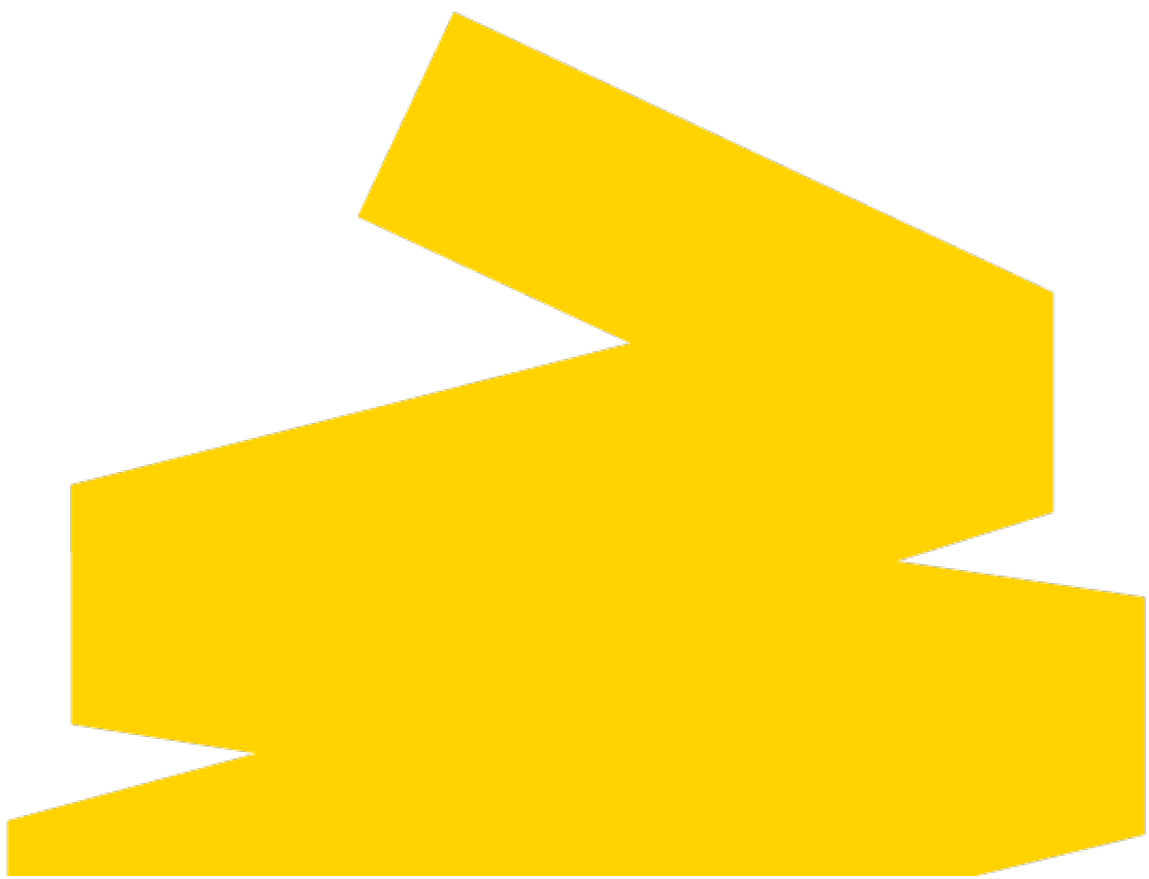


Tutkimusraportti  
Liisa Lehtinen  
Mikael Nurkkanen  
Akseli Raiko  
Sonja Holopainen

Suomen Biokierto ja Biokaasu ry

# **Biomuovien toimivuus biokaasulaitoksella**



## TIIVISTELMÄ

Turun ammattikorkeakoulu

Liisa Lehtinen, Mikael Nurkkanen, Akseli Raiko ja Sonja Holopainen

18.12.2024

### **Suomen Biokierto ja Biokaasu ry**

## **Biomuovien toimivuus biokaasulaitoksella**

Tämä tutkimus tehtiin Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:n toimeksiantona PlastLIFE-hankkeelle. Tavoitteena oli selvittää biomuovipussien ja -säkkien toiminnallisuutta koko elinkaarelta valmistajalta biohajoamiseen. Biohajoavia biopusseja ja -säkkejä testattiin kattavasti sekä laboratorio-olosuhteissa että todellisissa olosuhteissa jätteen keräyksessä ja biokaasulaitoksella, jotta saataisiin kokonaiskuva niiden käyttäytymisestä ja hajoamisesta biokaasulaitoksen anaerobisissa olosuhteissa. Tutkitut biohajoavat materiaalit olivat kaupallisia biojätteen keräykseen tarkoitettuja tuotteita. Verrokkeina toimi paperiset ja kierrätys PE:stä valmistetut pussit ja -säkit.

Biomuovien mekaanisia ominaisuuksia testattiin anaerobisen biojätteelle altistamisen jälkeen. Biomuovien anaerobista hajoamista testattiin laboratoriossa metaanintuottopotentialitestauksen avulla sekä sijoittamalla näytteet 8:ksi viikoksi biokaasulaitoksen mädättämöön ja jälkikompostointiin. Biokaasulaitosten prosesseista ja lopputuotteista määritettiin seulomalla muovipartikkelien kokojakauma, massat ja muovilajien jakauma. Haastattelujen avulla selvitettiin kuluttajien ja jätehuollon kokemuksia biomuovipussien ja -säkkien käytettävyydestä ja imagosta. Työssä selvitettiin myös biohajoavien materiaalien merkintöjen kattavuutta.

Tehtyjen tutkimusten yhteenvedona voidaan todeta, että biomuoviset vaihtoehdot ovat materiaalina erilaisia kuin verrokkimateriaalit. Standardein todennetut biohajoamisominaisuudet eivät ole sellaisenaan todennettavissa käytännön olosuhteissa, vaan tarvitsevat pidemmän kompostoitumisajan. Biokaasulaitoksen prosesseista ja tuotteista löytyy kohtalaisesti muovia, joista merkittävä osa on biohajoamatonta. Kuluttajien tuntemus biomuovien standardeista on heikko, heillä roskapussin valinta perustuu käytännön toiminnallisuuteen. Biokaasulaitosten näkemys biohajovista materiaaleista riippui koettujen ongelmien määrästä.

# Sisältö

<b>1 Johdanto</b>	<b>4</b>
<b>2 Toimivuus jätehuollossa ja esikäsittelyssä</b>	<b>5</b>
2.1 Toimivuus jätteen keräyksessä	5
2.2 Toimivuus biokaasulaitoksen esimurskaimella	6
2.3 Tulokset toimivuudesta jätehuollossa	7
2.3.1 Toimivuus astioiden tyhjennyksessä	9
2.3.2 Pohdinta toimivuudesta jätteenkeräyksessä	11
2.4 Tulokset toimivuudesta biokaasulaitoksen esimurskaimella	11
2.4.1 Pohdinta toimivuudesta biokaasulaitoksen esikäsittelyssä	19
2.5 Biopussien ja -sakkien mekaaniset ominaisuudet	20
2.5.1 Mekaanisten testausten toteutus	20
2.5.2 Mekaanisten testausten tulosten tarkastelu	26
2.5.3 Mekaanisten testausten pohdinta	28
<b>3 Toimivuus biokaasulaitoksella</b>	<b>29</b>
3.1 Biopussien hajoavuus mädätyksessä ja jälkikompostoinnissa	29
3.1.1 Hajoavuustestien toteutus	29
3.1.2 Hajoamisen visuaalinen arviointi	34
3.1.3 Mädätys- kompostointinäytteiden FTIR-analyysit	41
3.1.4 Pohdinta mädätys- ja kompostoitavuustesteistä	50
3.2 Muovien määrä biokaasuprosessissa	52
3.2.1 Seulontatestien toteutus	52
3.2.2 Seulontatestien tulokset	53
3.2.3 Pohdinta biokaasuprosessin muovipitoisuuksista	55
3.3 Biomuovien metaanintuottopotentiaali	56
3.3.1 Metaanintuottopotentiaalin mittauksen toteutus	56
3.3.2 Mikroskooppikuvat	63
3.3.3 Hajoavuus metaanintuottopotentiaalin testauksessa FTIR:llä	67
3.3.4 Pohdinta metaanintuottopotentiaalitesteistä	72

<b>4 Lopputuotteen laatu</b>	<b>73</b>
4.1 Lopputuotteen laatutestausten toteutus	73
4.2 Lopputuotteen laadun tulokset	73
4.3 Pohdinta lopputuotteiden laadusta	76
<b>5 Biohajoavien biopussien käyttökokemukset</b>	<b>78</b>
5.1 Selvitys- ja haastattelutyön toteutus	78
5.1.1 Biokaasulaitoksille esitetyt kysymykset	79
5.1.2 Kuluttajille esitetyt kysymykset	80
5.2 Selvitys- ja haastattelutyön tulokset	81
5.2.1 Biopussien merkinnät	81
5.2.2 Biokaasulaitoksen kokemukset	84
5.2.3 Kuluttajien kokemukset	85
5.3 Pohdinta biopussien käyttökokemuksista	88
<b>6 Lopuksi</b>	<b>91</b>
<b>Lähteet</b>	<b>95</b>
<b>Liitteet</b>	Error! Bookmark not defined.

# 1 Johdanto

Tämä raportti on tehty toimeksiantona Suomen Biokierto ja Biokaasu ry:lle ja se vastaa testaustarpeisiin PlastLIFE-hankkeessa. Tavoitteena oli saada kuva biomuovipussien ja -säkkien toiminnallisuudesta tuotteen koko elinkaaren ajalta valmistajalta biohajoamiseen. Tehdyissä tutkimuksissa haluttiin selvittää kompostoitavien biopussien toiminnallisuus jätehuollossa ja esikäsittelyssä, niiden hajoavuus biokaasulaitoksella mädätys- ja jälkikompostointiprosessien aikana sekä biokaasunmuodostuspotentiali. Lisäksi haluttiin kartoittaa kuluttajien ja jätealan toimijoiden näkemyksiä ja kokemuksia kyseisistä materiaaleista. Tuloksia on tarkoitus hyödyntää, kun muotoillaan uusia suosituksia biojätteen keräämiseen ja hyödyntämiseen biokaasulaitoksella.

Tehdyt tutkimukset toteutettiin Turku AMK:n Kemiantekniikan laboratoriossa sekä kaupallisella biokaasulaitoksella. Osa tutkimuksista toteutettiin opinnäytteinä. Tutkimuksen toteutuksen ajankohta oli 2.1.- 20.6.2024 lukuun ottamatta jätehuollon kanssa yhteistyössä tehtävää käytännön osuutta, joka toteutetaan elokuussa 2024.

## 2 Toimivuus jätehuollossa ja esikäsittelyssä

Tutkimusosiossa tutkittiin, onko keräilyastioissa käytettävien suojasäkkien välillä eroa käytettävyyden suhteen keräilyssä, jätekuljetuksessa ja biokaasulaitoksen esikäsittelyssä.

### 2.1 Toimivuus jätteen keräyksessä

Jätesäkkien toimivuuden testauksella jätteen keräyksessä oli tavoitteena selvittää, onko keräyssäkkien välillä toiminnallista eroa biojätteiden keräyksessä ja kuljetuksessa. Testaus suoritettiin Biokymppi Oy:n alueella syksyllä 2024.

Valitun alueen roska-astioihin asennettiin testaukseen eri materiaaleja olevat säkit kahdeksi viikoksi. Kuljettajat keräsivät säkkien asennus- ja tyhjennysvaiheessa kokemuksia mahdollisista havaituista ongelmista ja huomioista eri säkkityypeillä. Tämän jälkeen jäteyrityksen edustajalle tehtiin erillinen kyselyhaastattelu kootuista kokemuksista.

Testeissä tutkittavat säkkimateriaalit olivat PE-LD-muovi, paperi ja biohajoavat muovinäytteet 3, 5 ja 9 sekä jätehuollossa normaalisti käytössä oleva biomuovinen säkki.

#### **Haastattelun kysymykset olivat:**

- Eroaako biohajoavien biosäkkien keräys perinteisten muovisäkkien keräyksestä? Oletteko huomanneet, että jokin muu pakkausmateriaali, kuten perinteiset muovisäkit tai paperisäkit, toimivat tehokkaammin jäteauton keräys- ja tyhjennysprosessissa kuin biohajoavat biosäkit?
- Kohtaatteko haasteita biohajoavien biosäkkien keräyksessä verrattuna muihin materiaaleihin? Kuten niiden tarttumista tai jäätymistä tyhjennysastian seinämiin. Oletteko huomanneet biohajoavien biosäkkien olevan alttiita rikkoutumiselle tai repeämiselle? Miten muut

pakkausmateriaalit vaikuttavat jäteauton toimintaan ja käsittelyyn erilaisissa sääolosuhteissa?

- Onko jätehuollon prosesseissa tarvittu muutoksia biohajoavien biosäkkien yleistyessä? Onko biohajoavien biosäkkien rakenne tai materiaali vaikuttanut niiden kiinnittymiseen tai takertumiseen jäteauton osiin? Onko jäteautojen tai tyhjennysastioiden huolto- ja puhdistustarve muuttunut biohajoavien biosäkkien käytön myötä?
- Mitä parannusehdotuksia tai toiveita teillä on biohajoavien biosäkkien keräyksen suhteen? Oletteko harkinneet muita ratkaisuja tai pakkausmateriaaleja, joilla voitaisiin parantaa keräys- ja kierrätysprosesseja?
- Millaisia käytännön vinkkejä antaisitte kuljettajille biohajoavien biosäkkien käsittelyssä välttääkseen mahdollisia ongelmia?
- Miten olette ratkaisseet tilanteita, joissa biohajoavat biosäkit ovat takertuneet jäteauton koneistoon tai muihin osiin?

## 2.2 Toimivuus biokaasulaitoksen esimurskaimella

Tutkimuksissa toiminnallisuudesta biokaasulaitoksen esimurskaimella oli tavoitteena selvittää, onko tutkittavien säkkien välillä toiminnallista eroa biojätteen murskausprosessissa. Tutkimus toteutettiin syystalvella Biokympin biokaasulaitoksella.

Tutkimuksessa kerättiin lavalle koe-erä biojätettä, joka oli pakattu kuhunkin tutkittavaan säkkilaatuun. Kukin lava ajettiin erikseen esikäsittelyprosessin eli esimurskaimen läpi ja seurattiin, kuinka materiaali kulki murskausprosessissa. Koe-eristä punnittiin syntyneen ylitteen määrä. Koeajot dokumentoitiin valokuvin sekä kirjatun erityiset huomiot eri säkkimateriaaleista.

Testatut säkkimateriaalit olivat PE-LD-muovi, paperi ja 3 biohajoavaa muovia: Näytteet 3, 5 ja 9.

### 2.3 Tulokset toimivuudesta jätehuollossa

Jätteenkeräyksestä ja -kuljetuksesta vastaava taho toteutti toiminnallisuustestaukset itsenäisesti, jonka jälkeen jätehuollon edustajaa haastateltiin kokemuksista eri säkkimateriaalien toimivuudesta asennuksen, biojätteen keräyksen ja astian tyhjennyksen aikana. Toimivuus asennuksessa ja käytössä

Testien ja aiemman kokemuksen perusteella biosäkkien käytettävyyserot tulevat esiin asennuksen aikana, kun biosäkkiä venytetään keräysastian suulle. Asennuksen tulee sujua ripeästi ja se on tehtävä huolellisesti, koska se vaikuttaa myös toimivuuteen käytön aikana. Eri säkkimateriaalien välillä todettiin eroa asennettavuudessa ja käytettävyydessä. Taulukossa 2.1 on listattu kokemuksia PE-LD-, paperi- ja biomuovisäkkien käytettävyydestä.



Taulukko 2.1. Kokemukset eri säkkimateriaalien käytettävyydestä asennuksessa.

Säkkimateriaali	Kokemukset
PE-LD	Helppo asentaa. Ei hajoa käytössä ja pitää astian puhtaana. Ei niin herkästi putoa astian pohjalle. Käytettävyyden kannalta paras säkkityyppi.
Paperisäkki	Säkkipinoa on säilytettävä apukuskin jalkatilassa. Vie valtavasti tilaa, koska taitettu moneen kertaan. Lisäksi asentaminen on hidasta, kun nipusta otetaan yksi arkki kerrallaan. Käytettävyyden kannalta ehdottomasti heikoin. Heikon käytettävyyden ja suuren tilanviennin takia paperisäkki ei tule kysymykseen biojätteen keräysvaihtoehtona.
Biomuovisäkit	Kesällä biosäkkien rullia voi säilyttää auton perässä, josta sitä on helppo käyttää. Kylmä biosäkki on säilytettävä talvella lämpimässä hytissä, jotta se ei repeä asennuksessa. Kylmänä säkin suu repeää helposti. Biosäkkien välillä oli eroa, kaksi materiaaleista venyi hyvin asennuksessa, jolloin asennus on helppoa. Kaksi materiaalia sen sijaan repeytyi helposti astian suulle venytettäessä.

Hyvä säkkimateriaali venyy hyvin jäteastian kauluksen yli. Jos jätensäkki repeää, eikä sitä korvata uudella ehjällä säkillä, tipahtaa säkki jäteastiaan, kun sinne heitetään biopusseja tai tyhjennetään bioastioita. Siten asennuksen ja käytön aikainen toimivuus ovat jätehuollon näkökannalta sama asia.

### 2.3.1 Toimivuus astioiden tyhjennyksessä

Kaikki keräysastiat tyhjentyivät tyhjennyksessä samalla tavalla riippumatta säkkimateriaaleista, siten tyhjennyksessä ei ollut eroa. Keräys ja tyhjennys on aina samanlaista riippumatta säkeistä.

Talvella, kun biojäte on jäässä, on biosäkki usein jäänyt seinään kiinni. Tällöin ei usein myöskään astia tyhjene kokonaan. Talvella todennäköisesti mikä tahansa säkki saattaa jäätymään astian seinään kiinni. Tämä testi tehtiin syksyllä, siksi paperisen ja PE-LD-säkin kohdalta ei ole tietoa pakkaskäyttäytymisestä.

Biosäkkien käytön myötä ei ole ollut tarvetta muuttaa huolto- tai puhdistustapoja. Jäteastiat pestään keväisin ja syksyisin. PE-LD-säkkejä käytettäessä saattaisi puhdistustarve olla pienempi, mutta sitä ei käytetä bioastioissa. Jäteauto pestään aina tyhjennyksen yhteydessä. Joskus biosäkki on takertunut kuupan niveliin, mutta se lähtee yleensä itsestään pois, viimeistään silloin, kun säiliö huuhdellaan tyhjennyksen jälkeen.

Taulukko 2.2:ssa esitetään vielä tuotekohtaiset kommentit eri biomuovinäytteistä.

Taulukko 2.2. Tuotekohtaiset kommentit.

Biosäkkimateriaali	Kommentit
Näyte 3	Hyvä asennettavuus, venyy hyvin astian suulle. Vastaa toiminnallisuudeltaan käytössä olevaa biomuovisäkkiä.
Näyte 5	Rullan päällä oleva kiinnitystarra huono. Se on hidas irrottaa ja käytännössä päällimmäinen säkki repeytyy aina liian tiukan liiman takia käyttökelvottomaksi.  Reuna repeytyy helposti asennuksessa.  Tämä on biosäkeistä asennuksessa huonoimmin toimiva.
Näyte 9	Kerran tilattu vahingossa ja lähetettiin takaisin. Reuna repeytyy helposti, kun sitä asennetaan astiaan, jolloin säkki menee hukkaan (jos vaihdetaan uuteen) tai tippuu käytössä astia pohjalle.
Jätehuollon biomuovisäkki	Tätä käytetään yleensä ja se on hyväksi havaittu. Hyvä asennettavuus.

Jätteen keräyksen yhteydessä ei ole tarvinnut muuttaa prosesseja biosäkkien vuoksi. Viime aikoina joillain alueilla on luovuttu kokonaan astiasäkkien käytössä. Säkkittömyys ei kuitenkaan ratkaise astioiden likaantumisongelmaa. Biojätteiden pitäisi silloin olla aina jollain tavalla käärittynä, esimerkiksi paperipusseihin. Sen sijaan kaupan biojätteiden keräysastioissa säkkittömyys toimii, koska ruuat ovat siellä pakattuina.

Jätehuollon kannalta ihanteellista olisi, jos käytössä olisi yksi hyvä säkkimateriaali, joka ei repeä asennuksessa. Säkkimateriaali on rullalla (ilman kiinnitystarraa) ja sillä on hyvä asennuskestävyys. Rullassa on hyvä olla halkio, josta yksittäinen säkki repäistään helposti irti rullalta. Tämän tyyppinen säkki mahdollistaisi tehokkaan ja helpon asennuksen.

Jotta biosäkit toimivat hyvin, on niiden asennus tehtävä huolellisesti. Ensin asetetaan astian etureuna ja sitten venytetään saranapuolelle kiinni. Jos säkki on laitettu huonosti, ensimmäinen roskaerä vetää biosäkin astian pohjalle. Siksi asennuksessa repeytynyt säkki tulisi aina vaihtaa uuteen.

### 2.3.2 Pohdinta toimivuudesta jätteenkeräyksessä

Biomuovisia säkkeitä on käytetty jätehuollossa koko haastatellun henkilön työhistorian ajan, yli 12 vuotta. Vanhemmat kuljettajat ovat kertoneet, että muovisia PE-LD-säkkejä käytettiin biojätteen erilliskeräämisen alkuaikana biojätteiden keräämiseen. Testausta suunniteltaessa pohdittiin, pitäisikö testeistä viestiä asukkaille, koska muovisäkeistä tulee palautetta jätehuollolle. Näin ei kuitenkaan käynyt, kukaan asiakkaista ei kysynyt muovisäkkien käytöstä.

