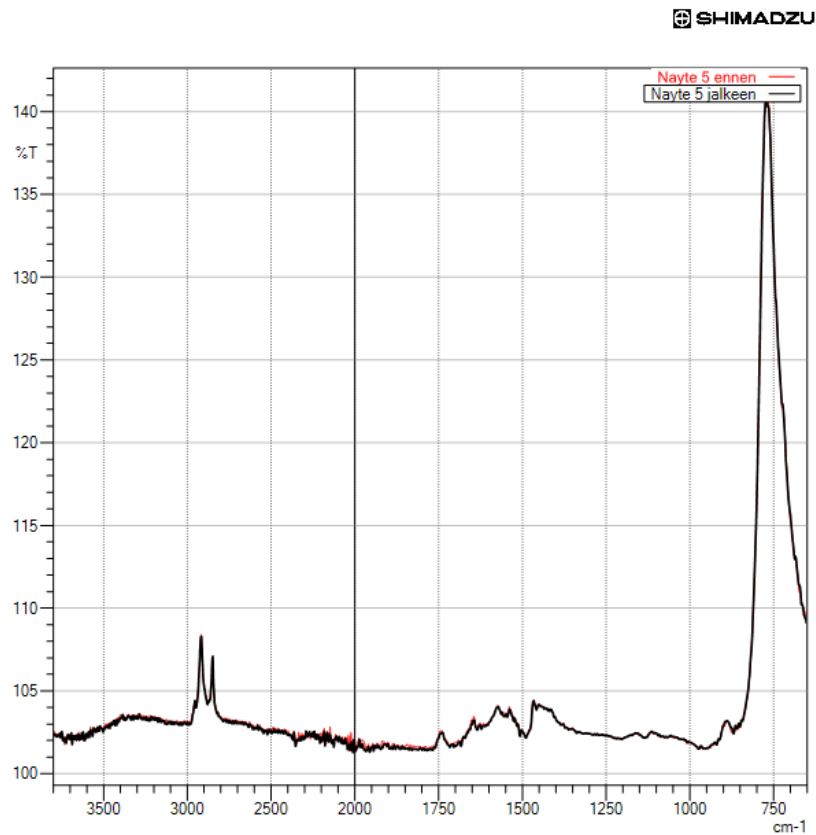
6.2.5 Vetokoesauva PHBV

Vetosauvan pinnalle on jäänyt jätteen jäämiä, mutta nämä olivat lähteneet vesihuuhtelulla. Näytteen 5 pinta on kompostoinnin aikana selvästi vaalentunut, kuten kuvasta 32 voidaan nähdään.



Kuva 32. Näyte 5 ennen (oikealla) ja jälkeen (vasemmalla) jälkikompostoinnin.

Näytteen värisävymuutosten lisäksi näytteeseen on tullut vaaleampia epätasaisia jälkiä. Muita näkyviä muutoksia näytteessä ei ole kompostoinnin aikana tapahtunut. Näytteen FTIR-kuvaaja on täysin identtinen ennen ja jälkeen kompostoinnin, kuten kuvasta 33 voidaan nähdä.



Kuva 33. Näyte 5 ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Bokashi kompostorin.

Näytteen rakenne ei ole FTIR-kuvaajan mukaan yhtään muuttunut, joten voidaan sanoa, että näyte ei ole hajonnut eikä hajoa ainakaan näin lyhyessä ajassa juurikaan anaerobisen kotikompostorin olosuhteissa.

6.2.6 DUNI Bio kartonkimuki

Näyte 6 on värjäytynyt ruskeaksi kompostoinnin aikana, mutta näytteet eivät kuitenkaan mustuneet, kuten lämpökompastorissa. Yksi näyte on katkennut, kuten kuvasta 34 voidaan nähdä.