Testien suunnittelun yhteydessä jätehuolto olisi halunnut jättää paperiset säkit testeistä pois, koska niiden käyttö ei ole jätehuollolle käytännössä mahdollista. Paperisia säkkeitä ei voida käyttää, koska ne eivät mahdu jäteauton hyttiin eikä niitä voida säilyttää hytin ulkopuolella. Tässä tutkimuksessa ne otettiin kuitenkin mukaan, koska olisi tärkeää, että tämä keskeinen tieto saavuttaisi myös sekä päättäjät että kuluttajat.

### 2.4 Tulokset toimivuudesta biokaasulaitoksen esimurskaimella

Biokaasulaitos toteutti esimurskaustestit itsenäisesti toimittain testiajoista raportin ja valokuvat, joista keskusteltiin ennen loppuraportointia. Testaukset suoritettiin 17.9–5.12.2024. Koeajoja varten kerättiin kustakin säkkimateriaalista ajoreiteistä riippuen 1500–7000 kg:n näyte-erät biojätettä. Jokainen testierät kerättiin erilliselle lavalle odottamaan koeajoa. Koeajossa seurattiin, kuinka materiaali kulki esikäsitteilyprosessissa.

Testissä tarkkailtiin murskan toimivuutta, separaattorin tukkeutumista, ylitteen laatua ja määrää sekä alitteen laatua (reaktoriin menevä syöte). Koeajot

Biomuovien toimivuus biokaasulaitoksella - Tutkimusraportti

dokumentoitiin valokuvoin sekä kirjaten erityiset huomiot eri säkkimateriaalien ja verrokin väliltä. Koe-eristä punnittiin syntyneen ylitteen määrä. Tulokset on esitetty taulukossa 2.3.

Taulukko 2.3. Tulokset säkkien toimivuudesta murskaimella.

Säkki- materiaali	Testaus- aika	Jäte- määrä kg	Ylite- määrä kg	Ylite- määrä %	Sekoitettu neste	Huomiot
Näyte 3	17.9.24	6980	450	6,4	Neste 1	Erottelussa käytetty neste vaikutti erottelutarkkuuteen lisäten ylittemäärää. Ylite on limaista ja märkää.
Näyte 5	31.10.24	4900	220	4,5	Neste 2	Erottelussa käytetty neste vaikuttaa erottelutarkkuuteen. Ylite on puhtaampaa kuin Nestettä 1 käytettäessä.
Näyte 9	24.9.24	2360	120	5,1	Neste 2	Erottelussa käytetty neste vaikuttaa erottelutarkkuuteen. Ylite on puhtaampaa kuin Nestettä 1 käytettäessä.
Paperisäkki	30.10.24	1540	60	3,9	Neste 2	Ylitteessä ei havaittu paperisäkkejä.
PE-LD- säkki	5.12.24	4060	220	5,4	Neste 2	Ylitteessä paljon sinistä muovia. Alitteesta ei otettu näytettä/kuvaa.

Kuvissa 2.1–2.9 kuvataan testattujen säkkimateriaalien ylite- ja alitevirrat biokaasulaitoksen esimurskaimelta.



Kuva 2.1. Näytteen 3 testiajojen ylite.

Kuvassa 2.1 nähdään, että Nesteellä 1 huuhdeltu ylite on lietteen peitossa ja märkää. Ylitteestä on vaikea tunnistaa siinä olevaa materiaalia ja eri muoveja.

Kuvassa 2.2 nähdään, että näytettä 3 on kulkeutunut alitteeseen melko runsaasti. Alitteesta ei ole tunnistettavissa muita muovilaatuja.



Kuva 2.2. Näytteen 3 testiajojen alite.



Kuva 2.3. Näytteen 5 testiajojen ylite.

Kuvassa 2.3 nähdään, että näytteen 5 testiajojen ylite on selvästi puhtaampaa ja tunnistettavampaa kuin näytteen 3 testiajojen ylite (kuva 2.1). Testiajoissa

Biomuovien toimivuus biokaasulaitoksella - Tutkimusraportti

käyttiin eri nesteitä muovijätteen erotteluun esikäsittelyprosessissa. Näytteen 3 kohdalla käytettiin Nestettä 1 ja muiden näytteiden kohdalla Nestettä 2. Tällä muutoksella oli visuaalisesti merkittävä ero tuloksiin ja oletettavasti se on vaikuttanut myös ylitteen massaun, koska muovi on suhteellisen kevyttä. Ylitejakeet ovat puhtaampia ja selvemmin tunnistettavia, kun huuhtelussa on käytetty Nestettä 2. Kuvassa 2.3 on tunnistettavissa värillisiä muovijakeita, mutta itse näytettä 5 on vaikea tunnistaa ylitteen joukosta.



Kuva 2.4. Näytteen 5 testiajojen alite.

Kuvassa 2.4 nähdään, että näytteen 5 testiajojen alitevirrassa on melko paljon näytettä 5. Muiden muovilaatujen tunnistaminen ei ole mahdollista.





Kuva 2.5. Näytteen 9 testiajojen ylite.

Näytteen 9 testiajojen ylitekuvasta 2.5 nähdään, että ylitteessä on runsaasti PE:ksi tunnistettavaa muovia sekä muita erilaisia pakkausmuoveja. Ylitteestä ei voida tunnistaa näytettä 9.



Kuva 2.6. Näytteen 9 testiajojen alite.

Kuvan.2.6 perusteella näytettä 9 löytyy myös alitteesta.



Kuva 2.7. Paperisäkkimateriaalin testiajojen ylite.

Kuvassa 2.7 näkyy paperisäkkien testiajojen ylittevirta. Kuvassa ylitteessä on paljon mm. pakkausmuoveja, mutta paperia ei voida kuvasta tunnistaa.



Kuva 2.8. Paperisäkkimateriaalin testiajojen alite.

Biomuovien toimivuus biokaasulaitoksella - Tutkimusraportti

Paperisäkkien testiajojen kuvassa 2.8 näkyy vain pienimäärä muoveja, jotka ovat todennäköisesti biopusseista lähtöisin. Kuvassa ei ole nähtävissä paperia. On huomattava, että vettä kevyempi muovi kelluu, kun taas vettänyt paperi tyypillisesti saostuu astian pohjaan.



Kuva 2.9. PE-LD-säkkien testiajojen ylite

Kuvassa 2.9 nähdään PE-LD-säkkien testiajojen ylite. Siniset testimateriaalit näkyvät ylitteessä selvästi. Lisäksi ylitteessä näkyy muita muoveja, joista osa on oletettavasti biohajoavia biopusseja. PE-LD-säkkien testiajojen kohdalla jäi ottamatta kuva testien alitevirrasta.

Kaikki testatut säkkimateriaalit pystyttiin esikäsittämään ilman suurempia ongelmia. Biohajoavilla biopusseilla on normaalistikin tapana hieman tukkia separaattorin seulaverkkoa, minkä kanssa osataan toimia. Testien perusteella paperiset ja PE-LD-säkit eivät tukkineet separaattorin seulaverkkoa samalla tavalla kuin biohajoavat muovit.

Biohajoavia säkkejä testattaessa ylitevirrat sisälsivät paljon muitakin muoveja kuin biohajoavia säkkejä tai pusseja johtuen näyte-erissä mukana olleiden

kaupan biojätteiden pakkausmuoveista. Itse biomuoveja oli vaikea erottaa ylitteen joukosta. Alitevirroissa oli runsaasti biohajoavien biopussien palasia, mutta näistä palasista ei voitu arvioida, ovatko ne peräisin sekä säkeistä että pusseista.

Paperisäkkejä testattaessa ei ylitteessä havaittu paperisäkkejä.

Paperinkappaleita ei ollut juuri näkyvissä myöskään alitteessa. PE-LD-säkkiä testattaessa voitiin ylitteessä havaita selvästi enemmän myös PE-LD-säkin kappaleita, osittain johtuen erottuvasta sinisestä väristä.

#### 2.4.1 Pohdinta toimivuudesta biokaasulaitoksen esikäsittelyssä

Biokymppi Oy:n biokaasulaitos, jossa testit tehtiin, on viime vuosina kehittänyt paljon biojätteen esikäsittelyn toimivuutta. Oletettavasti siksi testiajoissakaan ei löydetty eri säkkimateriaalien välille eroja toimivuudessa esikäsittelylaitteistoissa.

Kaikki testattavat materiaalit kulkivat esikäsittelyn läpi ilman isompia ongelmia eikä materiaalien välillä ollut eroja. Testien alussa käytettiin ensimmäisen näytteen kohdalla esikäsittelyprosessin yhteydessä murskan huuhtelemiseen Nestettä 1, mutta loppunäytteissä Nestettä 2, mikä vaikutti selvästi tuloksiin. Kuvan 1 mukaisesti ylite oli selvästi märempää ja kiintoaineen peitossa kuin muiden materiaalien kohdalla. Myös alite oli kiintoainepitoisuudeltaan selvästi suurempi (kuva 2.2) kuin muiden testattujen säkkimateriaalien kohdalla. Neste 1 on kiintoainepitoisuudeltaan korkeampaa kuin Neste 2, lisäksi sen lämpötila on selvästi matalampi, jolloin se ei huuhtele laitteistoa ja biojätettä yhtä tehokkaasti kuin Neste 2.

Koeajojen vertailua hankaloitti biojätteen seassa oleva kaupan biojäte, joka sisälsi paljon pakkauksia. Muovipakkaukset lisäävät syntyvän ylitteen määrää. Lisäksi kaupan biojätteen määrä vaihteli eri näyte-erissä, joten testierien keskinäinen vertailu oli hankalaa. Testattavien biomuovisäkkien lisäksi

biojätteessä oli luonnollisesti paljon myös biohajoavia biopusseja, joita ei pystytty tunnistamaan alitteesta. Toivottavaa olisikin, että mahdollisimman paljon biohajoavaa materiaalia menisi alitteen mukana reaktoriin eikä ylitteen mukana jatkokäsittelyyn.

Tässä testissä testatut materiaalmäärät olivat varsin pieniä. Todennäköisesti tarvittaisiin merkittävästi pidemmät testiajot, jotta materiaaliikohtaisia eroja voitaisiin havaita. Lisäksi jätevirtoihin luonnostaan kuuluva epätasalaatuisuus vaikeutti materiaalierojen havaitsemista.

## 2.5 Biopussien ja -sakkien mekaaniset ominaisuudet

Mekaanisten testien tarkoituksena oli selvittää, miten biojätteelle altistus vaikuttaa biopussien mekaanisiin ominaisuuksiin, kuten niiden venyvyyteen ja pussien tai sakkien repimiseen tarvittavaan voimaan jätteen esikäsittelyssä.

### 2.5.1 Mekaanisten testausten toteutus

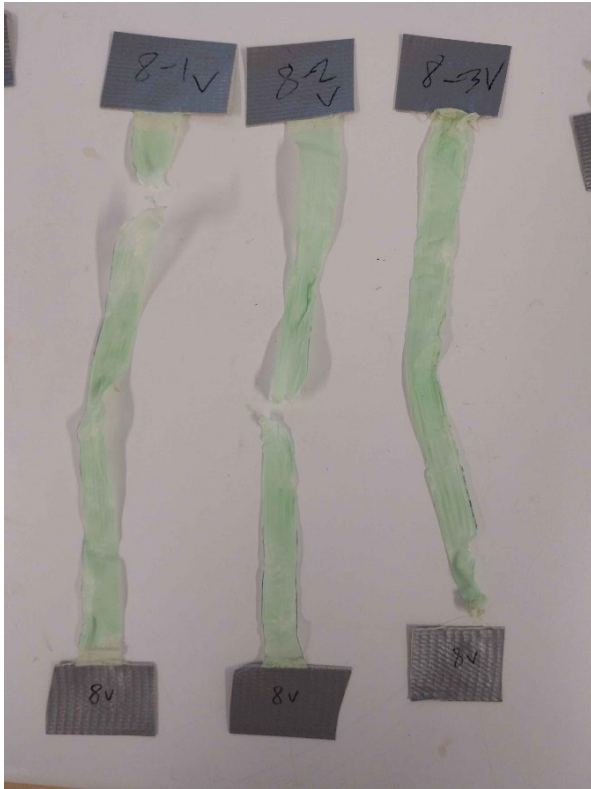
Tutkittavien pussien ja sakkien mekaanisia ominaisuuksia testattiin Turku AMK:n Kemiantekniikan laboratoriossa SHIMADZU AGS-X -vetokoneella.

Näytepusseja täytettiin lounasravintolan biojätteellä, jonka jälkeen niitä säilytettiin huoneenlämmössä 7 ja 14 vrk (kuva 2.10). Altistuksen päätteeksi biojäte poistettiin ja jäämät huuhdeltiin pois vedellä. Tämän jälkeen pusseista leikattiin 2 cm leveitä ja 10 cm pitkiä suikaleita 3 kpl konesuuntaan ja 3 kpl poikkisuuntaan. Leikatessa pyrittiin valitsemaan pussin osia, jotka visuaalisesti näyttivät ehjiltä.



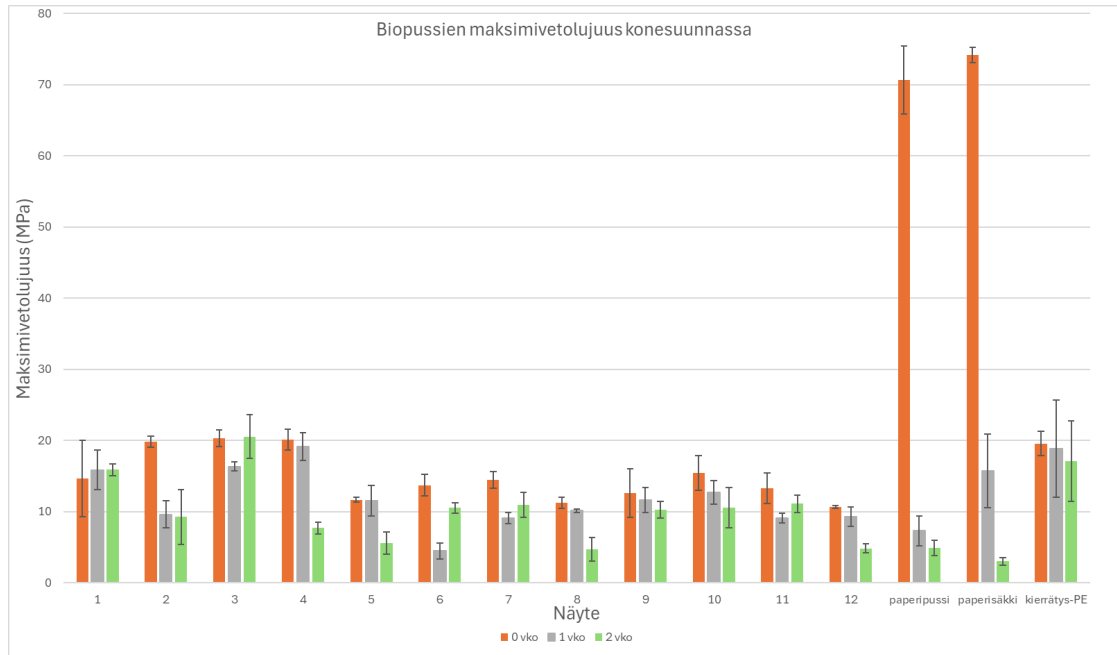
Kuva 2.10. Biojätteellä täytetty biomuovipussi kahden viikon altistuksen jälkeen.

Ennen testausta näytesuikaleiden päät vahvistettiin ilmastointiteipillä ja näytteet kostutettiin vedellä. Kastelun tarkoituksena oli simuloida jätepussissa muodostuvan kondenssiveden vaikutusta. Esimerkkejä testikappaleista on esitetty kuvassa 2.11.



Kuva 2.11. Vetokokeen testikappaleita mittauksen suorituksen jälkeen.

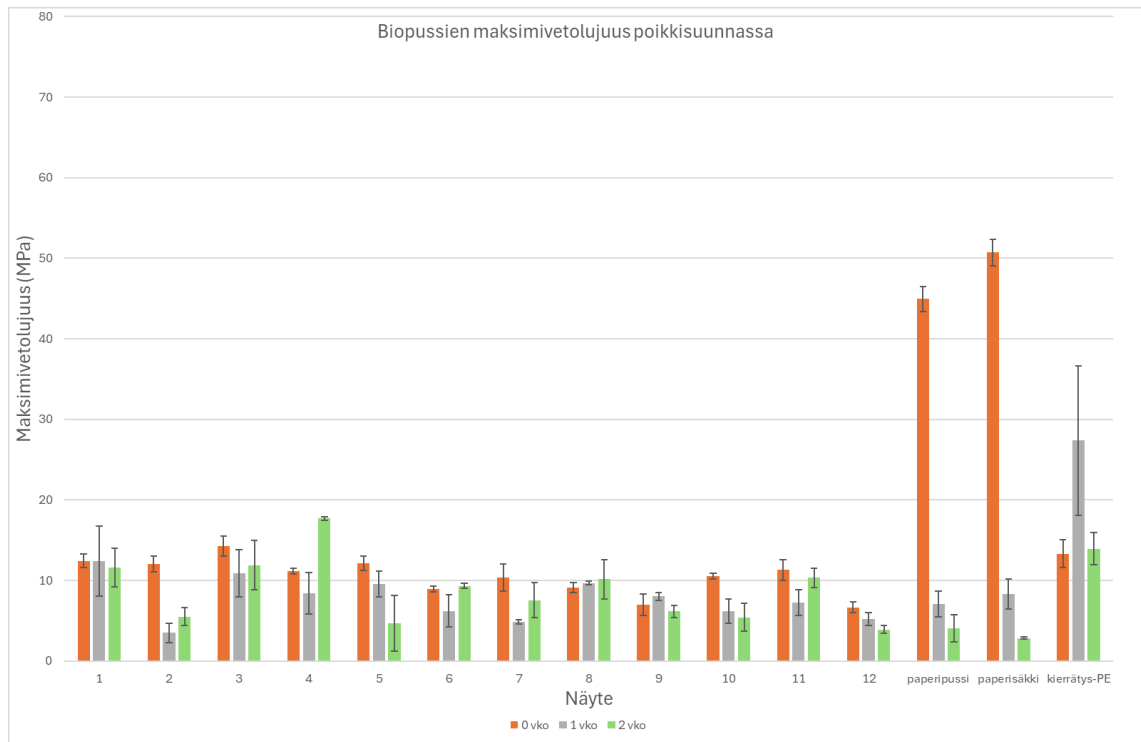
Biojätteelle 7 vrk ja 14 vrk altistettujen näytteiden lisäksi testattiin käyttämättömiä biopusseja ja -säkkejä. Vetonopeutena oli 30 mm/min ja vetokokeissa käytettiin 200 N voima-anturia. Vetokokeista määritettiin näytteiden maksimilujuus ja -venyvyys altistusajan funktiona. Tulokset ovat esitettynä kuvaajissa 2.1–2.4.



Kuvaaja 2.1. Biopussien maksimivetolujuus konesuunnassa.

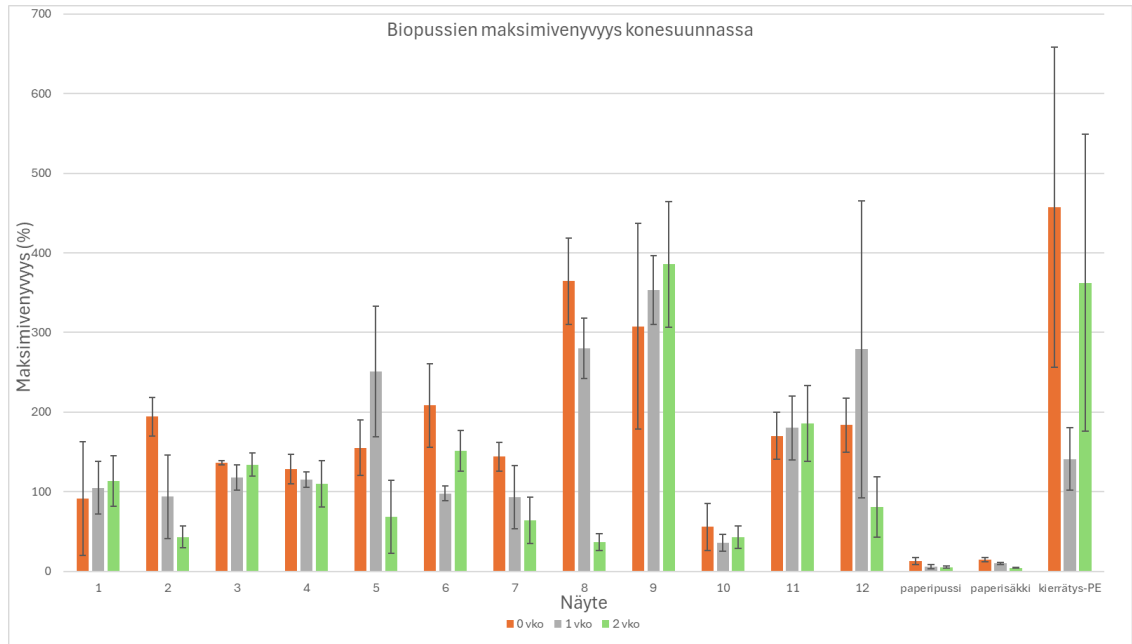
Biopussien maksimivetolujuudet konesuunnassa olivat käyttämättömien biomuovipussien osalta noin 11–20 MPa, 7 vrk:n altistuksen jälkeen 4–19 MPa ja 14 vrk:n altistuksen jälkeen 5–21 MPa (Kuvaaja 2.1). Tulosten keskihajonta oli pääsääntöisesti maltillinen. Tuloksissa on nähtävissä eroja eri valmistajien ja materiaalivahvuuksien välillä. Verrokkina toimineiden paperipussien ja -säkkien materiaalilujuudet olivat merkittävästi erilaiset verrattuna biohajoaviin pusseihin. Niiden vetolujuudet olivat alussa noin 71–74 MPa, 7 vrk:n altistuksen jälkeen 7–16 MPa ja 14 vrk:n altistuksen jälkeen 3–5 MPa. Verrokkina toimineen kierrätysmuovista valmistetun PE-pussin vetolujuudet laskivat hieman altistuksessa ollen keskimäärin 17–20 MPa. Keskihajonta näytti kasvaneen biojätteelle altistuksen myötä.