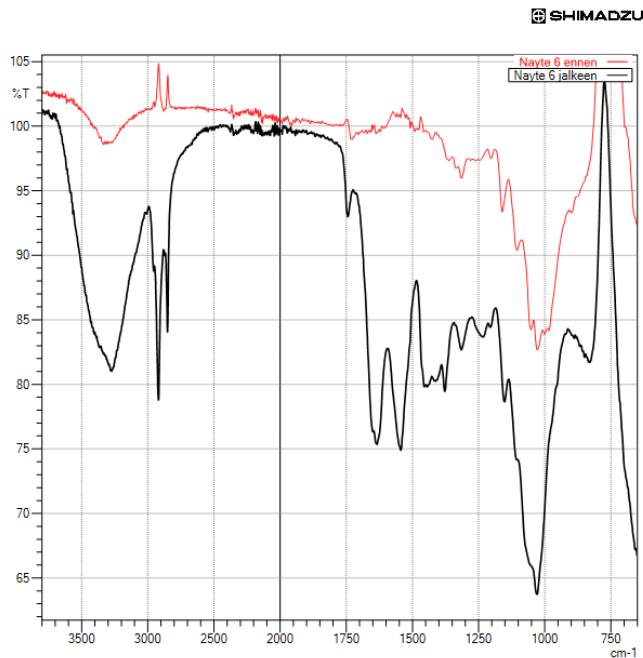
Kuva 34. Näyte 6 ennen ja jälkeen jälkikompostoinnin.

Näytteiden värimuutoksien lisäksi näytteet ovat myös taittuneet kompostoinnin aikana. Näytteiden muovibarrierit ovat lähteneet näytteistä osittain tai kokonaan irti, kuten kuvasta 35 voidaan nähdä.



Kuva 35. Näytteen 6 muovipinta kompostoinnin jälkeen.

Näytteiden PLA-barrierit lähtivät irti myös Biolan lämpökompostoinnin aikana. Näytteen 6 FTIR-kuvassa on tapahtunut muutoksia, kuten kuvasta 36 voidaan nähdä.



Kuva 36. Näyte 6 ennen (punainen) ja jälkeen (musta) Bokashi kompostorin.

Näytteet olivat selvästi FTIR-kuvauksen aikana vielä kosteita. Kuvaajassa on tapahtunut paljon muutoksia. Tässä on luultavasti tapahtunut samat muutokset kuin lämpökompostorin näytteissä eli PLA-muovin esteriryhmä on saattanut hajota aaltoluvuilla 1050–1410 cm^{-1} ja 1700–1750 cm^{-1} , jotka näkyvät FTIR-kuvaajassa. Sen lisäksi selluloosan happisillat ovat myös saattaneet hajota aaltoluvuilla 1050–1410 cm^{-1} , sillä näillä aaltoluvuilla FTIR-kuvaajassa näkyy muutoksia. Selluloosa hajoaisi näillä aaltoluvuilla ja syntyisi yksittäisiä glukoosimolekyylejä. (Seppänen ym. 2013, 148-167.)

7 Yhteenveto ja loppupäätelmät

Biohajoavat näytteet eivät täyttäneet standardia EN 13432. Näytteiden kompostoitumisaika ei ollut standardiin EN 13432 perustuvan OK Compost HOME -sertifikaatin mukainen vaan paljon lyhyempi molemmissa kompostoreissa.

Aerobisen kompostointiin perustuvan standardin EN 14855 olosuhteita ei pystytty täysin noudattamaan. Lämpökompostorin pH oli standardin mukainen, mutta sen kuiva-aineprosentti oli liian alhainen koko kompostoinnin ajan, joten komposti alkoi mädäntymään.