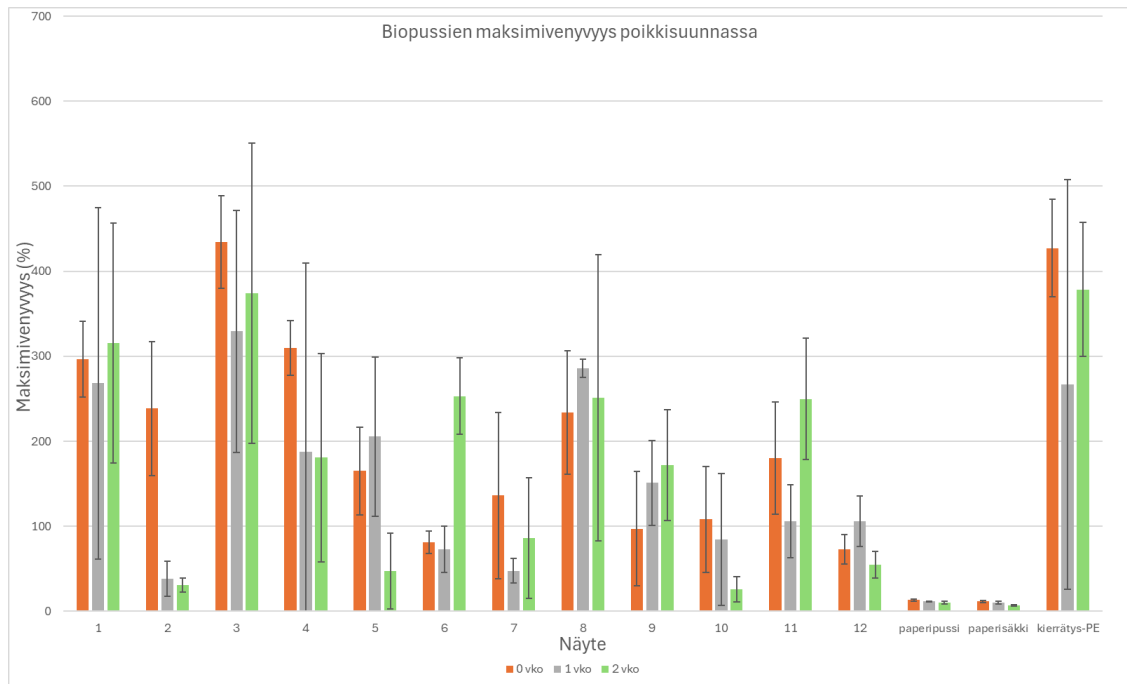
Kuvaaja 2.2. Biopussien maksimivetolujuus poikkisuunnassa.

Biopussien maksimivetolujuudet (Kuvaaja 2.2) olivat poikkisuuntaan selvästi alhaisemmat kuin konesuuntaan ollen käyttämättömien biomuovipussien osalta keskimäärin 7–14 MPa, 7 vrk:n altistuksen jälkeen 4–12 MPa ja 14 vrk:n altistuksen jälkeen 4–18 MPa. Myös verrokina toimineiden paperipussien vetolujuudet olivat poikkisuuntaan selvästi alempia kuin konesuuntaan käyttämättömien pussien vetolujuuden ollessa keskimäärin 45–51 MPa, 7 vrk:n altistuksen jälkeen 7–8 MPa ja 14 vrk:n altistuksen jälkeen 3–4 MPa. Myös verokina toimineen kierrätysmuovista valmistetun pussin lujuudet olivat poikkisuuntaan pääsääntöisesti heikompia ollen 13–27 MPa. Kierrätysmuovipussin kohdalla 7 vrk:n altistuksen jälkeinen tulos poikkeaa selvästi kahdesta muusta testauspisteestä sekä keskiarvoltaan että -hajonnaltaan.



Kuvaaja 2.3. Biopussien maksimivenyvyys konesuunnassa.

Kompostoituvien biopussien venyvyydessä konesuuntaan oli eroja eri materiaalivalmistajien tuotteiden sekä yksittäisten näytteiden välillä (Kuvaaja 2.3). Biomuovipussien maksimivenyvyys käyttämättömillä pusseilla oli keskimäärin 56–360 %, 7 vrk:n biojätteelle altistuksen jälkeen 36–350 % ja 14 vrk:n altistuksen jälkeen 37–390 %. Rinnakkaisnäytteiden välillä oli kohtalaisesti hajontaa. Verrokkina toimineiden paperipohjaisten pussien venyvyys konesuuntaan oli merkittävästi pienempää. Käyttämättömien pussien venyvyys oli keskimäärin 13–15 %, 7 vrk:n biojätteelle altistuksen jälkeen 6–10 % ja 14 vrk:n altistuksen jälkeen 4–5 %. Niin ikään verrokkina toimineen kierrätys-PE:n venyvyys oli käyttämättömällä pussilla keskimäärin 460 %, 7 vrk:n biojätteelle altistuksen jälkeen 140 % ja 14 vrk:n altistuksen jälkeen 360 % hajonnan ollessa suurta.



Kuvaaja 2.4. Biopussien maksimivenyvyys poikkisuunnassa.

Mitattaessa biomuovipussien maksimivenyvyyttä poikkisuuntaan todettiin tulosten keskihajontojen olleen paperipusseja lukuunottamatta melko suurta (Kuvaaja 2.4). Biomuovipussien maksimivenyvyydet käyttämättömille pusseille olivat 73–430 %, 7 vrk:n altistuksen jälkeen 36–330 % ja 14 vrk:n altistuksen jälkeen 26–370 %. Paperipohjaisten verrokkien maksimivenyvyydet olivat käyttämättömille pusseille 12–13 %, 7 vrk:n altistuksen jälkeen 10–11 % ja 14 vrk:n altistuksen jälkeen 7–10 %. Kierrätysmuovisen pussin maksimivenyvyys konesuuntaan oli käyttämättömälle pussille keskimäärin 430 %, 7 vrk:n altistuksen jälkeen 270 % ja 14 vrk:n altistuksen jälkeen 380 %.

## 2.5.2 Mekaanisten testausten tulosten tarkastelu

Kaikkien testattujen biopussien ja -säkkien maksimivetolujuudet konesuuntaan olivat keskimäärin suurempia kuin poikkisuuntaan. Paperipohjaisten verrokinäytteiden vetolujuudet olivat merkittävästi suuremmat verrattuna muihin näyhteisiin ennen biojätteen lisäystä, mutta biojätteelle ja kosteudelle

altistaminen heikensi niitä myös merkittävästi. Paperisilla verrokinäytteillä oli myös heikoimmat vetolujuusarvot 14 vrk:n altistuksen jälkeen. Tulos korreloi hyvin käytännön kokemukseen siitä, että paperipussit eivät tahdo kestää enää kantamista, kun ne kostuvat biojätteelle altistuessaan.

Pääsääntöisesti jo 7 vrk:n biojätealtistus heikensi useimman biohajoavasta muovista tehdyn pussin vetolujuutta. Joissakin tapauksissa vetolujuuden lasku oli vähäistä, mutta toisaalta rinnakkaisnäytteiden välinen keskihajonta saattoi olla huomattavan suuri. Vastaavasti 14 vrk:n biojätealtistuksen jälkeen biohajoavat muovinäytteet olivat pääsääntöisesti vetolujuudeltaan vielä heikompia kuin 7 vrk:n näytteet. Tulosten perusteella voidaankin todeta kaikkien materiaalien heikentyneen ainakin jossain määrin 14 vrk:n biojätteelle ja kosteudelle altistumisen aikana. Osalla näytteistä tulos vastasi paperipussin tai -säkin kestävyyttä, jolloin lujuus saattaa olla jo liiankin heikko käytettävyyttä ajatellen.

Biomuovipussien venyvyydettä tarkasteltaessa voidaan yleisellä tasolla todeta, että näiden mittausten perusteella venyvyys joko laski tai pysyi ennallaan, kun biomuovipusseja altistettiin biojätteelle. Näytekohtaisesti venyvyydessä oli eroja, mutta yleisesti ottaen suurimmat mitatut venyvyydet olivat samaa luokkaa kierrätys-PE:n kanssa. Tulosten mukaan vain näytteillä 5 ja 6 oli nähtävissä 12 vrk:n altistuksen jälkeen tilastollisesti merkitsevää venyvyyden kasvua, ja näissäkin tapauksissa vain jompaan kumpaan vetosuuntaan.

Kierrätys-PE:n kohdalla osittain ristiriitaisia tuloksia sekä vetolujuuden venyvyyden osalta voidaan selittää toisaalta PE-LD:n biohajoamattomuudella (jonka vuoksi se valittiin verrokiksi) ja toisaalta kierrätysmuovikalvossa olleilla visuaalisestikin selvästi havaittavilla epäpuhtauksilla, jotka kapeaan vetonäytteeseen sattuessaan saattavat heikentää kalvon lujuusominaisuuksia merkittävästi.

Testattujen näytteiden välillä oli suhteellisen paljon hajontaa johtuen materiaalin hajoamisesta ja haurastumisesta altistuksen aikana, mahdollisista testikappaleissa olleista rei'istä sekä mahdollisesti epätasaisesta kostumisesta.

Myös näytekappaleiden leikkaaminen oli haastavaa kosteiden kalvojen takertuessa yhteen ja niissä olleiden ruuantähteiden vuoksi, mikä saattoi aiheuttaa poikkeavuuksia vetokappaleiden muotoon. Lisäksi ohuiden muovinäytteiden asettaminen tasaisesti vetokoneen leukoihin oli haastavaa, jolloin näytteisiin on saattanut syntyä vedettäessä lisäjännityksiä.

### 2.5.3 Mekaanisten testausten pohdinta

Biopussien vetokokeiden tulosten pohjalta voidaan todeta, että yleisesti ottaen pussien vetolujuus heikkeni niiden ollessa kosketuksissa biojätteen kanssa. Rinnakkaisnäytteiden välillä oli mittauksissa paljon eroja. Biopussit siis hajosivat ja haurastuivat altistusajan kuluessa. Samalla pussien venyvyys pääsääntöisesti heikkeni. Biomuovien venyvyys ei näiden testien mukaan myöskään ylittänyt kierrätys-PE:n venyvyyssarvoja. Toisaalta biomuovipussit poikkeavat kierrätys-PE:n lailla mekaanisilta ominaisuuksiltaan merkittävästi paperipussien ominaisuuksista sekä ennen biojätteelle ja kosteudella altistusta että altistuksen jälkeen. Tämä herättääkin pohdinnan, onko niillä jätelaitoksilla, joilla on ongelmia biomuovikassien kanssa, myös ongelmia PE-muovikassien kanssa? Voiko prosessointiongelmien takana olla se, että laiteinvestoinneissa ei ole huomioitu biopussimateriaalien erilaisuutta?

Näissä testeissä tuloksia mitattiin yksittäisistä vetosuikaleista. Biohajoavia pusseja käsiteltäessä huomattiin kuitenkin, että biohajoavilla kalvoilla oli taipumus liimautua sitkeästi yhteen ja kalvojen erottaminen oli vaikeaa. On siis mahdollista, että sama ilmiö näyttäytyy myös biokaasulaitoksilla, jolloin yhteen liimautuvien biokalvojen kokonaislujuus ja -venyvyys kasvaa merkittävästi liian suureksi olemassa olevalle laitekannalle. Sama ilmiö ei ole niin voimakas PE-kalvoille niiden kemiallisen luonteensa (hydrofobinen) ansiosta.

### 3 Toimivuus biokaasulaitoksella

Toimivuus biokaasulaitoksella -osiossa haluttiin selvittää, kuinka tutkittavat pussi- ja säkkimateriaalit hajoavat biokaasulaitosten mädätysprosessissa ja kuinka paljon eri prosessivaiheissa ja lannoitetuotteista löytyy muovijäämiä. Lisäksi tutkittiin laboratorio-olosuhteissa, tuottavatko tutkittavat materiaalit biokaasua.

#### 3.1 Biopussien hajoavuus mädätyksessä ja jälkikompostoinnissa

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, hajoavat tutkittavat materiaalit mädätysprosessin aikana ja kuinka sitä seuraava kompostointivaihe vaikuttaa lopputuloksen. Tästä osa-alueesta toteutettiin opinnäytetyö, joka on ladattavissa verkosta (Raiko, A. 2024).

##### 3.1.1 Hajoavuustestien toteutus

Biopusseista leikattiin 100 kpl noin 12 mm x 12 mm kokoista palasta, jotka punnittiin ja siirrettiin verkkomaisesta materiaalista valmistettuihin pesupusseihin. Verkkokankaan käytöllä tavoiteltiin standardissa EN 13432 määritettyä 2 mm seulaa, jonka läpäisevät partikkelit määritetään tällä hetkellä biohajonneiksi. Pesupusseja valmistettiin 2 kappaletta yhtä biopussimateriaalia kohti.

Pesupusseja pidettiin mädätyslietteessä biokaasureaktorissa 5:n viikon ajan, jonka jälkeen puolet pusseista toimitettiin tutkittavaksi ja toinen puolisko siirrettiin vielä kompostiin 3 viikon ajaksi. Ajanjaksojen pituus valittiin standardin EN 13432 mukaisesti.

Standardin SFS-EN 13432 mukaan anaerobisessa biohajoavuustestissä testausajan tulee olla enintään 2 kk ja biokaasun tuottoon perustuvan biohajoavuusprosentin olla minimissään 50 % testimateriaalin teoreettisesta arvosta. Anaerobisen biokaasuntuotannon testausaika saa olla enintään 5

viikkoa, jos käytetään anaerobisen hajoamisen ja aerobisen stabiloitumisen eli kompostoinnin yhdistelmää. Tällöin testin jälkeen enintään 10 % testimateriaalin alkuperäisestä kuiva-aineesta saa jäädä 2 mm seulalle. (SFS-EN 13432 2001.)

Pesupussit toimitettiin Turun AMK:n Kemianteeniikan laboratoriolle. Kuvassa 3.1 näkyy pesupussien sisältö ja kuinka biomuovipalat olivat liimautuneet yhteen mädätyksen aikana.



Kuva 3.1. Pesupusseissa olleet biopussin palat olivat liimautuneet yhteen mädätyksen aikana.

Pussit huuhdeltiin vedellä, jonka jälkeen niiden sisällä olleet näytepalaset kerättiin talteen, kuivattiin ja punnittiin. Ennen mädätystä ja kompostointia tehtyjä punnitustuloksia verrattiin niiden jälkeisiin tuloksiin, jotta saatiin selville, kuinka suuri osa näytteestä oli hajonnut. Näytteiden punnitustulokset ja massan häviöt löytyvät taulukoista 3.1 ja 3.2.

Taulukko 3.1. Biopussien punnitustulokset ja massan häviöt mädätyksen jälkeen.

Näyte	Materiaalin määrä ennen mädätystä (g)	Materiaalin määrä mädätyksen jälkeen (g)	Materiaalia hajonnut (g)	Massan häviö (%)
Näyte 1	0,62	0,20	0,42	68,5
Näyte 2	0,75	0,28	0,47	63,0
Näyte 3	0,70	0,27	0,43	61,5
Näyte 4	0,79	0,10	0,69	87,9
Näyte 5	0,35	0,26	0,09	26,7
Näyte 6	0,35	0,27	0,08	22,2
Näyte 7	0,37	0,24	0,13	34,0
Näyte 8	0,52	0,40	0,12	22,6
Näyte 9	0,42	0,27	0,15	36,5
Näyte 10	0,18	0,19	-0,01	-3,7
Näyte 11	0,24	0,43	-0,19	-80,7
Näyte 12	0,38	0,19	0,19	49,0
Paperipussi	1,13	0,18	0,95	83,9
Paperisäkki	1,14	0,07	1,07	93,5
Kierrätys-PE	0,74	0,35	0,39	52,7

Taulukossa 3.1 esitettyjen tulosten perusteella biohajoavien pussien massat pienenivät 22,2–87,9 % 5 viikon mädätyksen aikana. Näytteen 10 massa pysyi samana ja näytteen 11 kohdalla massa näytti kasvaneen mädätyksen aikana. Vähintäänkin näytteen 11 kohdalla on kyseessä mitä todennäköisemmin punnitusvirhe, joka saattaa johtua näytteessä olleesta liasta, tms. Verrokkina toimineiden paperinäytteiden massat pienenivät 83,9–93,5 % ja kierrätys-PE:n massa pieneni 52,7 %. Kierrätys-PE:n kohdalta tulos ei ollut realistinen, joten syynä lienee tässäkin punnitusvirhe.

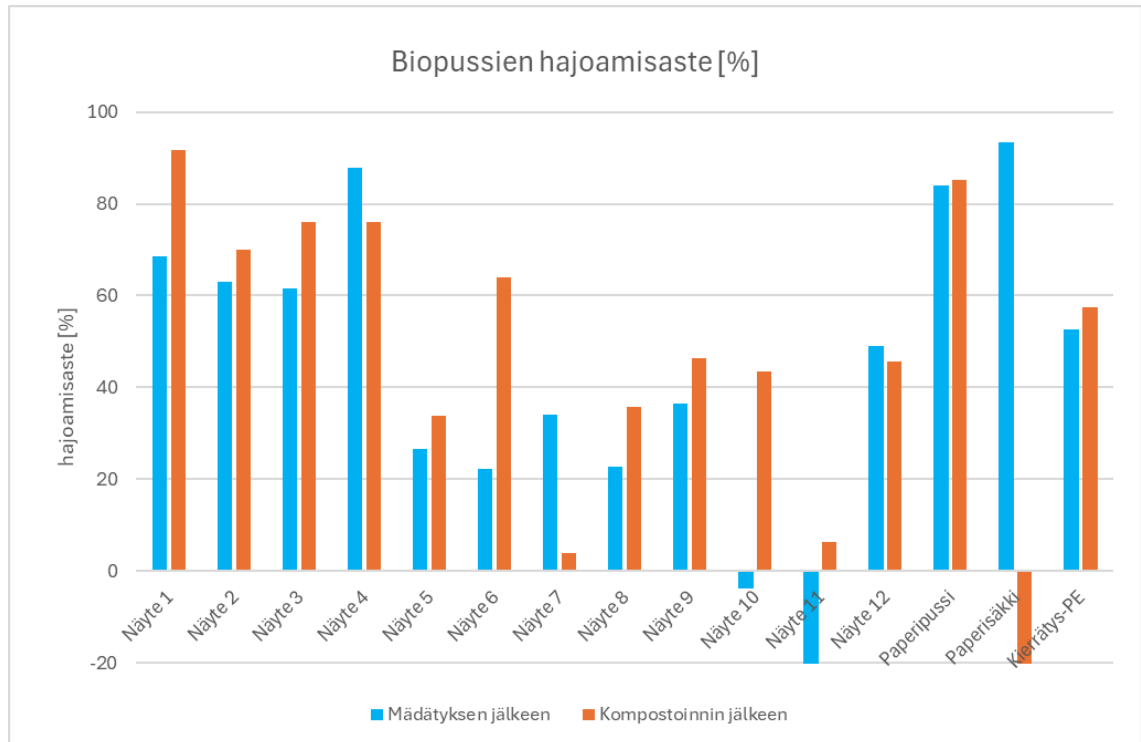


Taulukko 3.2. Biopussien punnitustulokset ja massan häviöt kompostoinnin jälkeen.

Näyte	Materiaalin määrä ennen testausta (g)	Materiaalin määrä kompostin jälkeen (g)	Materiaalia hajonnut (g)	Massan häviö (%)
Näyte 1	0,59	0,05	0,54	91,6
Näyte 2	0,73	0,22	0,51	69,9
Näyte 3	0,66	0,16	0,50	76,0
Näyte 4	0,81	0,19	0,62	76,1
Näyte 5	0,32	0,21	0,11	33,7
Näyte 6	0,43	0,16	0,27	63,9
Näyte 7	0,23	0,22	0,01	4,0
Näyte 8	0,57	0,37	0,20	35,7
Näyte 9	0,32	0,17	0,15	46,3
Näyte 10	0,29	0,16	0,13	43,6
Näyte 11	0,37	0,35	0,02	6,3
Näyte 12	0,26	0,14	0,12	45,7
Paperipussi	1,06	0,16	0,90	85,1
Paperisäkki	1,19	1,91	-0,72	-60,4
Kierrätys-PE	0,71	0,30	0,41	57,5

Taulukon 3.2 tulosten perusteella biohajoavien pussien massat pienenevät 4,0–91,6 % 5 viikon mädätyksen ja sitä seuranneen 3 viikon kompostoinnin aikana. Samaan aikaan verrokkina toimineiden paperinäytteiden massat pienenevät -60,4–85,1 %. Kaikissa näytempusseissa oli multaa, jota yritettiin pestä pois ennen punnitusta. Erityisesti paperinäytteiden kohdalla oli vaikeuksia tunnistaa, mikä osa pussissa olleesta humuksesta oli paperia ja mikä multaa. Siten, negatiivinen massan häviö viittaa siihen, että punnittavaan näytteeseen oli jäänyt kompostia. Kierrätys-PE:n massa pieneni 57,5 %, mikä myös kompostoinnin osalta lienee punnitusvirhe.

Biopussien hajoamisasteet mädätyksen ja kompostoinnin jälkeen esitetään kuvaajassa 3.1.



Kuvaaja 3.1. Biopussien hajoamisasteet mädätyksen ja kompostoinnin jälkeen. Negatiiviset arvot on katkaistu -20 %:iin luettavuutta helpottamaan.

Biopussinäytteet 1, 2, 3 ja 4 hajosivat vaadittavan, yli 50 %:n määrän mädätyksen aikana. Lisäksi näyte 12 lähes saavutti vaaditun rajan. Myös verrokkimateriaalit saavuttivat vaaditun raja-arvon, tosin PE:n kohdalla tulos on ristiriitainen. Näytteiden 5–9 kohdalla hajoavuus jäi 20–40 %:iin. On kuitenkin huomattava, että kyseisten materiaalien reseptiikka ei ollut tiedossa, joten todellinen hajoamisprosentti, joka lasketaan teoreettisesta maksimista, voi olla todellisuudessa suurempi.

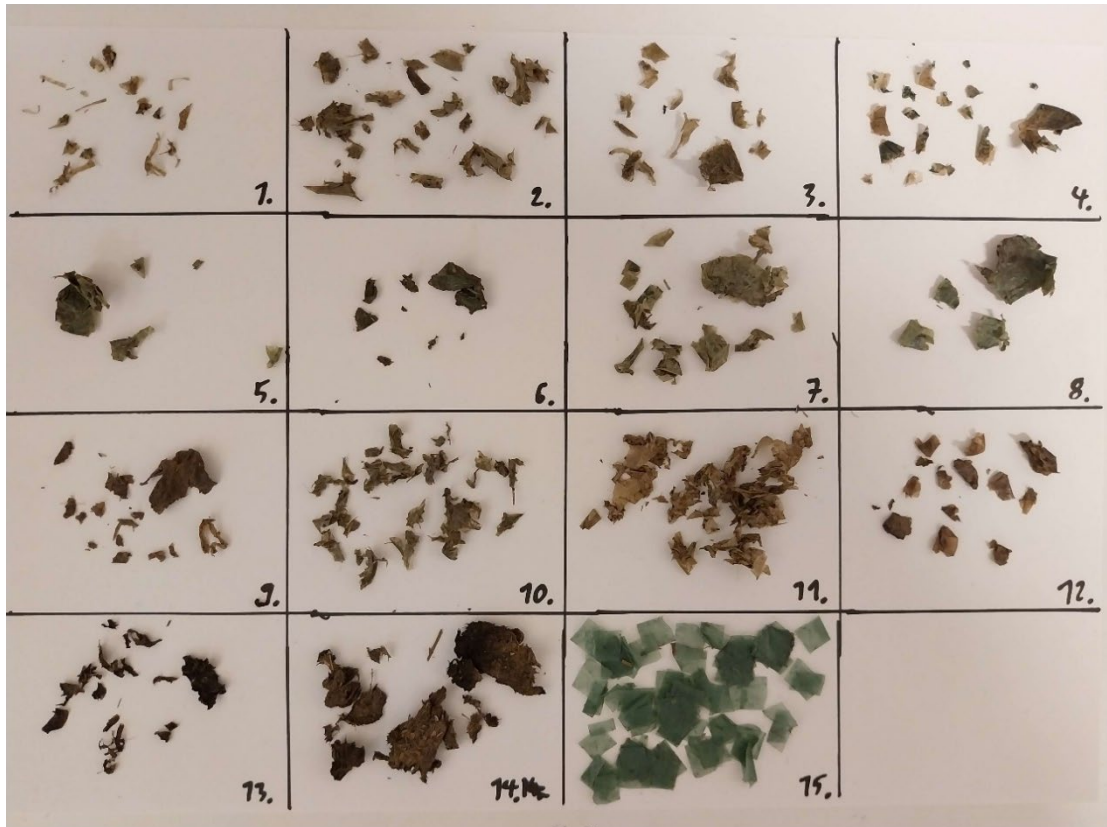
Näytteiden 10 ja 11 massat olivat tulosten mukaan nousseet mädätyksen jälkeen hajoamisen sijasta. Kyseessä on todennäköisesti punnitusvirhe, mutta myös näytepalasiin jäänyt lika saattoi olla syynä massan nousuun. Kierrätys-PE:n osalta tuloksia tarkastettiin leikkaamalla kalvosta 12 x 12 cm:n kalvon palat, joiden massa punnittiin. Punnitusten keskiarvo oli 0,30 g. Tätä verratessa taulukon lähtöpainoon (0,71–0,74 g) on selvää, että näytteen valmistelun aikana on tapahtunut punnitusvirhe.

Mädätyksen jälkeen kompostiin siirretyt näytteet jatkoivat pääsääntöisesti hajoamistaan. Kuitenkin ainoa yli 90 %:n hajoamistason saavuttanut näyte oli näyte 1, jonka massan häviö oli 91,6 %. Näytteet 7 ja 11 olivat näiden testausten mukaan hajonneet huonosti, sillä ne olivat menettäneet vain alle 10 % alkuperäisestä massastaan. Näyte 7 oli kuitenkin hajonnut mädätyksen aikana jo 37,0 %.

Huomioitavaa on, että myöskään paperiset verrokinäytteet eivät saavuttaneet tavoiteltua yli 90 %:n hajoamista. Siksi on syytä epäillä, että punnittujen näytteiden joukossa oli prosessissa kertynyttä likaa, joka lisäsi painoa. Osa näytteistä oli liimaantunut tiukaksi mytyksi, jonka sisälle on saattanut jäädä humusta (kuva 3.2).

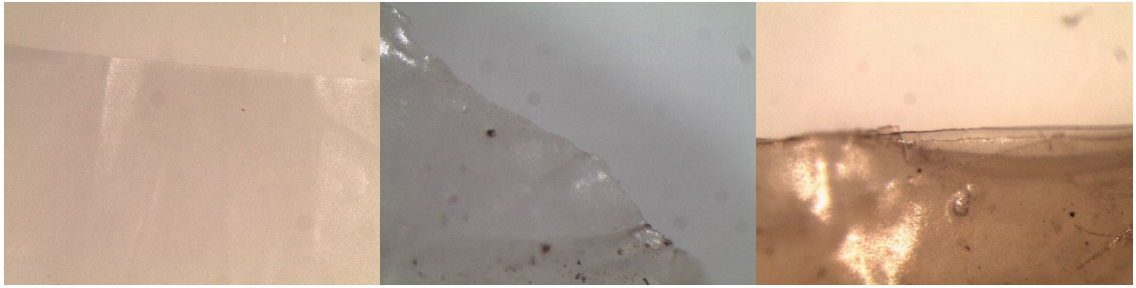
### 3.1.2 Hajoamisen visuaalinen arviointi

Kompostissa olleiden näytteiden hajoamista arvioitiin myös visuaalisesti. Kuvassa 3.2 esitellään pesupussien sisältö (100 kpl 12 x 12 mm kalvonpalaa) 5 viikon mädätyksen ja 3 viikon kompostoinnin jälkeen.



Kuva 3.2. Biopussinäytteet kompostin ja mädätyksen jälkeen.

Kuvasta nähdään, että kaikissa näytteissä näytettä 15 (kierrätys-PE) lukuun ottamatta on selvästi tapahtunut hajoamista. Näyte 15 sisälsi yhä suuren määrän palasia lähes koskemattomia palasia. Koska näyte oli biohajoamatonta kierrätys-PE:tä, ei sen olisi pitänyt hajota. Muut näytteet olivat suurimmaksi osaksi hajonneet pieniksi ja repaleisiksi tai liimaantuneet yhteen tiiviiksi mytyiksi. Tiiviit mytyt ovat saattaneet sisältää prosessoinnista tulleita epäpuhtauksia, jotka ovat nostaneet punnitustuloksia hajoamisastetta arvioitaessa. Näytteiden hajoamista tarkasteltiin myös stereomikroskoopin avulla (Kuvat 3.3–3.17).



Kuva 3.3. Näyte 1 ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



Kuva 3.4. Näyte 2 ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



Kuva 3.5. Näyte 3 ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



Kuva 3.6. Näyte 4 ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



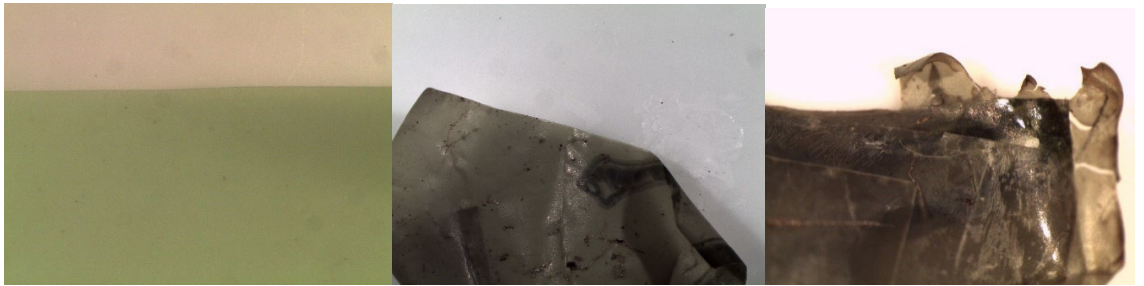
Kuva 3.7. Näyte 5 ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



Kuva 3.8. Näyte 6 ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



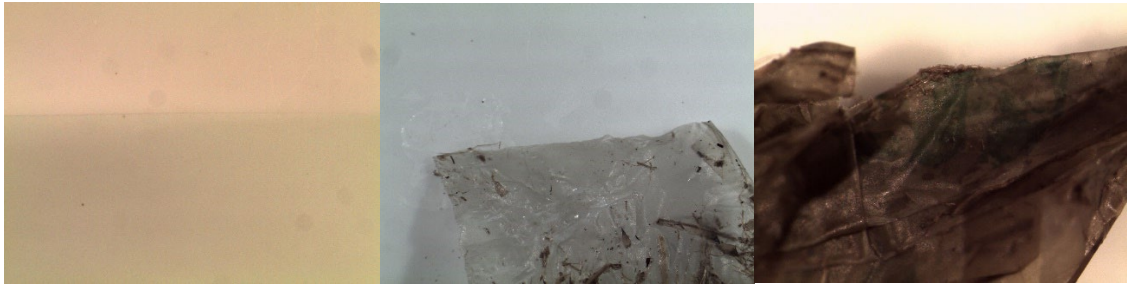
Kuva 3.9. Näyte 7 ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



Kuva 3.10. Näyte 8 ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



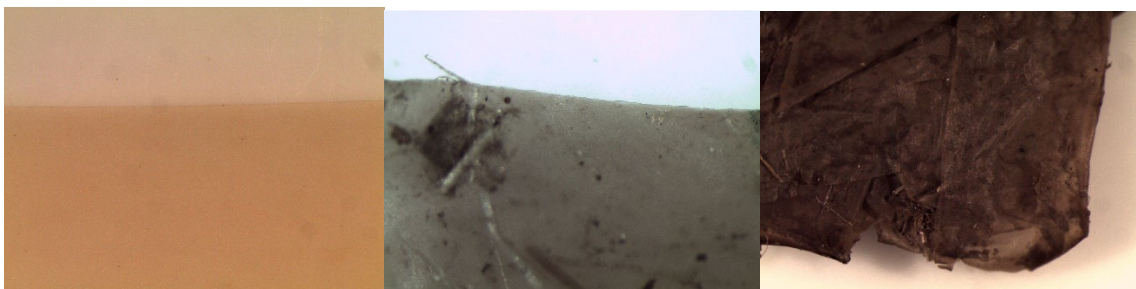
Kuva 3.11. Näyte 9 ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



Kuva 3.12. Näyte 10 ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



Kuva 3.13. Näyte 11 ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



Kuva 3.14. Näyte 12 ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).





Kuva 3.15. Näyte 13 (paperipussi) ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



Kuva 3.16. Näyte 14 (paperisäkki) ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).



Kuva 3.17. Näyte 15 (kierrätys-PE) ennen mädätystä ja kompostia (vasen), mädätyksen jälkeen (keskellä) ja kompostin jälkeen (oikealla).

Myös mikroskooppikuvista kävi ilmi, että näytteet oli alkaneet hajota.

Näytepalaset olivat repaleisia ja osassa esiintyi pieniä kuoppia (näytteet 1, 7 ja 11) tai halkeamia (näyte 4). Näytteissä 4 ja 11 muovinpalasen painatus on

Biomuovien toimivuus biokaasulaitoksella - Tutkimusraportti

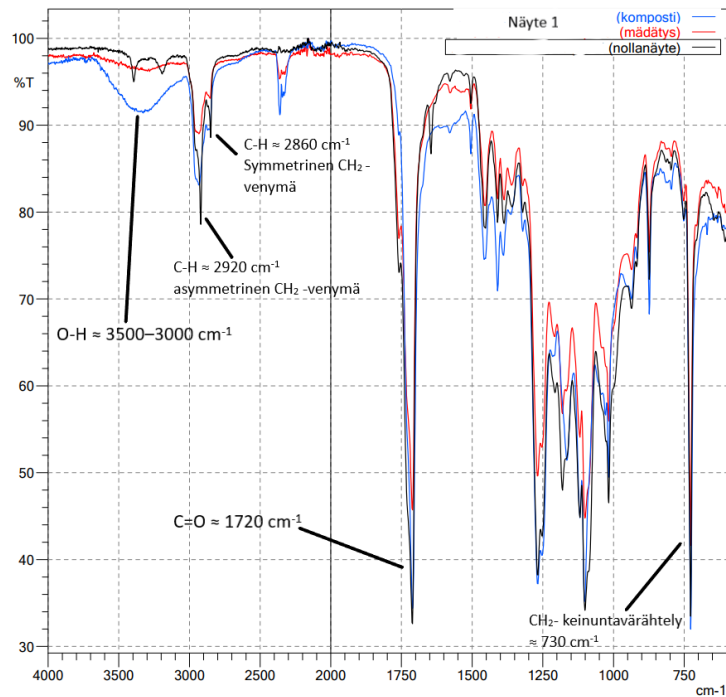
alkanut hajoamaan ja levinnyt. Paperinäytteiden 13 ja 14 kuidut olivat irronneet toisistaan ja levinneet ympäriinsä (Kuvat 3.15 ja 3.16). Näyte 15 (kierrätys-PE) ei ollut hajonnut juurikaan, mutta palassa näkyi hieman pinttynyttä likaa (Kuva 3.17).

### 3.1.3 Mädätys- kompostointinäytteiden FTIR-analyysit

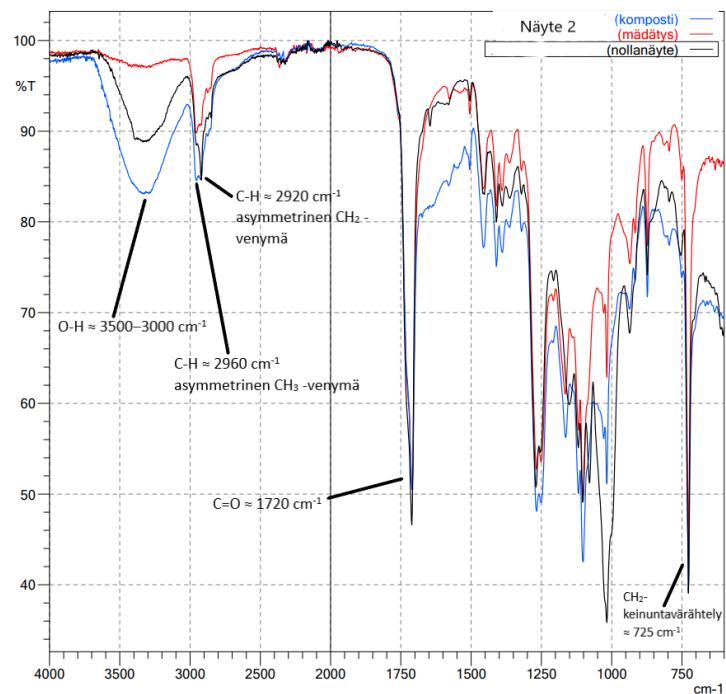
Mädätys- ja kompostinäytteet analysoitiin FTIR-spektrofotometrillä ja saatuja IR-spektrejä verrattiin puhtaiden näytteiden spektreihin. Työssä käytettiin Shimadzun FTIR-spektrometriä MKII Golden Gate Single Reflection ATR-lisäosalla. Mädätys- ja kompostinäytteiden yhdistetyt IR-spektrit ovat esillä kuvissa 3.18–3.32 ja FTIR-spektrofotometrin ajoparametrit taulukossa 3.3.

Taulukko 3.3. FTIR-spektrofotometrin ajoparametrit.

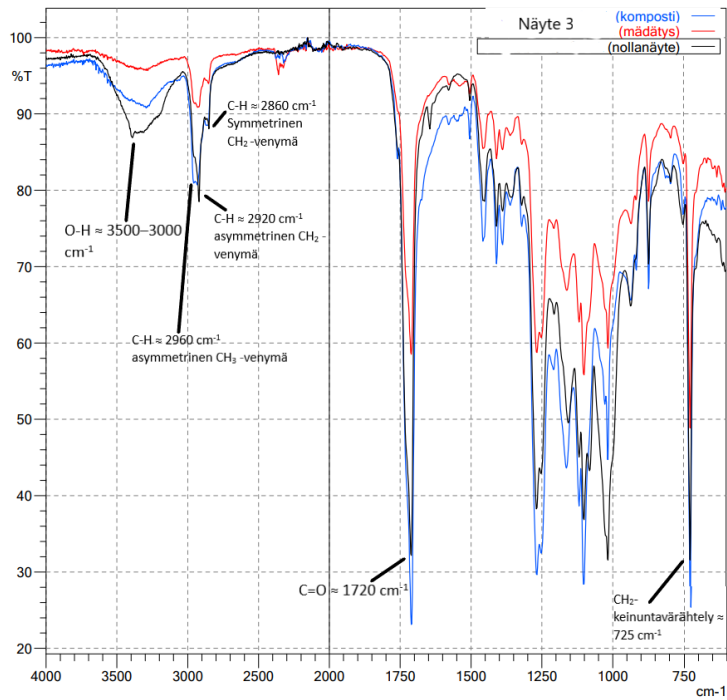
<b>FTIR-spektrofotometrin ajoparametrit</b>			
<b>Aaltolukualue (cm-1)</b>	<b>Skannausten määrä</b>	<b>Resoluutio</b>	<b>Apodisaatio</b>
4000–600	20	4	Happ-Genzel



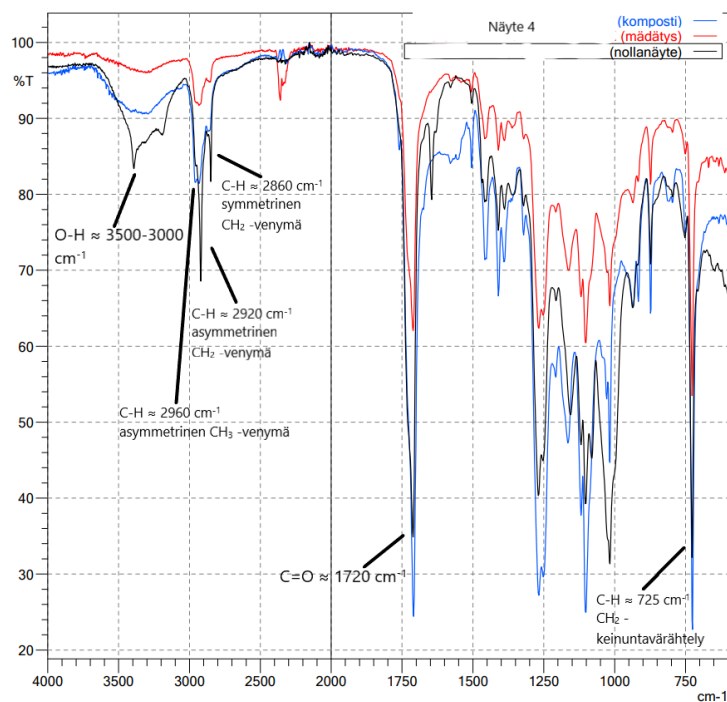
Kuva 3.18. Näyte 1:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