Biolan lämpökompostorissa olleet näytteet eivät hajonneet kokonaan, vaikka osa materiaaleista näin lupasi. Mater-Bi olisi kuulunut hajota kokonaan, mutta tätä ei tapahtunut. Näyte 2 omaa samantyyppisen rakenteen ja sen olisi kuulunut myös hajota. Ohut PLA-muovi oli katkeillut ja tummunut sekä sen rakenne oli muuttunut, joten se saattaa hajota aerobisessa kotikompostorissa, mutta sitä ei tapahtunut ainakaan vielä 12 viikon aikana. Paksummassa PLA-muovissa oli tapahtunut muutoksia ulkonäössä, mutta ei hajoamista FTIR-kuvaajassa eikä luultavasti tule hajoamaan aerobisessa kotikompostorissa. PHBV ei ollut hajonnut eikä luultavasti tule hajoamaankaan aerobisessa kotikompostorissa ainakaan standardin EN 13432 mukaisesti. Kartonkinäyte ei tule hajoamaan kompostointi materiaaliksi eikä PLA-barrieri kompostoidu ainakaan näin lyhyessä ajassa.

Bokashi kompostoinnin näytteet eivät myöskään hajonneet kokonaan. Mater-Bi:n pienet näytteet olivat luultavasti hajonneet, joten tämä saattaa vaatia isommilta näytteiltä enemmän jälkikompostointi aikaa. Toinen kaupallinen näyte luultavasti hajoaa kokonaan anaerobisessa kotikompostissa, sillä kompostoinnin jälkeen löytyi vain puolet isommista näytteistä ja nekin olivat melkein tunnistamattomia. Ohuessa PLA-näytteessä on viitteitä hajoamisesta, mutta ainakaan näin lyhyessä ajassa se ei kompostoitunut. PHBV ja kartonki eivät luultavasti tule kompostoitumaan anaerobisessa Bokashissa. Näyte 6

hajosi vähemmän Bokashissa kuin lämpökompostorissa, mutta kartonki ei kuitenkaan hajoa kompostointi materiaaliksi.

Metalliverkot häiritsivät näytteiden kompostoitumista. Kompostorien olosuhteet eivät olleet ihanteelliset, joten opinnäytetyön tulokset eivät ole täysin luotettavia. Näytteiden analysointia helpottaisi, jos näytteet olisivat kuivia analysoinnissa.

Tämän opinnäytetyön perusteella voidaan sanoa, että kaupalliset biojätepusstit hajoavat osittain kotikompostorissa, vaikka niitä myydään OK Compost HOME -serfikaatein. PLA- ja PHBV näytteet eivät ainakaan näin lyhyessä ajassa kompostoituneet. Kartonki ei tule kompostoitumaan anaerobisissa eikä aerobisissa olosuhteissa kompostointi materiaaliksi. Biojätepusstit eivät kuulu kotikompostoriin, sillä ne eivät hajoa välttämättä sinne kokonaan ja suurissa määrissä ne voivat häiritä kompostointiprosessia.

8 Lähdeluettelo

Arffman, S. 2021. Materiaalit uusiokäyttöön - jätelaki korostaa kierrätystä.

Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa

<https://kiertokaari.fi/materiaalit-uusiokayttoon-jatelaki-korostaa-kierratysta/>

Barbir, J. 2021. Bio-Plastics Europe. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti

osoitteessa [https://bioplasticseurope.eu/media/pages/downloads/project-](https://bioplasticseurope.eu/media/pages/downloads/project-events/47ad2a18ff-1646989939/bpe-rea-marinelitter.pdf)

[events/47ad2a18ff-1646989939/bpe-rea-marinelitter.pdf](https://bioplasticseurope.eu/media/pages/downloads/project-events/47ad2a18ff-1646989939/bpe-rea-marinelitter.pdf)

BioBag Finland Oy n.d. Kompostointi. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti

osoitteessa <https://biobagworld.com/fi/ymparisto/kompostointi/>

BioBag Finland Oy 2020. Kompostoitavien tuotteiden sertifiointi luo

uskottavuutta ja avoimuutta. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti

osoitteessa [https://biobagworld.com/fi/blog/kompostoitavien-tuotteiden-](https://biobagworld.com/fi/blog/kompostoitavien-tuotteiden-sertifiointi-luo-uskottavuutta-ja-avoimuutta/)

[sertifiointi-luo-uskottavuutta-ja-avoimuutta/](https://biobagworld.com/fi/blog/kompostoitavien-tuotteiden-sertifiointi-luo-uskottavuutta-ja-avoimuutta/)

Biolan Oy 2010. Asennus-, käyttö- ja huolto-ohjeet. Viitattu 24.5.2022.