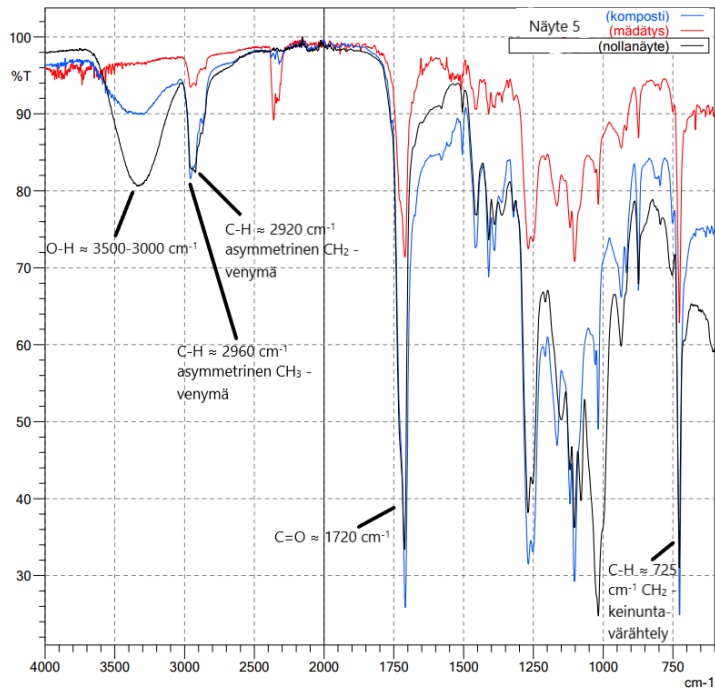
Kuva 3.19. Näyte 2:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



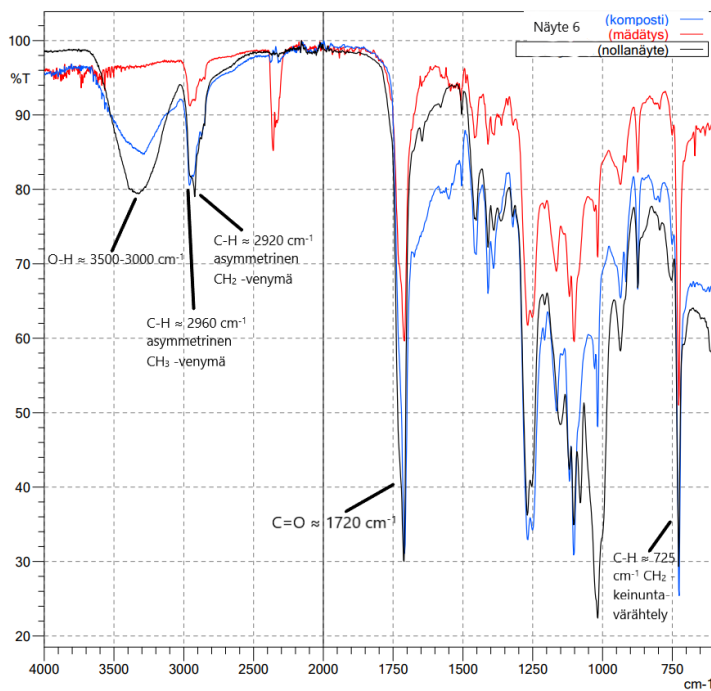
Kuva 3.20. Näyte 3:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



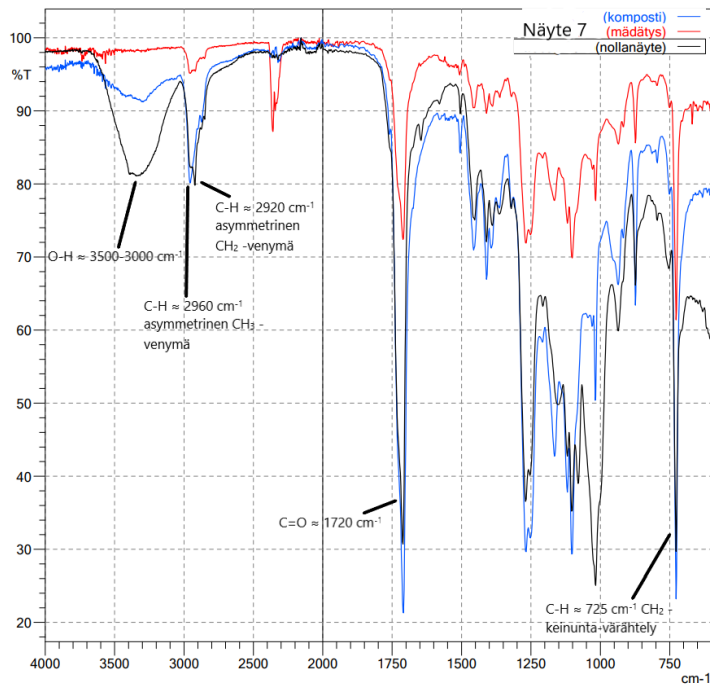
Kuva 3.21. Näyte 4:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



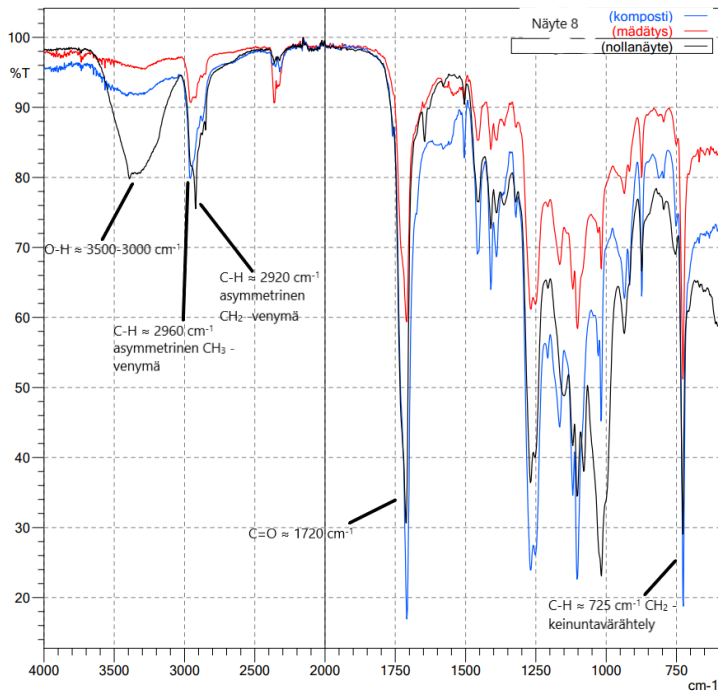
Kuva 3.22. Näyte 5:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



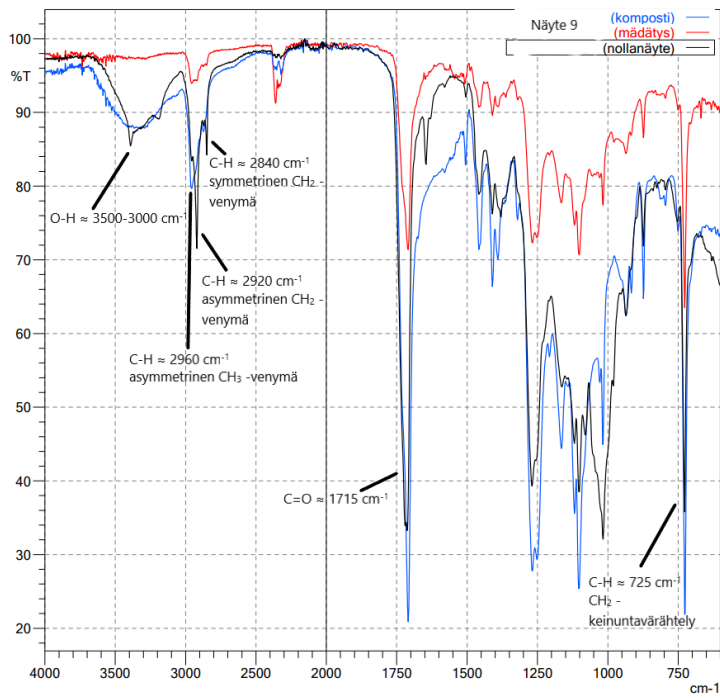
Kuva 3.23. Näyte 6:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



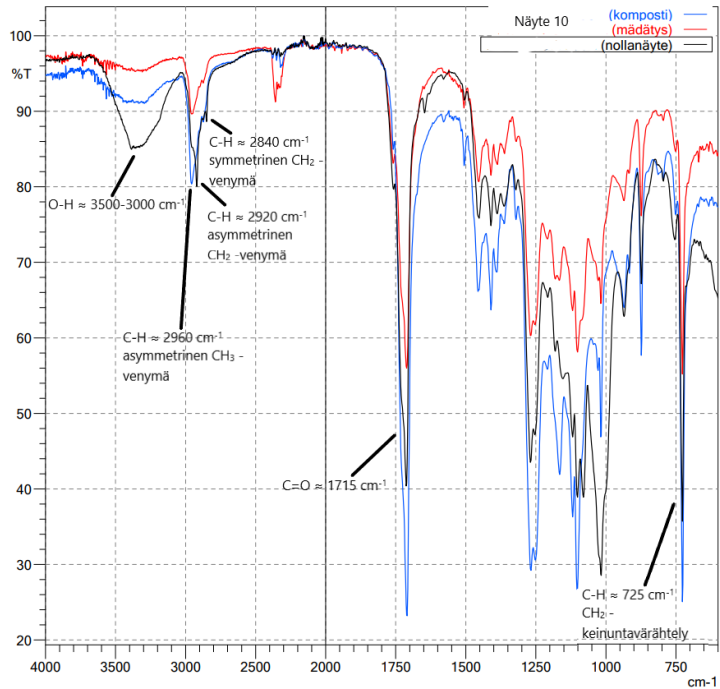
Kuva 3.24. Näyte 7:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



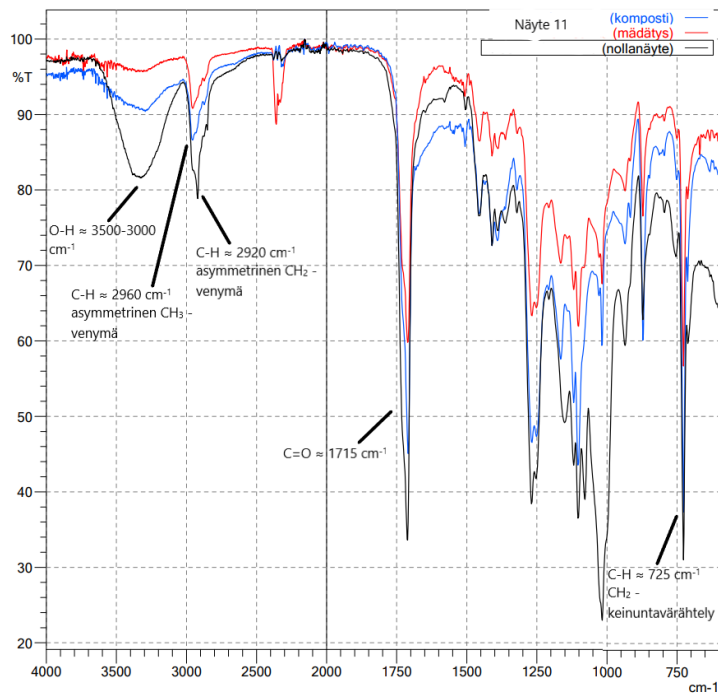
Kuva 3.25. Näyte 8:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



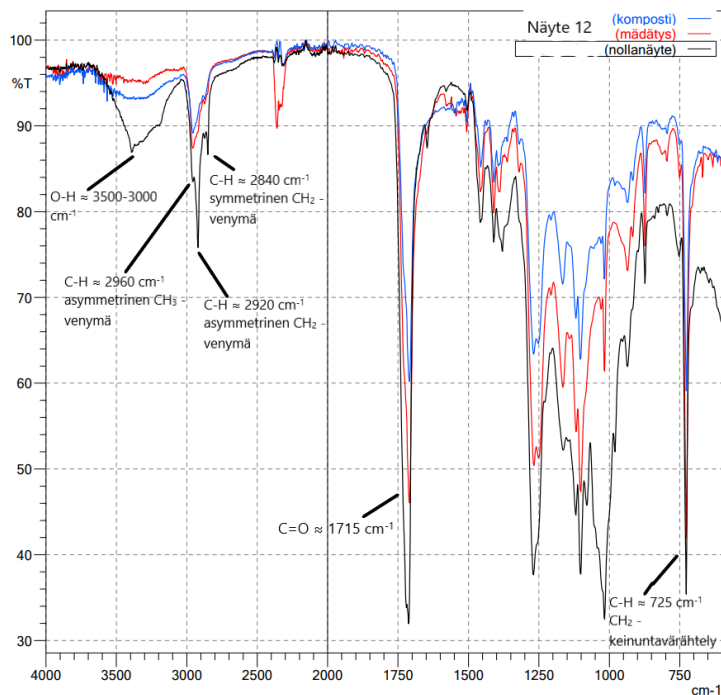
Kuva 3.26. Näyte 9:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



Kuva 3.27. Näyte 10:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



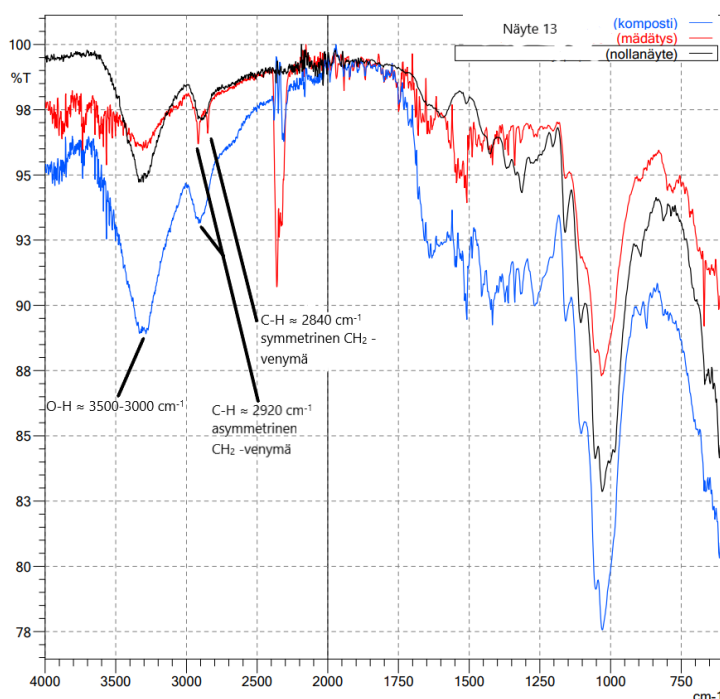
Kuva 3.28. Näyte 11:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



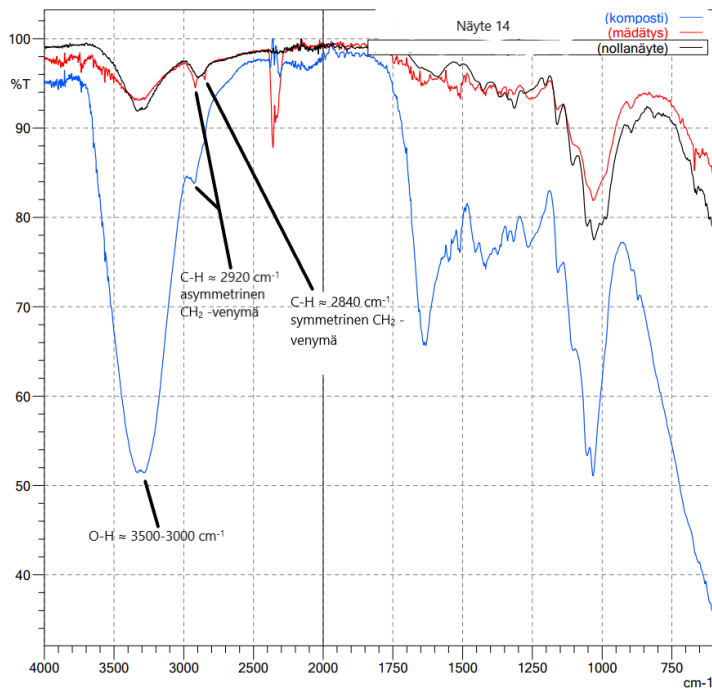
Kuva 3.29. Näyte 12:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



Kaikista biomuovipussien IR-spektreistä (näytteet 1-12) löydettiin samoja piikkejä; hydroksyyliiryhmä O-H aaltolukualueella  $3500-3000\text{ cm}^{-1}$ , karbonyyliiryhmä C=O  $1720-1710\text{ cm}^{-1}$  paikkeilla, CH<sub>2</sub> -keinuntavärähtely  $725\text{ cm}^{-1}$  lähetyvillä ja asymmetrinen CH<sub>2</sub> -venymä  $2920\text{ cm}^{-1}$  kohdalta. Lisäksi biopussien spektreistä tunnistettiin vaihtelevasti muita C-H -venymiä kuten asymmetrinen CH<sub>3</sub> (n.  $2960\text{ cm}^{-1}$ ) ja symmetrinen CH<sub>2</sub> -venymä (n.  $2840\text{ cm}^{-1}$ ). Joissain tapauksissa tiettyjä C-H -venymiä tunnistettiin esim. vain kompostin jälkeen otetusta spektristä; mm. näyte 10:n mädätyksen ja kompostin jälkeisissä spektrissä oli asymmetrinen CH<sub>3</sub> -venymä  $2960\text{ cm}^{-1}$  kohdalla, mutta nollanäytteellä ei sellaista ollut. Toisaalta nollanäytteen spektrissä esiintyi asymmetrinen CH<sub>2</sub> -venymä, jota mädätys- ja kompostispektreistä ei havaittu. Mädätyksen jälkeisten spektrien intensiteetit olivat keskimäärin matalimpia. Terävimmät piikit löytyivät vaihdellen nollanäytteiden tai kompostin jälkeisten näytteiden spektreistä.

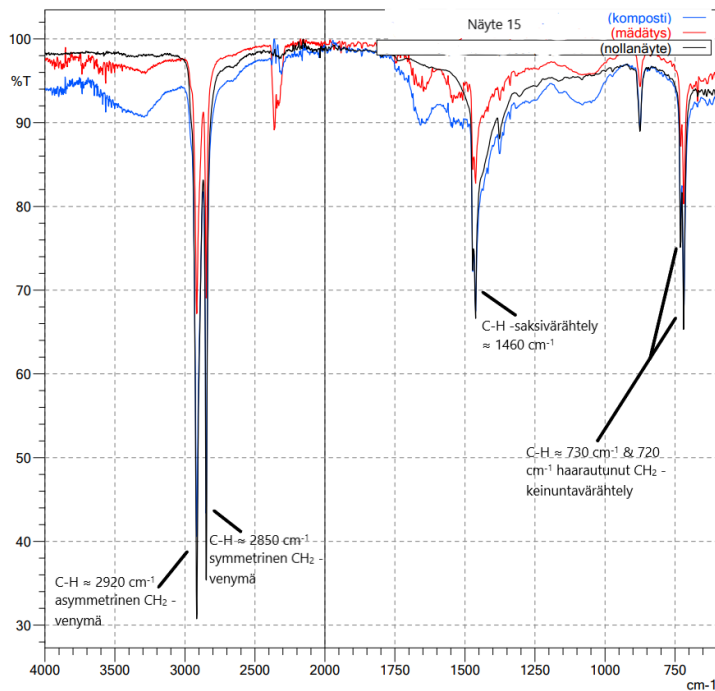


Kuva 3.30. Näyte 13:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).



Kuva 3.31. Näyte 14:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).

Paperinäytteiden (näytteet 13 ja 14) kaikissa spektreissä esiintyi hydroksyyliiryhmä O-H 3500-3000 cm<sup>-1</sup> alueella. Asymmetristä CH<sub>2</sub> -venymää ei ollut selkeästi havaittavissa nollanäytteestä ja symmetrinen CH<sub>2</sub> -venymä näkyi terävästi vain mädätyksen jälkeisissä spektreissä. Hydroksyyliiryhmän piikin intensiteetti nousi huomattavasti kompostoinnin jälkeen näytteen 14 tapauksessa.



Kuva 3.32. Näyte 15:n IR-spektri ennen mädätystä (musta), mädätyksen jälkeen (punainen) ja kompostin jälkeen (sininen).

Polyeteenisen kierrätysmuovipussin spektristä (näyte 15) erottuivat selkeästi asymmetrinen CH<sub>2</sub> -venymä (2920 cm<sup>-1</sup>), symmetrinen CH<sub>2</sub> -venymä (2850 cm<sup>-1</sup>), C-H -saksivärähtely (1460 cm<sup>-1</sup>) sekä haarautunut CH<sub>2</sub> -keinuntavärähtely (730 cm<sup>-1</sup> & 720 cm<sup>-1</sup>). Näiden joukosta asymmetrinen ja symmetrinen CH<sub>2</sub> -venymä esiintyivät myös monen biopussin spektrissä. Mädätysnäytteen piikkien intensiteetit olivat pääasiassa huomattavasti heikompia kuin nollanäytteen ja kompostinäytteen.

### 3.1.4 Pohdinta mädätys- ja kompostoitavuustesteistä

Tehtyjen tutkimusten perusteella vain yksi näyte saavutti standardissa SFS-EN 13432 määritetyn yli 90 %:n hajoamisasteen mädätyksen ja sitä seuranneen kompostoinnin jälkeen. Verrokkina toimineet biohajoavaksi materiaaliksi tunnustetut paperipussit ja -säkit eivät myöskään saavuttaneet kriittistä raja-arvoa.

Tehdyissä tutkimuksissa jäi jonkin verran epävarmuuksia. Koska sekä mädätyksessä että kompostoinnissa oli vain yhdet näytteet, jäi mahdolliset punnitusvirheet selvittämättä. Tämä koski erityisesti verrokkina toiminutta PE-LD-näytettä. Lisäksi näytteet olivat liimaantuneet suuriksi kasoiksi, joissa saattoi olla painoa nostavia epäpuhtauksia sisällä. Toisaalta, jos näytteet olivat koko testausajan samanlaisena kasana, ei näytteet myöskään päässeet hajoamaan tehokkaasti, koska lietteen kanssa kosketuksissa oleva pinta-ala oli merkittävästi pienempi kuin jos näytepalat olisivat kelluneet vapaasti.

Epävarmuutta laskettuihin tuloksiin toi myös se, että biopussimateriaalien reseptiikka ei ollut tiedossa. Jos kalvomateriaali sisältää esim 20 % epäorgaanista ainesta, kuten talkkia, tavoiteltaisiin testauksessa merkittävästi alhaisempaa massanalenemaa.

Kuvan 3.2 perusteella syntyy epäily, että valtaosaa kyseisistä biomuovipartikkeleista olisi lähes mahdotonta löytää seulomallakaan kompostin joukosta, jolloin voitaisiin arvioida, että ne ovat osa humusta, kuten toimitaan paperinäytteiden kohdalla.

Tehtyjen analyysien perusteella on selvää, että valtaosa tutkituista materiaaleista alkoi hajota biokaasulaitoksen mädätysprosessissa ja hajoaminen jatkui kompostoinnissa. Tämä siitäkin huolimatta, että näytteiden ollessa pesupussin suojassa, ne eivät todennäköisesti altistuneet mekaaniselle rasitukselle samalla tavalla kuin irrallaan olevat muovipartikkelit altistusivat.

Nämä tutkimukset toteutettiin aikajaksolla 15.3.2024–10.5.2024, jolloin ei biokaasulaitoksen eikä kompostoinnin olosuhteet olleet optimaaliset. Pohjoisissa olosuhteissa ei ehkä ole realististakaan ajatella saavutettavan samanlaisia standardin vaatimia biohajoavuusnopeuksia kuin lämpimämmissä maissa.

## 3.2 Muovien määrä biokaasuprosessissa

Tutkimusosion tavoitteena on selvittää seulomalla, kuinka paljon biokaasuprosessin eri vaiheissa löytyy erilaisia muoveja ja paperia. Myös tätä osiota on tutkittu opinnäytetyössä, joka on ladattavissa verkosta (Raiko, A. 2024).

### 3.2.1 Seulontatestien toteutus

Biokaasulaitokset toimittivat Turku AMK:lle eri prosessivaiheista ottamansa noin 9 litran näytemäärät. Riippuen näytteen laadusta, kiinteä (komposti) tai märkä (liete), näyte kuivaseulottiin tai märkäseulottiin. Kiinteät näytteet kuivattiin noin 50 °C:ssa, jotta tutkittavat biomuovit eivät hajoaisi lämmön vaikutuksesta. Kuivaus lopetettiin, kun kosteus näytteistä oli haihtunut ja seulonta oli täten mahdollista.

Kuivat näytteet seulottiin täryseulalla, johon asetettiin seulasarja 10, 5, 2 ja 1 mm seulakoilla. Näytteitä seulottiin noin 1 min ajan. Seuloilta kerättiin seuloille jääneet muovit ja paperit, jotka punnittiin. Yli 2 mm seulajäämistä määritettiin i FTIR:llä muovityyppi ja partikkelien muotoja tarkasteltiin visuaalisesti ja mikroskoopilla. Tutkitut prosessinäytteet on listattu taulukkoon 3.4.

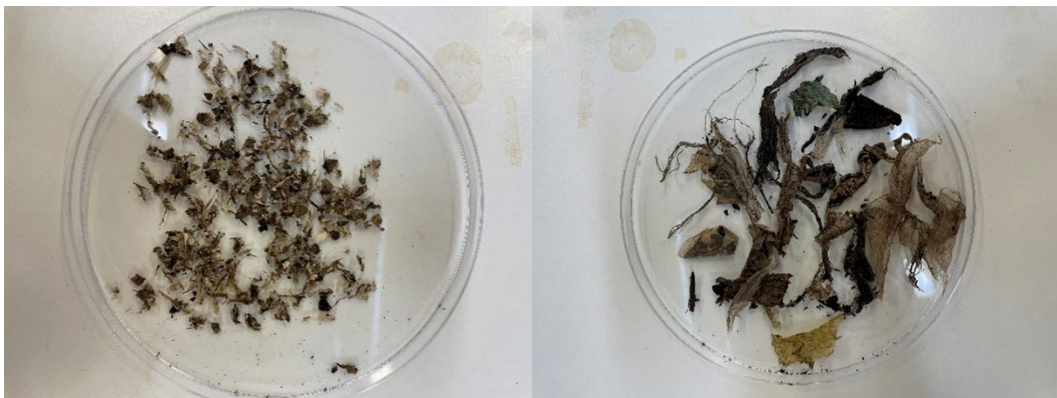
Lietteet märkäseulottiin laittamalla näytettä seulasarjalle, minkä jälkeen seulasarjaa huuhdeltiin vedellä päältä päin. Tämän jälkeen 10, 5 ja 2 mm seuloilta kerättiin muovit ja paperit talteen ja niiden massa punnittiin. Pienimmän, 1 mm seulan ylite kuivattiin ja kuvattiin, jonka jälkeen kuvasta laskettiin mikromuovin määrä 1/4 alueelta.

Taulukko 3.4. Biokaasuprosessinäytteet ja koodaus.

Tuote	Koodi
Murskauksen jälkeen	A
Ennen kompostiin ajoa	B
Komposti vanhan laitoksen jälkeen	D
Mädäte	E
Komposti hygienisoinnin jälkeen	F

### 3.2.2 Seulontatestien tulokset

Muovien määrää biokaasulaitosten prosesseissa tutkittiin selvittämällä näytteissä olleet muovi- ja mikromuovimäärät seulomalla näytteet sekä määritettiin tutkitut muovit FTIR-spektrien avulla kolmeen luokkaan. Lisäksi tutkittiin muovien muotoja kuvien avulla. Kuvasta 3.33 nähdään punnittujen muovien likaisuus, mikä väärensi punnitustuloksia.



Kuva 3.33. Seulottujen muovien likaisuus.

Seuloilta kerätyistä biopussin palasista voidaan todeta kuvan 3.34 perusteella muovien hajoavan usein pitkittäin ohuiksi suikaleiksi. Paperien muoto oli yleensä neliömäinen.



Kuva 3.34. Seulalta kerättyjen muovien muotoja.

Taulukossa 3.5 esitetään prosessinäytteiden A, B, D, E ja F märkä- tai kuivapaino näytteiden olomuodosta riippuen ja eri seuloille jääneiden muovien ja paperien massat. Osa biokaasulaitoksista ilmoitti prosessinäytteidensä kuiva-ainepitoisuudet, joiden perusteella laskettiin muovien ja paperien osuus kuiva-aineesta.

Vertailun vuoksi kiinteistä näytteistä määritettiin kuivapaino, jonka avulla laskettiin muovin ja paperin prosentuaalinen osuus punnitusta kuivapainosta.

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 964/2023 määrittää kompostin, mädätteen ja käsitellyn jätevesilietteen sisältämien epäpuhtauksien hyväksyttäväksi määräksi alle 0,5 % kuiva-aineen massasta. Vuoden 2028

alusta alkaen komposti, mädäte ja käsitelty jätevesiliete saa sisältää enää 0,25 % epäpuhtauksia kuiva-aineen massasta. Epäpuhtauksiksi luetaan lasi, metalli ja muovi.

Taulukon 7 sisältämistä näytteistä kerättiin vain muovi ja paperi. D ja F -näytteet alittavat 0,5 % rajan epäpuhtauksille. Näyte A:ta seulottiin vain 10 ja 5 mm seuloilla johtuen epäpuhtauksien runsaasta määrästä ja lietteen hajuhaittojen vuoksi.

Taulukko 3.5. Biokaasuprosessinäytteiden muovimäärät.

Näyte	A	B	D	E	F
<b>Märkápaino (g)</b>	9811	1642	3854	6747	3732
<b>Kuivapaino (g)</b>		445	2555		2001
<b>Seulaylite &gt;10 mm (g)</b>	4,82	0,03	6,01	22,91	4,95
<b>Seulaylite &gt;5 mm (g)</b>	1,96	2,79	1,41	1,67	2,43
<b>Seulaylite &gt;2 mm (g)</b>		1,96	0,35	0,85	0,65
<b>Seulaylite &gt;1 mm (g)</b>		0,09	0,04		0,70
<b>Yhteensä yli 2 mm jakeet (g)</b>	<b>6,78</b>	<b>4,79</b>	<b>7,76</b>	<b>25,43</b>	<b>8,02</b>
<b>Ilmoitetut kuiva- ainepitoisuudet (%)</b>			65,3	14,5	61,5
<b>Muovin osuus ilmoitetusta kuiva-aineesta (%)</b>			0,31	2,60	0,35
<b>Muovin osuus punnitusta kuivapainosta (%)</b>		1,08	0,30		0,40

### 3.2.3 Pohdinta biokaasuprosessin muovipitoisuuksista

Prosessivaiheiden näyte-erien muovipitoisuuksia seulottaessa todettiin, että 10 mm seulaylite oli pääsääntöisesti suurin. Ainoastaan näytteellä B suurin seulaylite oli 5 mm seulalla 10 mm seulaylitteen ollessa massaltaan pienin.



Näytteillä A, D, E ja F 10 mm:n seulaylite oli massaltaan vähintään kaksikertainen verrattuna 5 mm seulaylitteeseen. Voidaan siis todeta, että prosessivaiheissa oleva biomassa ei ole kovin homogeenistä ja muovit eivät ole ehtineet vielä hajota.

Jos biojäte murskattaisiin lähtötilanteessa pienemmäksi, voitaisiin mahdollisesti tehostaa biojättepussien hajoamista ja mahdollisesti lisätä biokaasuntuotantoa, kun biomassalla olisi täten suurempi reaktiopinta-ala. Myös lopputuotteiden valmistus voisi nopeutua, kun muovipartikkelit olisivat valmiiksi pienempiä. Näytteet D ja F alittivat maa- ja metsätalousministeriön asetuksen lannoitevalmisteista 964/2023 asettaman 0,5 %:n rajan epäpuhtauksille. Täytyy kuitenkin muistaa, että tutkitut muovit kattavat vain yhden epäpuhtauksiin luettavan osa-alueen ja, että näytteet D ja F eivät ole lopputuotteita.

On huomattava, että tässä seulontatestissä saadut tulokset perustuvat noin ämpärilliseen näytettä, jonka perusteella on määritetty kunkin prosessin muovipitoisuutta. Näyte-erä ei välttämättä täysin edusta kyseistä prosessia johtuen jätevirtojen epähomogeenisuudesta sekä vuodenaikojen tuomasta vaihtelusta sekä jätevirtaan että prosesseihin.

### 3.3 Biomuovien metaanintuottopotentiali

Biopussien metaanintuottopotentialimäärittämisen tavoitteena oli selvittää laboratorio-olosuhteissa, kuinka tehokkaasti pussit hajoavat biokaasureaktoria simuloivissa olosuhteissa ja miten paljon metaania saadaan tuotettua käyttämällä niitä raaka-aineena biokaasuprosessissa.

#### 3.3.1 Metaanintuottopotentialin mittauksen toteutus

Muovinäytteiden metaanintuottopotentialin testaus suoritettiin Turun AMK:n Kemiantekniikan laboratoriossa AMPTS II-mittauslaitteella, jolla voidaan määrittää mikrobien kykyä tuottaa metaania anaerobisissa olosuhteissa. Mittaus

suoritettiin kahdessa erässä, koska laitekoonpanossa oli tilaa korkeintaan neljälle näytteelle nollanäytteiden (lietteen) lisäksi.

### **Kuiva-aineen ja orgaanisen aineen määrittäminen**

Ennen metaanintuottotestauksen aloittamista näytteiden ja biokaasulaitoksen lietteen kuiva-aineen (TS, total solids) sekä orgaanisen aineen (VS, volatile solids) pitoisuudet selvitettiin SFS-standardeihin EN 12880 ja EN 12879 pohjautuvalla menetelmällä. Näiden pitoisuuksien avulla saatiin laskettua, kuinka paljon lietettä ja näytettä reaktoripulloihin piti laittaa suhteessa toisiinsa. Jokaisesta näytemateriaalista valmistettiin 3 rinnakkaisnäytettä.

Tyhjiä upokkaita kuivattiin eksikaattorissa 30 min ajan, jonka jälkeen ne punnittiin. Upokkaihin lisättiin noin 5 g näytettä ja niitä kuivattiin 105 °C 12 h. Jäähtyneet upokkaat punnittiin uudestaan ja saatujen massojen avulla laskettiin näytteiden ja lietteen kuiva-ainepitoisuus.

Kuiva-ainepitoisuuden määrittämisen jälkeen upokkaat siirrettiin muhveliuuniin 550 °C:seen tunnin ajaksi. Upokkaat jäähdytettiin huoneenlämpöön eksikaattorissa ja punnittiin. Tuloksena saatiin näytteiden ja lietteen orgaanisen aineen pitoisuus. Näytteiden kuiva-aineen ja orgaanisen aineen pitoisuudet ja oikeat liete/näyte -suhteet sekä massat reaktoripulloja varten löytyvät taulukoista 3.6–3.9.

Taulukko 3.6. Ensimmäisen testierän näytteiden kuiva-aineen ja orgaanisen aineen pitoisuuksien keskiarvot.

<b>Metaanintuottotestin 1. erän näytteiden TS- ja VS-pitoisuuksien keskiarvot</b>		
<b>Näyte</b>	<b>TS %</b>	<b>VS %</b>
<b>Liete (nolla) (ympäri)</b>	7,51	5,65
<b>Pirkka paperipussi</b>	94,04	91,42
<b>Näyte 4</b>	97,96	97,47
<b>Näyte 7</b>	97,78	96,50
<b>PE-kierrätysmuovipussi</b>	99,87	92,13

Taulukko 3.7. Ensimmäisen testierän näytteiden liete/näyte -suhteet ja massat.

<b>Metaanintuottotestin 1. erän näytteiden liete/näytesyhteet ja massat</b>					
<b>Näyte</b>	<b>Lietettä (g)</b>	<b>VS liete (g)</b>	<b>Näytettä (g)</b>	<b>VS näyte (g)</b>	<b>Liete/Näyte</b>
<b>Liete (nolla) (ymppi)</b>	400	22,6	0,0	0,0	-
<b>Paperipussi</b>	395	22,3	5,3	4,8	4,6
<b>Näyte 4</b>	395	22,3	5	4,9	4,6
<b>Näyte 7</b>	395	22,3	5	4,8	4,6
<b>PE-kierrätysmuovipussi</b>	395	22,3	5,3	4,9	4,6

Taulukko 3.8. Toisen testierän näytteiden kuiva-aineen ja orgaanisen aineen pitoisuuksien keskiarvot.

<b>Metaanintuottotestin 2. erän näytteiden TS- ja VS-pitoisuuksien keskiarvot</b>		
<b>Näyte</b>	<b>TS %</b>	<b>VS %</b>
<b>Liete (nolla) (ymppi)</b>	7,52	5,66
<b>Paperipussi</b>	94,81	89,49
<b>Näyte 6</b>	98,22	97,29
<b>Näyte 9</b>	98,23	96,31
<b>Näyte 12</b>	97,95	96,07

Taulukko 3.9. Toisen testierän näytteiden liete/näytesyhteet ja massat.

<b>Metaanintuottotestin 2. erän näytteiden liete/näytesyhteet ja massat</b>					
<b>Näyte</b>	<b>Lietettä (g)</b>	<b>VS liete (g)</b>	<b>Näytettä (g)</b>	<b>VS näyte (g)</b>	<b>Liete/Näyte</b>
<b>Liete (nolla) (ymppi)</b>	400	22,6	0	0,0	-
<b>Paperipussi</b>	394,6	22,3	5,4	4,8	4,6
<b>Näyte 6</b>	395	22,4	5	4,9	4,6
<b>Näyte 9</b>	395	22,4	5	4,8	4,6
<b>Näyte 12</b>	394,9	22,4	5,1	4,9	4,6

## **Metaanintuottopotentiaalin määrittäminen**

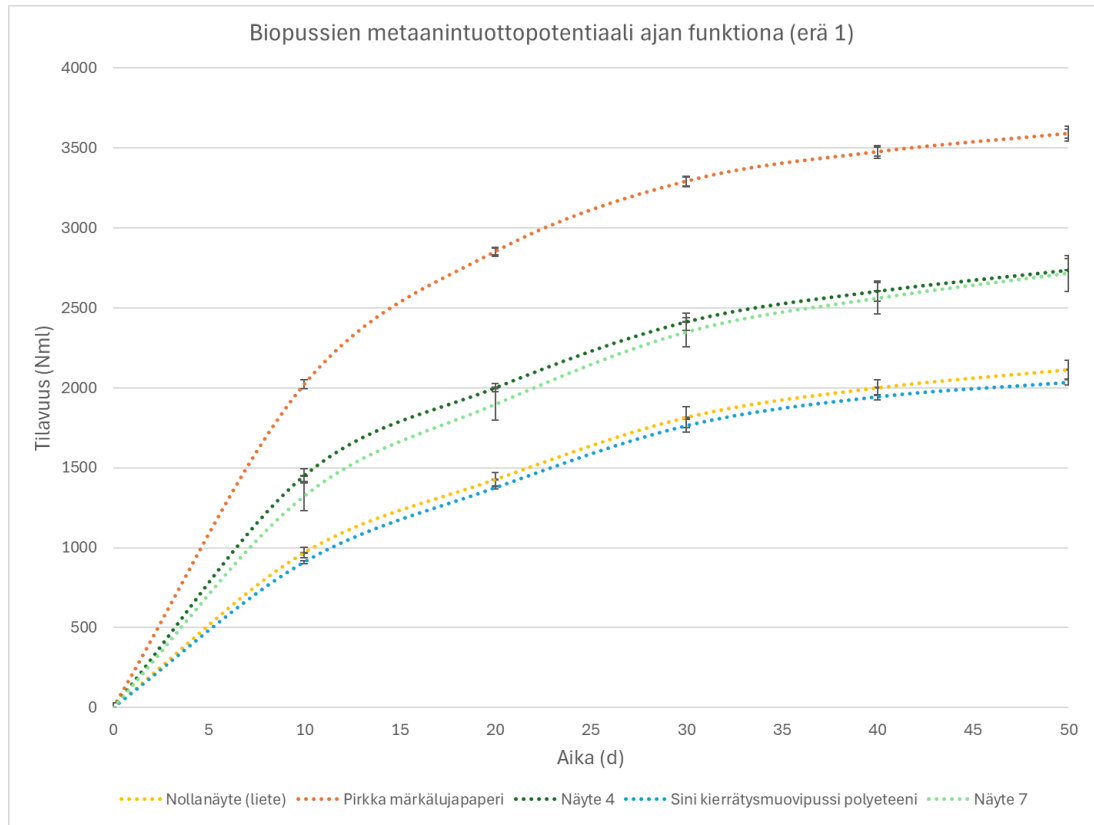
Viiteentoista 0,5 L reaktoripulloon punnittiin esiesteissä määritetty määrä lietettä. Liete oli noudettu paikalliselta biokaasulaitokselta. Liete sekoitettiin tehosekoittimessa ennen punnitusta, jotta se olisi koostumukseltaan tasaista. Reaktoripulloihin lisättiin taulukoiden 3.7 ja 3.9 mukaiset määrät näytteitä noin 12 mm x 12 mm kokoisina ja mahdollisimman ohuina neliöinä, jonka jälkeen näytepalaset paineltiin lietteen pinnan alle ja sekoitettiin. Pulloihin laitettiin pulloihin korkki, asetettiin 39,5 °C:seen vesihauteeseen ja niihin kiinnitettiin sekoitusmoottorit.

Reaktoripullot kytkettiin letkuilla 100 ml hiilidioksidinpoistopulloihin, jotka sisälsivät 80 ml 3 M NaOH:n ja tymolisinisen indikaattoriliuoksen sekoitusta. Hiilidioksidinpoistopullot puolestaan kytkettiin kiinni AMPTS II-mittalaitteeseen. Kytkettiin sekoitusmoottorit päälle ja aloitettiin automaattinen mittaus. Metaanintuottoa pidettiin käynnissä 50 vrk ajan ja sen toimintaa käytiin seuraamassa joka arkipäivä. Koejärjestelmä on esitetty kuvassa 3.35.