Saatavilla sähköisesti osoitteessa [https://www.biolan.fi/media/ohjeet-ja-](https://www.biolan.fi/media/ohjeet-ja-esitteet/70576600_pikakompostori_550_kayttoohje_fi.pdf)

[esitteet/70576600_pikakompostori_550_kayttoohje_fi.pdf](https://www.biolan.fi/media/ohjeet-ja-esitteet/70576600_pikakompostori_550_kayttoohje_fi.pdf)

Biolan Oy n.d. a. Biolan Kompostihärate. Viitattu 21.5.2022. Saatavilla

sähköisesti osoitteessa <https://www.biolan.fi/tuotteet/biolan-kompostiherate.html>

Biolan Oy n.d. b. Biolan Pikakompostori 220eco. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla

sähköisesti osoitteessa [https://www.biolan.fi/tuotteet/biolan-pikakompostori-](https://www.biolan.fi/tuotteet/biolan-pikakompostori-220eco.html)

[220eco.html](https://www.biolan.fi/tuotteet/biolan-pikakompostori-220eco.html)

Biolan Oy n.d. c. Kompostin perustarpeet. Viitattu 21.5.2022. Saatavilla

sähköisesti osoitteessa [https://www.biolan.fi/artikkelit/kompostointi/kompostin-](https://www.biolan.fi/artikkelit/kompostointi/kompostin-perustarpeet)

[perustarpeet](https://www.biolan.fi/artikkelit/kompostointi/kompostin-perustarpeet)

Biolan Oy n.d. d. Mitä kompostiin voi/ei voi laittaa. Viitattu 21.5.2022. Saatavilla

sähköisesti osoitteessa [https://www.biolan.fi/artikkelit/kompostointi/mita-](https://www.biolan.fi/artikkelit/kompostointi/mita-kompostiin-voiei-voi-laittaa)

[kompostiin-voiei-voi-laittaa](https://www.biolan.fi/artikkelit/kompostointi/mita-kompostiin-voiei-voi-laittaa)

Bioliike 2013. Kompostointi. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://sites.google.com/site/bioliike2013/biojaetteen-kaesittely/kompostointi>

BioProffa 2019 a. BioProffa Bokashi. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.bioproffa.fi/bioproffa-bokashi/>

BioProffa 2019 b. Multatehtaan teko. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.bioproffa.fi/bioproffa-bokashi/multatehdas/>

Bokashi Garden Finland 2022. Bokashin ABC. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.bokashigarden.fi/bokashin-abc>

Duni Group 2022. Environmental and product information sheet. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://mediabank.duni.com/doc/191829_PI_en.pdf

Duni Group Suomi n.d. Bio kartonkimuki 24 cl Rice Blue. Viitattu 19.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://fi.dunigroup.com/fi/Mukit-Lasit/BioPak-Kartonkimukit/Pienet-kuluttajapakkaukset/p/191829>

Ekosoppi n.d. Bokashi rouhe kuiva BioProffa. Viitattu 21.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.ekosoppi.fi/bokashi-rouhe-kuiva-bioproffa/p/6430034335559/6430034335559/#description>

Eurogarden n.d. BioProffa EM-Kantaliuos, Em-Active Emman valmistukseen, Multikraft. Viitattu 21.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.eurogarden.fi/product/228/bioproffa-em-kantaliuos--em-active-emman-valmistukseen--multikraft>