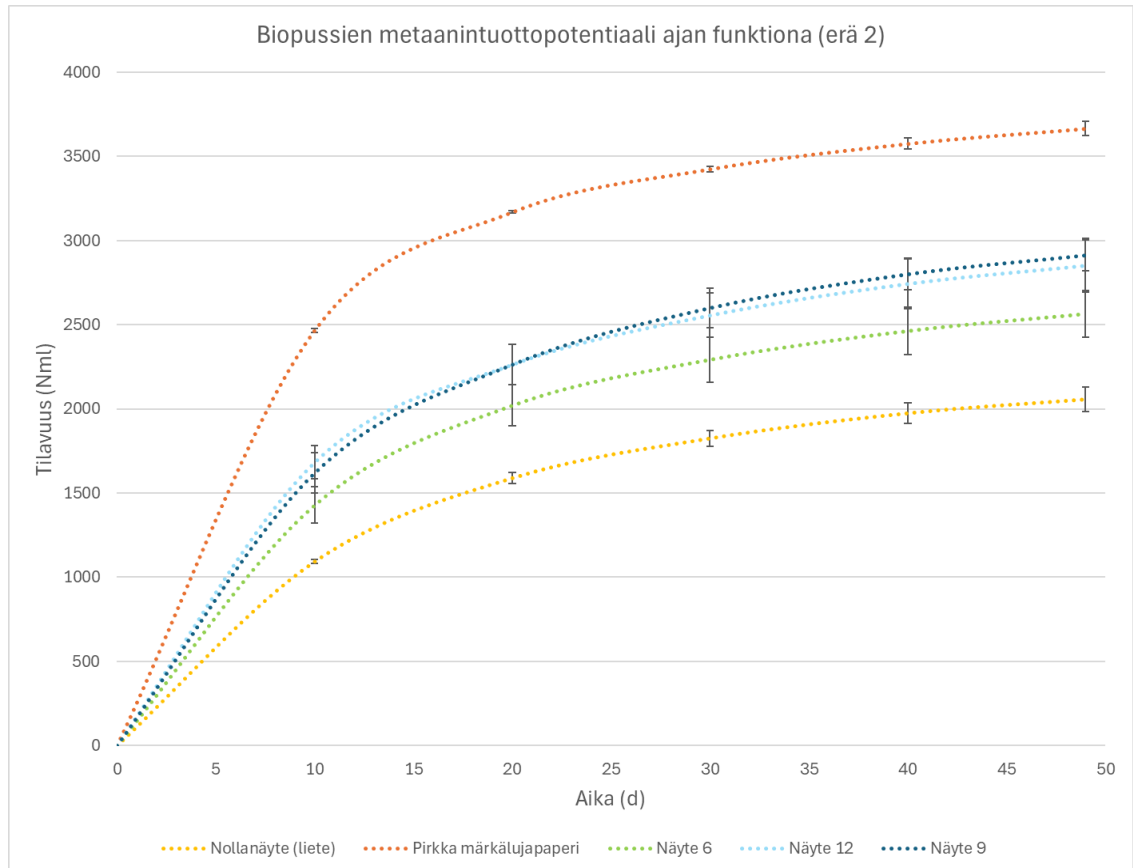
Kuva 3.35. Metaanintuottopotentiaalin testauslaite AMPTS II.

Mittauksen loputtua mittausohjelmiston keräämä data otettiin talteen ja sen pohjalta laadittiin näytteiden metaanintuottopotentiaalin kuvaajat 6 (1. erä) ja 7 (2. erä). Erä 2 lopetettiin 49. päivän kohdalla 50. sijasta, koska testierän aloitus viivästyi vuorokaudella laiterikon takia. Tämä ei kuitenkaan vaikuttanut merkittävästi tuloksiin, koska metaanintuotto on testin viimeisten päivien aikana hyvin pientä.



Kuvaaja 3.2. Biomuovipussien metaanintuottopotentiaali ajan funktiona, ensimmäinen testierä.

Kuvaajan 3.2 perusteella ensimmäisen testierän näytteet 4 ja 7 olivat metaanintuotoltaan hyvin samanlaisia. Paperinen pussi tuotti selvästi eniten metaania ja polyeteeninen kierrätysmuovipussi ei tuottanut metaania lainkaan. Tulosten hajonta oli pääosin pientä, mutta näyte 7:n keskihajonta oli suurempaa kuin muiden näytteiden.



Kuvaaja 3.3. Bomuovipussien metaanintuottopotentialiaali ajan funktiona, toinen testierä.

Kuvaajasta 3.3 nähdään, että biopussien käyttäytyminen testissä oli hyvin ensimmäisen testierän kaltainen. Verrokkina toiminut paperipussi tuotti parhaiten metaania. Näytteet 9 ja 12 tuottivat keskenään yhtä paljon metaania koko testauksen ajan ja näyte 6 näitä hieman vähemmän. Biopussinäytteiden kohdalla keskihajonta oli suurempaa kuin paperipussin ja nollanäytteenä toimineen lietteen kohdalla.

Taulukossa 3.10 esitetään metaanintuottopotentialitestin metaanintuotot eri näyte-erille ja näytteille.

Taulukko 3.10. Metaanintuottopotentialitestien metaanintuotot.

<b>Erä 1: Näytteet</b>	<b>Metaanintuotto (Nml)</b>
Nollanäyte/liete	2110
Paperipussi	1480
Näyte 4	620
Näyte 7	600
Kierrätys-PE	-80
<b>Erä 2. Näytteet</b>	<b>Metaanintuotto (Nml)</b>
Nollanäyte/liete	2060
Paperipussi	1610
Näyte 6	510
Näyte 9	860
Näyte 12	800

Toteutetuissa kahdessa metaanintuottopotentialitestissä paperiset biopussit nostivat metaanintuottoa 70–78 % ja biomuoviset biopussit 25–42 %. Kierrätys-PE-pussi sen sijaan laski metaanintuotantoa 4 %. Polyeteenin negatiivinen vaikutus johtui siitä, että PE-näyte vähensi reaktoripulloihin laitetun lietteen määrää. Näyte-erien välillä oli lietteen koostumuksesta johtuvaa eroa nollanäytteiden ja verrokkina toimineen paperipussien kohdalla enimmillään 8 %. Siksi eri testuserien näytteiden metaanintuoton vertailuun pitää suhtautua varauksella.

### 3.3.2 Mikroskooppikuvat

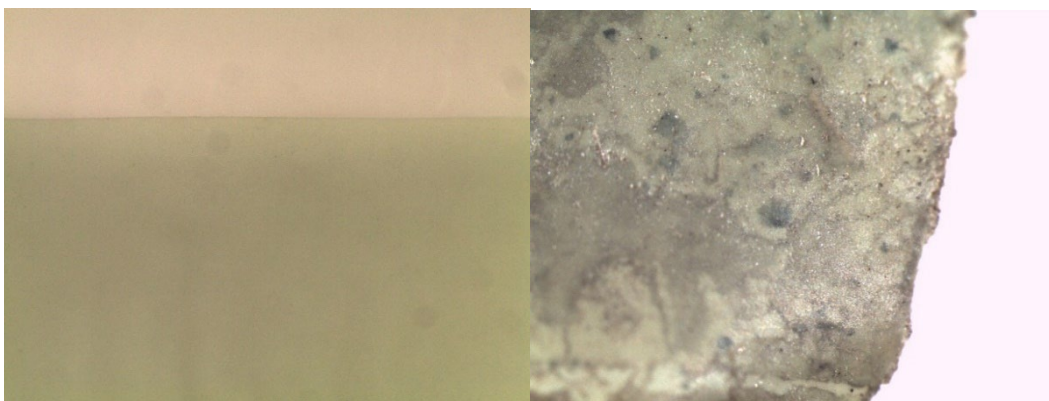
Reaktoripullojen sisälle jääneet näytepalaset kerättiin talteen seulomalla. Seulotut näytteet huuhdeltiin hanavedellä ja asetettiin kuivumaan. Kun näytteet olivat kuivuneet, niitä tutkittiin ja valokuvattiin stereomikroskoopilla. Näitä kuvia verrattiin ennen metaanintuottotestiä otettuihin mikroskooppikuviin, jotta



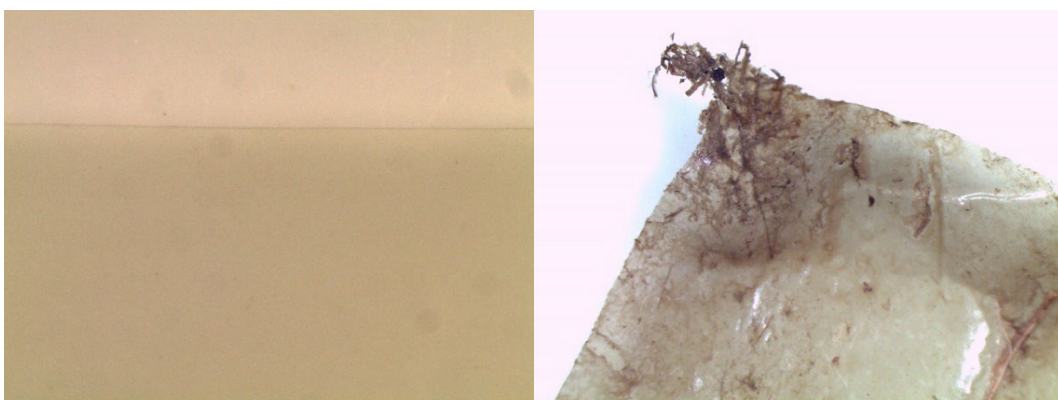
voitaisiin arvioida näytteiden hajoamista visuaalisesti. Mikroskooppikuvat ovat esitetty kuvissa 3.36-3.44.



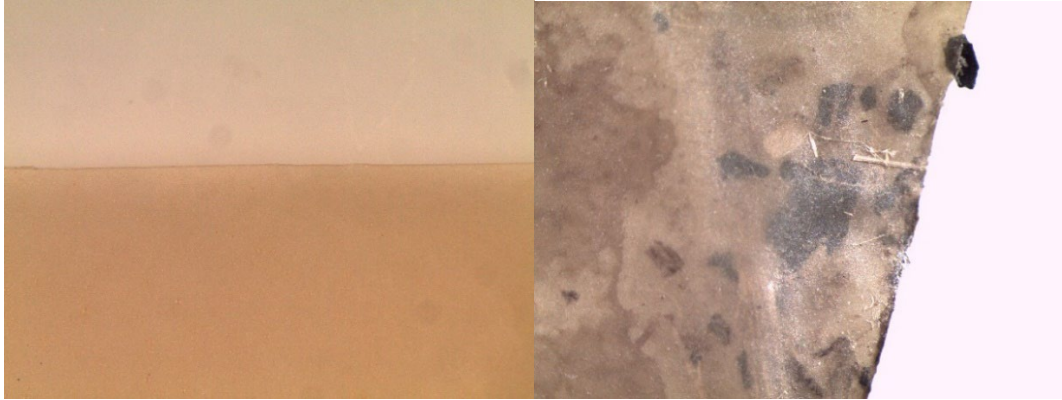
Kuva 3.36. Näyte 4 ennen metaanintuottomäärittystä (vasen) ja sen jälkeen (oikea).



Kuva 3.37. Näyte 6 ennen metaanintuottomäärittystä ja sen jälkeen.

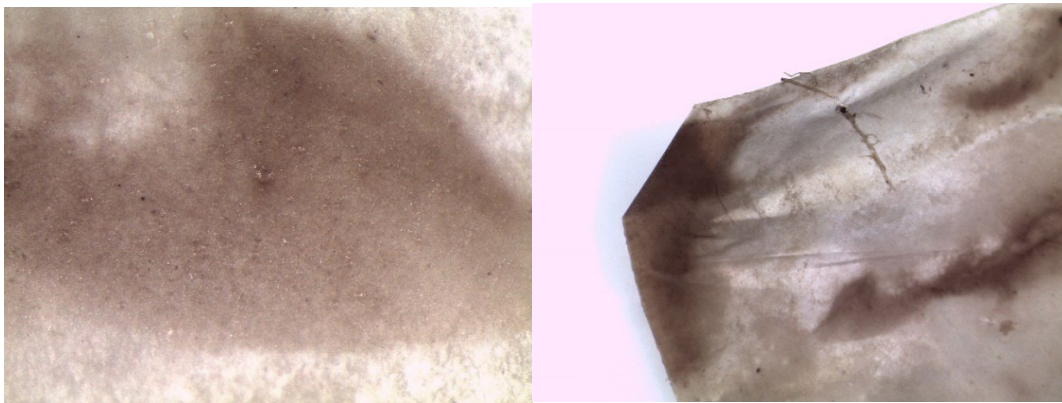


Kuva 3.38. Näyte 7 ennen metaanintuottomäärittystä (vasen) ja sen jälkeen (oikea).

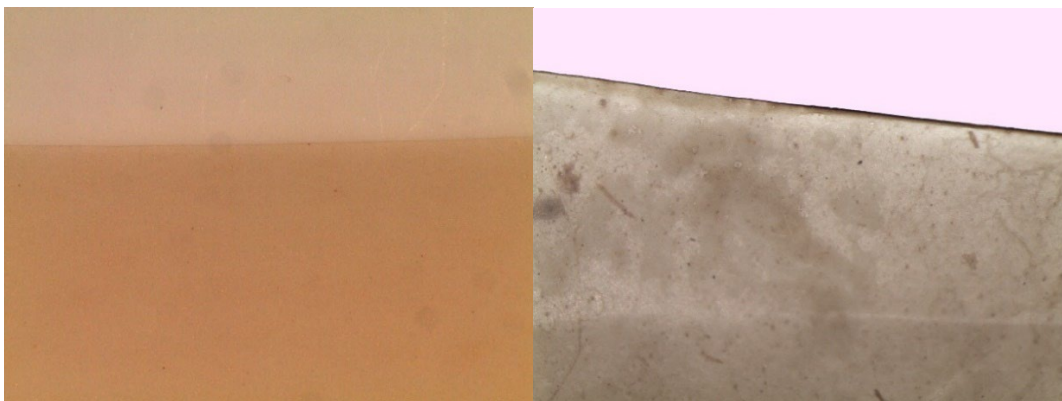


Kuva 3.39. Näyte 9 ennen metaanintuottomäärittystä (vasen) ja sen jälkeen (oikea).

Muutama näytteen 9 palanen oli poikkeavasti muuttunut metaanintuotto prosessin jälkeen osittain valkoiseksi (Kuva 3.40).

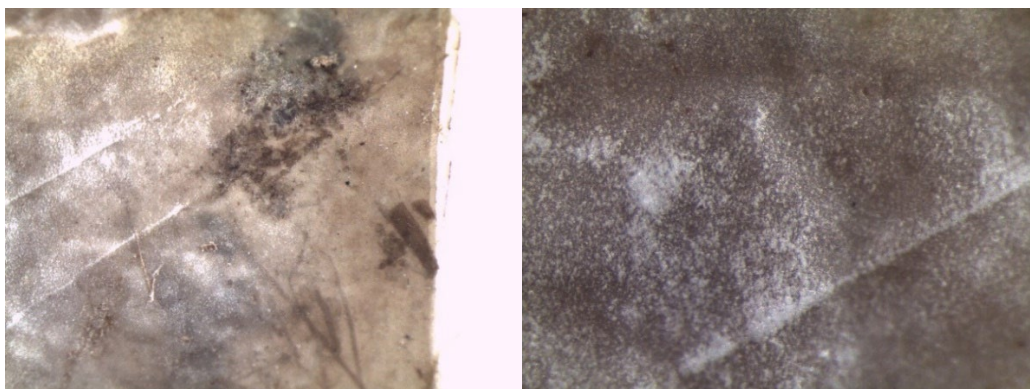


Kuva 3.40. Näyte 9:n poikkeuksellisen valkoisia kappaleita testauksen jälkeen.



Kuva 3.41. Näyte 12 ennen metaanintuottomäärittystä (vasen) ja sen jälkeen (oikea).

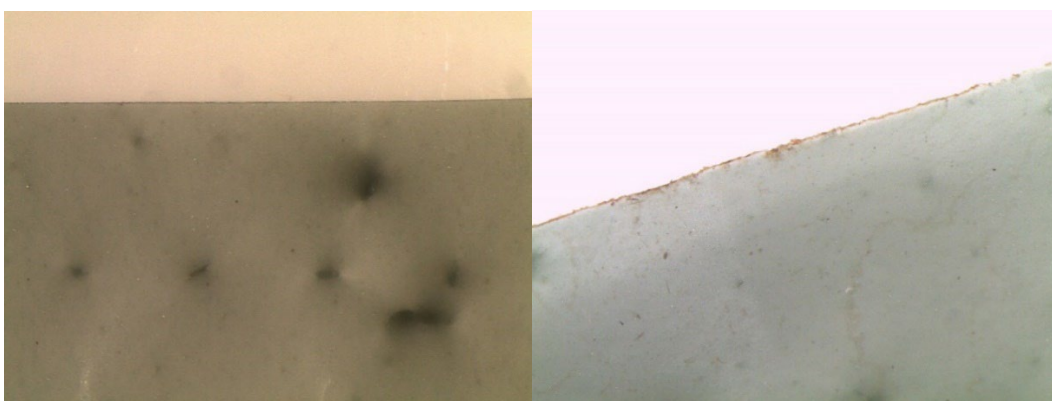
Myös jotkin näytteen 12 palasista olivat muuttuneet paikoittain valkoiseksi metaanintuottomäärityksen jälkeen (Kuva 3.42).



Kuva 3.42. Näytteen 12 testin jälkeen osittain valkoiseksi muuttuneita paloja.



Kuva 3.43. Paperipussi ennen metaanintuottomääritystä (vasen) ja sen jälkeen (oikea).



Kuva 3.44. Polyeteeninen kierrätysmuovipussi ennen metaanintuottomääritystä (vasen) ja sen jälkeen (oikea).

Biopussien mikroskooppikuvia vertailemalla voidaan todeta, että biopussien palaset ovat hajonneet metaanintuotto-prosessin aikana ainakin jossain määrin. Palasten reunat ovat hapertuneet ja osassa on nähtävissä pieniä kuoppia, kuten esim. kuvissa 3.38, 3.39 ja 3.41 (näytteet 7, 9 ja 12). Kuvien 3.40 ja 3.42 (näytteet 9 ja 12) palasten valkoiset alueet saattavat olla myös merkki jonkinlaisesta pinnan kulumasta. On tosin huomioitava, että ne olivat ulkonäöltään poikkeuksellisia ja suurin osa samojen näytteiden palasista ei näyttänyt samalta.

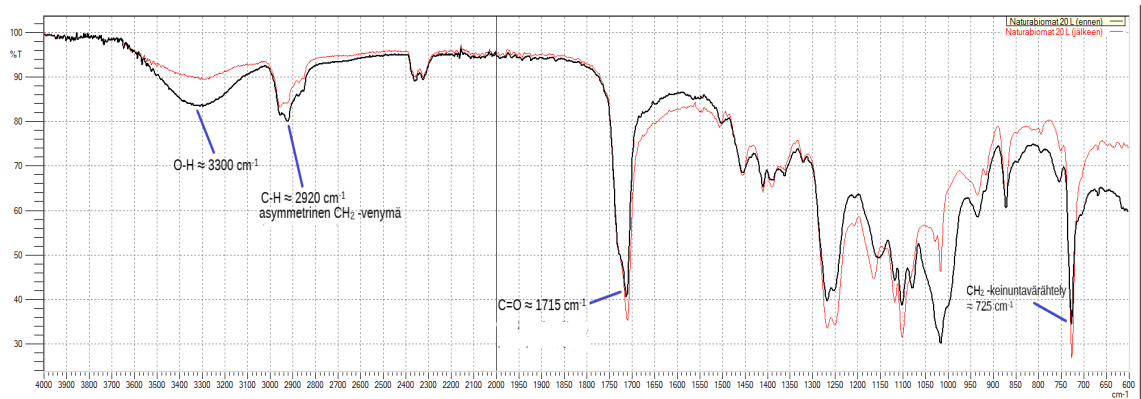
Paperipussin palat hajosivat tehokkaasti metaanintuottomäärityksessä ja sekoittuivat hyvin lietteen kanssa. Muovinpalojen joukosta löytyi aina jonkin verran lähes puhtaita kappaleita, mutta kaikki paperinpalat olivat ryppyisiä ja likaisia, kuten kuvassa 3.43 oleva näyte (paperipussi). Polyeteenistä valmistettu kierrätysmuovipussi ei odotettavasti osoittanut hajoamisen merkkejä. Reuna likaantui ja hapertui hieman, mutta muuta huomioitavaa ei havaittu.

### 3.3.3 Hajoavuus metaanintuottopotentialin testauksessa FTIR:llä

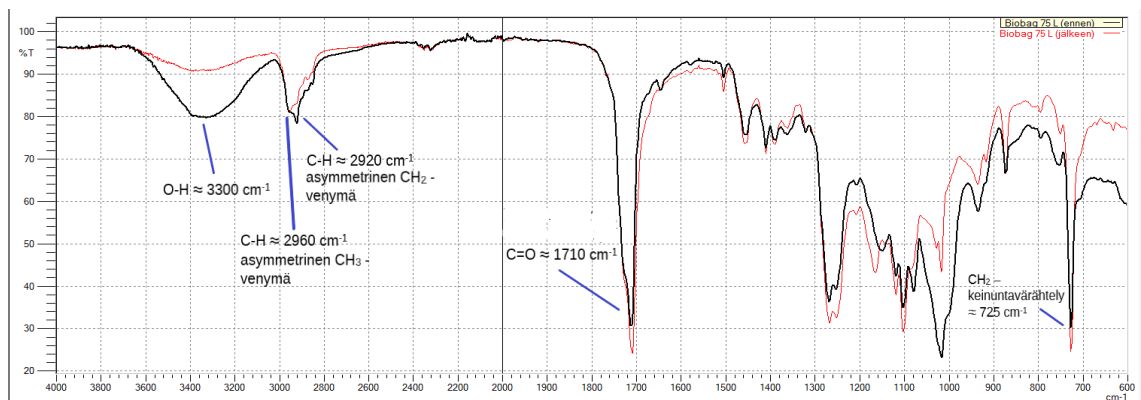
Näytteiden hajoamista metaanintuottopotentialin määrittämisen aikana tutkittiin FTIR-spektrometrin avulla. Metaanintuottomäärityksen läpi käyneistä näytepalasista mitattiin IR-spektrit, joita verrattiin ennen metaanintuottomääritystä otettuihin spektreihin. FTIR-spektrometrin ajoparametrit löytyvät taulukosta 3.11 ja näytteiden IR-spektrit kuvista 3.45–3.52.

Taulukko 3.11. FTIR-spektrometrin ajoparametrit.