Euroopan parlamentti 2018. Mikromuovit: lähteet, haitat ja EU:n ratkaisut. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.europarl.europa.eu/news/fi/headlines/society/20181116STO19217/mikromuovit-lahteet-haitat-ja-eu-n-ratkaisut>

Finlex 2021. 714/2021 Laki jätelain muuttamisesta. Viitattu 3.6.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210714>

FSC n.d. FSC-sertifiointi on kannattavaa. Viitattu 19.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://fi.fsc.org/fi-fi/taloudellisesti-kestava-ja-kannattava>

Greencare n.d. Puutarhamulta. Viitattu 21.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.greencare.fi/tuotteet/puutarhamulta-kalkittu-ja-lannoitettu/>

Ikonen, T. Kompostointiopas. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://www.jatekukko.fi/media/liitetiedostot/jatekukko/materiaalipankki/kompostointi/kompostointiopas_a5_web.pdf

Jokisalo, S. & Ryömä, T. 2021. Biomuovien hajoaminen anaerobisissa olosuhteissa.

Lehtinen, L. ym. 2021. Kestävä pakkaus. Forssa: Suomen Pakkausyhdistys ry

Majamaa, J. 2012. Biohajoavien muovikalvojen ominaisuuksia. Viitattu 26.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/48294/Majamaa_Joni.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Muovien kierrätys n.d. Biohajoavat muovit. Viitattu 27.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://muovienkierratys.wordpress.com/biohajoavat-muovit/>

Muovipoli Oy 2020. Biomuoviopas. Viitattu 19.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://www.muovipoli.fi/wp-content/uploads/2020/11/Biomuoviopas.pdf>

Novamont S.p.A. n.d. MATER-BI. Viitattu 19.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://novamont.it/eng/mater-bi>

Oy Botniarosk Ab 2015. Ruoka- eli biojätteen kompostointi. Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://www.botniarosk.fi/images/pdf/Ruoka_elixbiojatteenkompostointi_p%C3%A4iv_2015.pdf

Peda n.d. Hiilihydraatit. Viitattu 23.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://peda.net/kannus/jvk/oppiaineet2/kemia/kemia32/oppikirja/III/15>

Puutarha.net 2021. Mitä on bokashointi? Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://puutarha.net/artikkelit/19535/mita_on_bokashointi.htm

Seppänen, R. ym. 2013. MAOL -taulukot. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Otava

SFS 2001. SFS-EN 13432 Pakkaukset. Vaatimukset pakkauksille, jotka ovat hyödynnettävissä kompostoinnin ja biohajoamisen avulla. Testausmenettely ja arviointiperusteet pakkauksen hyväksynnälle.

SFS 2003. SFS-EN 14046. Packaging. Evaluation of the ultimate aerobic biodegradability of packaging materials under controlled composting conditions. Method by analysis of released carbon dioxide.

SFS 2017. SFS-EN 16640. Bio-based products. Bio-based carbon content. Determination of the bio-based carbon content using the radiocarbon method.

SFS 2016. SFS-EN 16785-1. Bio-based products. Bio-based content. Part 1: Determination of the bio-based content using the radiocarbon analysis and elemental analysis.

SFS 2013. SFS-EN ISO 14855-1:en. Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials under controlled composting conditions. Method by analysis of evolved carbon dioxide. Part 1: General method.

SFS 2019. SFS-EN ISO 17556. Plastics. Determination of the ultimate aerobic biodegradability of plastic materials in soil by measuring the oxygen demand in a respirometer or the amount of carbon dioxide evolved.

Suomen Uusiomuovi Oy n.d. Mikä on muovipakkaus? Viitattu 19.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://www.uusiomuovi.fi/fin/tuottajavastuu/tuottajavastuulainsaadanto/mika_on_muovipakkaus/

Syvänne, J. 2019. Mikä ihmeen biohajoava, kompostoituva ja biopohjainen muovi? Viitattu 24.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa

<https://www.muovipoli.fi/new-plastics-center-npc/biomateriaalitietoa/mika-ihmeen-biohajoava-kompostoituva-ja-biopohjainen-muovi/>

Teinilä, M. 2020. Biopohjaisten muovien prosessointi ja käyttö erotusväliaineina.

Viitattu 9.6.2020. Saatavilla sähköisesti osoitteessa

https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/161802/kandidaatintyo_teinila_mandi.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Tighzert L. & Vroman I. 2009. Biodegradable Polymers. Viitattu 9.6.2022.

Saatavilla sähköisesti osoitteessa

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5445709/>

Tuominen, K. 2011. Kaikki kompostoinnista. Helsinki: Kairiston Kirjapaino Oy

Turku AMK 2019. Bio-Plastics Europe. Viitattu 25.5.2022. Saatavilla sähköisesti

osoitteessa <https://www.turkuamk.fi/fi/tutkimus-kehitys-ja-innovaatiot/hae-projekteja/bio-plastics-europe-developing-and-implementing-su/>

TÜV AUSTRIA n.d. a. EN13432? Compostability? Biodegradability? Biobased?

Certified by TÜV AUSTRIA. Viitattu 8.6.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa

<https://www.tuv-at.be/green-marks/>

TÜV AUSTRIA n.d. b. OK biodegradable. Viitattu 8.6.2022. Saatavilla

sähköisesti osoitteessa <https://www.tuv-at.be/green-marks/certifications/ok-biodegradable/>

TÜV AUSTRIA n.d. c. OK compost & Seedling. Viitattu 8.6.2022. Saatavilla

sähköisesti osoitteessa <https://www.tuv-at.be/green-marks/certifications/ok-compost-seedling/>

Wallinmaa, S. 2014. Luonnonmateriaalilujitettujen kestopuovikomposiittien

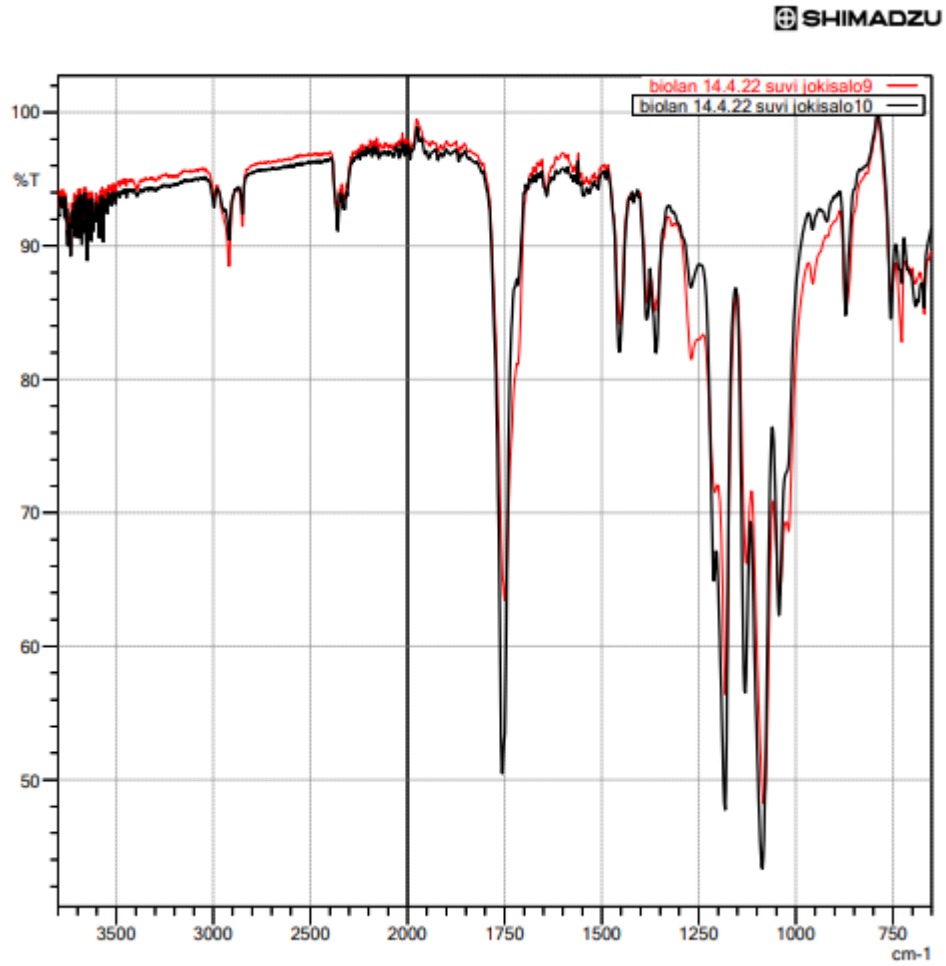
pitkäaikaisominaisuudet. Viitattu 26.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa

<https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/22227/wallinmaa.pdf?sequence=3>

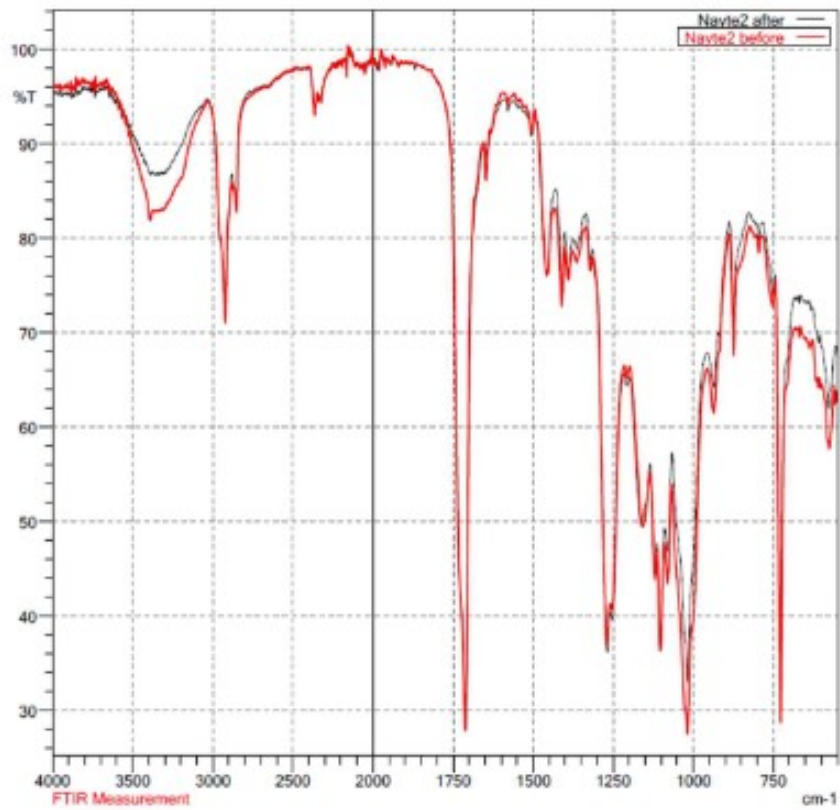
WWF n.d. a. Euroopan kemikaaliviraston rajoitusehdotus mikromuovien käytölle. Viitattu 19.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa https://wwf.fi/app/uploads/a/f/2/lyeu48t55uoruhxgrzsuak/wwf_mikromuovit_paino_0403.pdf

WWF n.d. b. Merten muoviroska. Viitattu 25.5.2022. Saatavilla sähköisesti osoitteessa <https://wwf.fi/uhat/merten-muoviroska/>

Näytteen 4 FTIR -spektrofotometri projektissa.



Näytteen 1 FTIR -spektrofotometri Bokashi kompostoinnin jälkeen.



Näytteen 4 FTIR -spektrofotometri Bokashi kompostoinnin jälkeen.