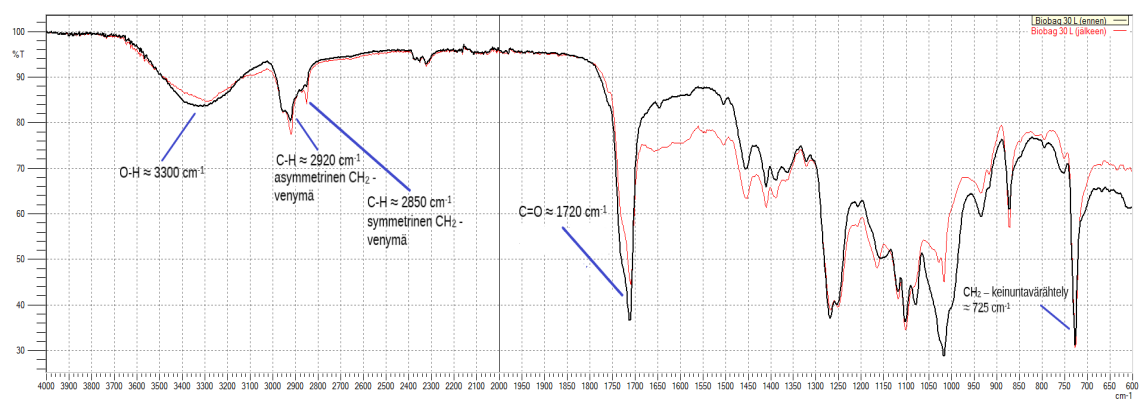
FTIR-spektrofotometrin ajoparametrit			
Aaltolukualue (cm <sup>-1</sup> )	Skannausten määrä	Resoluutio	Apodisaatio
4000-600	20	4	Happ-Genzel



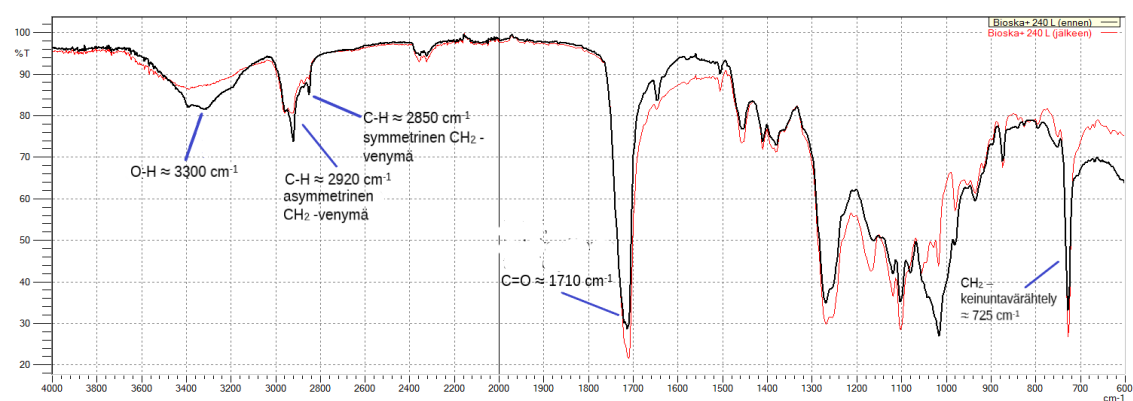
Kuva 3.45. Näyte 4:n IR-spektri ennen (musta) ja jälkeen (punainen) metaanintuottomäärityksen.



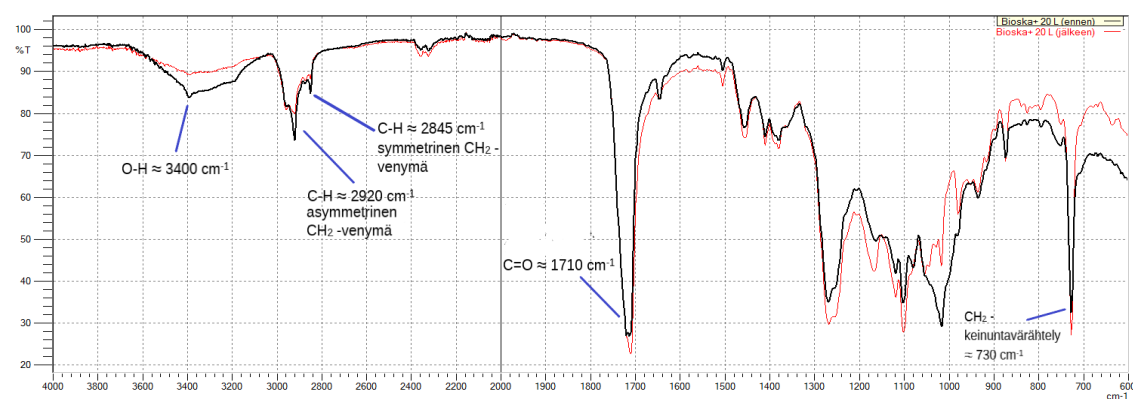
Kuva 3.46. Näyte 6:n IR-spektri ennen (musta) ja jälkeen (punainen) metanintuottomäärityksen.



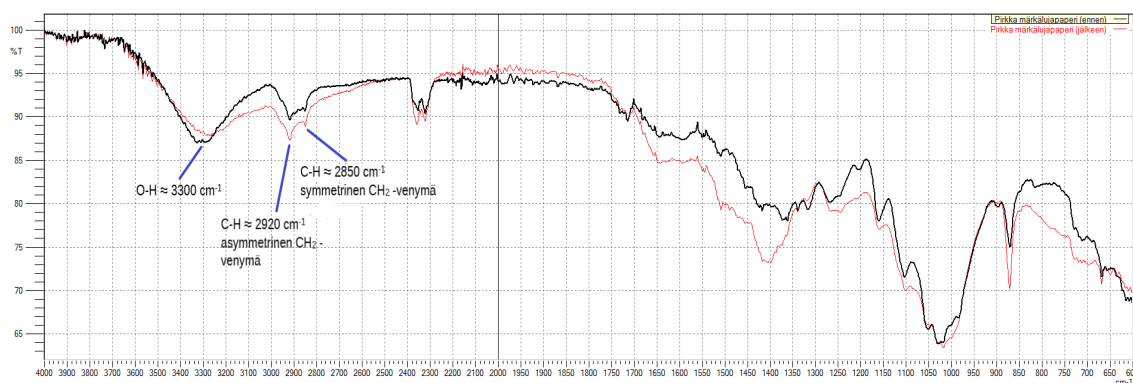
Kuva 3.47. Näyte 7:n IR-spektri ennen (musta) ja jälkeen (punainen) metaanintuottomäärityksen.



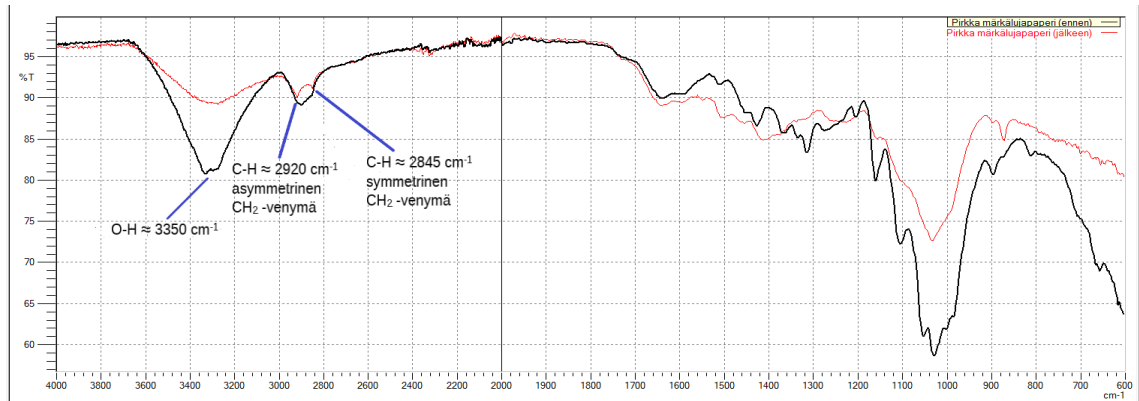
Kuva 3.48. Näyte 9:n IR-spektri ennen (musta) ja jälkeen (punainen) metaanintuottomäärityksen.



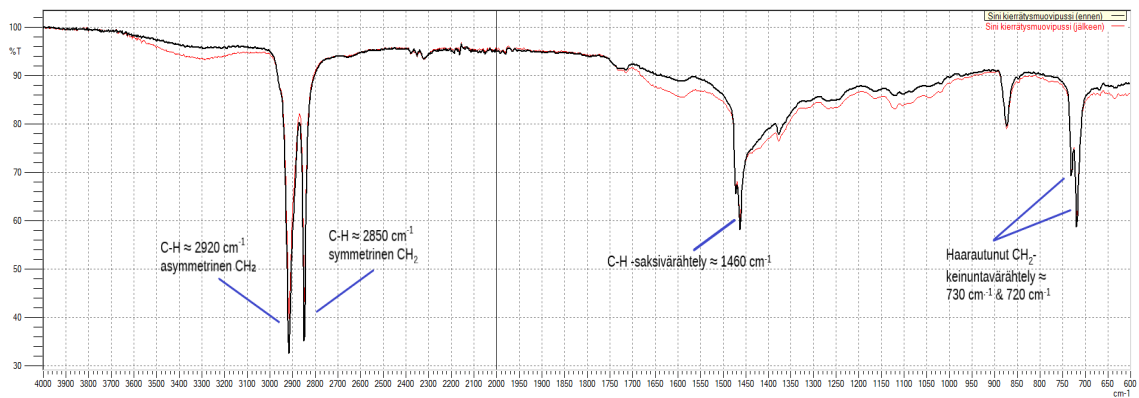
Kuva 3.49. Näytteen 12 IR-spektri ennen (musta) ja jälkeen (punainen) metaanintuottomäärityksen.



Kuva 3.50. 1. testierän paperipussin IR-spektri ennen (musta) ja jälkeen (punainen) metaanintuottomäärityksen.



Kuva 3.51. 2. testierän paperipussin IR-spektri ennen (musta) ja jälkeen (punainen) metaanintuottomäärityksen.



Kuva 3.52. PE-kierrätysmuovipussin IR-spektri ennen (musta) ja jälkeen (punainen) metaanintuottomäärityksen.

Biopussien IR-spektrit olivat kaikki keskenään melko samankaltaisia; suurin osa samoista piikeistä löytyi jokaisen biopussin spektristä ja myös näiden piikkien intensiteetin vaihtelu oli vähäistä. Spektrien perusteella pussit sisälsivät ainakin hydroksyyliyhmän venymän (O-H) aaltolukualueella 3600-3000  $\text{cm}^{-1}$ , C-H -venymiä aaltolukualueella 3000-2800  $\text{cm}^{-1}$ , C=O -venymän 1710  $\text{cm}^{-1}$  paikkeilla ja CH<sub>2</sub> -keinuntavärähtelyn 725  $\text{cm}^{-1}$  lähistöllä. Aaltolukualueen 1700-800  $\text{cm}^{-1}$  piikkejä ei kyetty tunnistamaan varmuudella. Metaanintuottotestauksen jälkeisten spektrien muutokset ennen-spektreihin nähden kertovat siitä, että näytteissä on tapahtunut hajoamista.

Hydroksyyliyhmiin (O-H) venymien intensiteetti oli biopusseilla heikompi metaanintuottomäärityksen jälkeen otetussa spektreissä. Intensiteetti laski eniten kuvassa 3.46 (näyte 6) ja vähiten kuvassa 3.47 (Näyte 7). Spektrien C=O-venymät olivat vahvempia jälkeen -spektreissä kaikkien paitsi kuvan 3.47 (näyte 7) tapauksessa. Monien eri funktionaalisten ryhmien C=O -venymät voivat esiintyä  $1710\text{ cm}^{-1}$ :n seudulla. Tarkempaa tunnistamista varten olisi ollut tarpeen löytää tueksi muuta näille ryhmille tunnusomaisia värähtelyjä, mutta näitä ei kyetty tunnistamaan varmuudella spektreistä. Keinuntavärähtelyt  $725\text{ cm}^{-1}$  lähistöllä kertovat siitä, että biopussit sisältävät 4 tai enemmän  $\text{CH}_2$  -molekyylejä ketjutettuna, kuten polymeereille on tyypillistä. Nämä värähtelyt olivat pääasiassa vahvempia metaanintuottomäärityksen jälkeen otetuissa spektreissä.

C-H -venymien sijainnit ja piikkien terävyys vaihtelivat jonkin verran; spektreissä oli mahdollinen asymmetrinen  $\text{CH}_3$  -venymä, jota ei merkitty, koska se oli suhteellisen loiva/tylppä. Poikkeuksena kuvassa 3.47 (näyte 7) kyseinen venymä oli selkeämpi, mutta se löytyi vain metaanintuottomäärityksen jälkeen otetusta spektristä. Samasta syystä vain osaan spektreistä merkittiin symmetrinen  $\text{CH}_2$  -venymä  $2850\text{ cm}^{-1}$  tienoilla. Selvästi erotettavissa kaikissa biopussien spektreissä oli asymmetrinen  $\text{CH}_2$  -venymä, joka esiintyi n.  $2920\text{ cm}^{-1}$  kohdalla kaikissa ennen metaanintuottomääritystä ja sen jälkeen otetuissa spektreissä. Kuvassa 3.47 (näyte 7) C-H -venymät olivat hieman vahvempia jälkeen -spektreissä otetussa spektrissä, mutta muissa spektreissä ne olivat vahvempia ennen -spektreissä.

Biopussien IR-spektreistä ennen ja jälkeen metaanintuottomäärityksen voidaan todeta, että hajoamista on tapahtunut. Spektrien muutokset oli huomattavimpia aaltolukualueilla  $3600\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$  ja  $1700\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ . Pussit vaikuttavat hajonneen melko tasavertaisesti toisiinsa nähden; metaanintuottomäärityksen jälkeisten spektrien muutokset olivat samaa suuruusluokkaa.

Paperipussin IR-spektreistä tunnistettiin hydroksyyliyhmiin venymä  $3600\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$  alueelta, asymmetrinen  $\text{CH}_2$  -venymä  $2920\text{ cm}^{-1}$  kohdalta ja symmetrinen  $\text{CH}_2$  -venymä  $2850\text{ cm}^{-1}$  lähetyviltä. Paperipussi oli mukana molemmissa



metaanintuottomäärityksen testierissä. Ensimmäisen ja toisen testierän spektrit poikkesivat toisistaan jonkin verran; CH<sub>2</sub> -venymät näkyivät 2. erässä (kuva 3.51, 2. erän paperipussi) vain jälkeän -spektrissä ja ennen -spektrissä niiden sijasta yksi leveämpi piikki n. 2890 cm<sup>-1</sup> kohdalla, jota ei saatu tunnistettua. Ensimmäisen erän paperipussi (kuva 3.50) CH<sub>2</sub> -venymät ovat vahvemmat jälkeän-spektrissä, mutta toisessa erässä heikommat. Muut piikit paperipussin spektreistä jäivät epäselviksi. Paperipussit ovat ennen- ja jälkeän-spektrien eron perusteella hajonneet, mutta jälkeän-spektriin saattoi vaikuttaa myös lika, sillä paperipussinäytteet olivat vesihuuhtelusta huolimatta hyvin likaisia metaanintuottomäärityksen jälkeen.

Polyeteenistä valmistetun kierrätysmuovipussin spektreistä tunnistettiin asymmetrinen ja symmetrinen CH<sub>2</sub> -venymä (2920 cm<sup>-1</sup> ja 2850 cm<sup>-1</sup>), C-H -saksivärähtely (1460 cm<sup>-1</sup>) ja haarautunut CH<sub>2</sub> -keinuntavärähtely (730 cm<sup>-1</sup> ja 720 cm<sup>-1</sup>). Ennen- ja jälkeän -spektrien välillä ei ollut juurikaan eroja. Tämä vittaisi vähäiseen hajoamiseen, mikä olisi polyeteeniltä odotettavissa.

#### 3.3.4 Pohdinta metaanintuottopotentialiteistä

Näiden metaanintuottopotentialitestien perusteella biopohjaiset muovit hajoavat jonkin verran biokaasulaitoksen anaerobisissa olosuhteissa ja lisäävät metaanintuottoa 25–42 %. Biokaasulaitosten suosittama paperinen biopussi hajosi hyvin ja lisäsi metaanintuottoa 70–78 %. Sen sijaan kierrätys-PE-pussi ei hajonnut eikä tuottanut metaania.

Tämän metaanintuottopotentialitestin perusteella biohajavat biopussit soveltuvat metaanin tuotantoon. Eri tuottajien biohajoavilla pusseilla oli jonkin verran eroa biohajoavuudessa ja metaanintuotannossa.

## 4 Lopputuotteen laatu

Lopputuotteen laatu -osion tavoitteena oli selvittää, kuinka paljon biokaasulaitosten lopputuotteista löytyy muovia ja paperia.

### 4.1 Lopputuotteen laatutestausten toteutus

Lopputuotteen laatu -osiossa selvitettiin seulomalla, kuinka paljon biokaasulaitosten lopputuotteista löytyy muovia ja paperia. Testauksen toteutettiin samalla tavalla kuin tutkittaessa biokaasulaitosten prosessien näytteitä luvussa 3.2. Myös tätä osiota on tutkittu opinnäytetyössä, joka on ladattavissa verkosta (Raiko, A. 2024). Taulukkoon 4.1 on listattu tutkitut näytteet.

Taulukko 4.1. Tutkitut lopputuotenäytteet.

Näyte	Koodi
Valmis tuote	G
Nestemäinen lannoite	H
Reaktorin jälkeen	I
Lannoite	J
Luomulannoite	K
Seulottu komposti	L

### 4.2 Lopputuotteen laadun tulokset

Lopputuotteiden laatua tarkastellessa selvitettiin näytteiden sisältämät muovi- ja mikromuovimäärät seulomalla näytteet sekä määritettiin tutkitut muovit FTIR-spektrien avulla kolmeen luokkaan. Taulukosta 4.2 nähdään lopputuotenäytteiden G, H, I, J, K ja L märkäpaino, kuivapaino sekä eri seuloille jääneet muovin ja paperin määrät. Muovin ja paperin osuus kuiva-aineesta

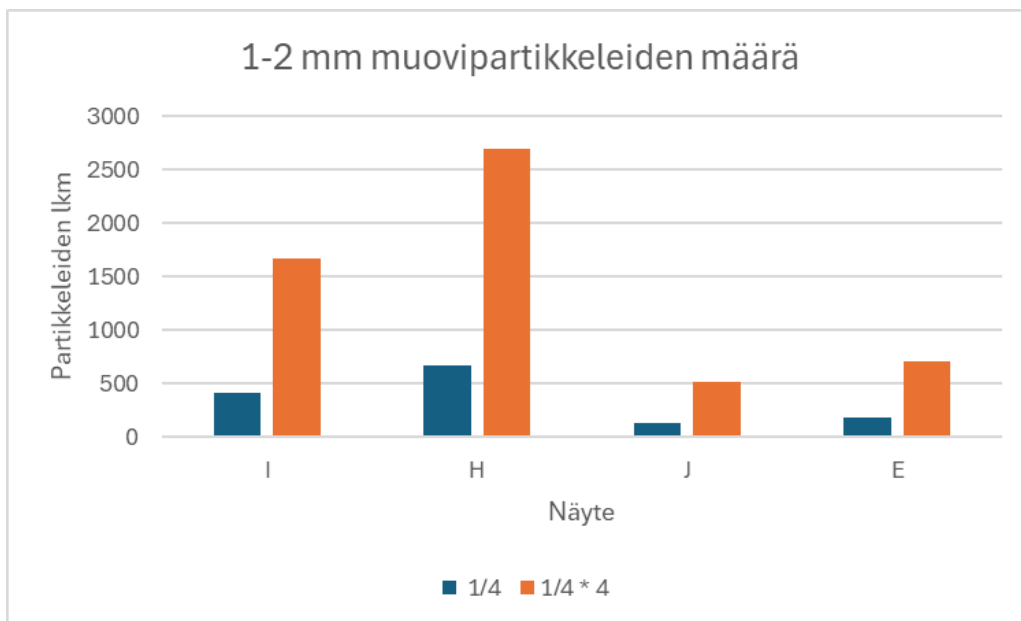
laskettiin biokaasulaitoksien ilmoittamien kuiva-ainepitoisuuksien avulla. Kiinteistä näytteistä laskettiin myös vertailun vuoksi muovin ja paperin määrän osuus punnitusta kuivapainosta.

Taulukko 4.2. Lopputuotteiden muovimäärät.

Näyte	G	H	I	J	K	L
Märkápaino (g)	3954	7426	7169	1075	2962	5759
Kuivapaino (g)	1474				588	2236
Seulaylite >10 mm (g)	1,57	0,04	20,68	0,28	0,38	0,93
Seulaylite >5 mm (g)	4,95	0,16	1,08	0,35	3,64	2,37
Seulaylite >2 mm (g)	0,77	0,37	1,07	0,25	2,59	0,57
Seulaylite >1 mm (g)	0,03				0,13	0,04
<b>Yhteensä yli 2 mm jakeet (g)</b>	<b>7,28</b>	<b>0,58</b>	<b>22,83</b>	<b>0,88</b>	<b>6,60</b>	<b>3,87</b>
Ilmoitetut kuiva-ainepitoisuudet (%)	30,00	7,50	17,00	3,90	21,70	61,10
<b>Muovin osuus ilmoitetusta kuiva-aineesta (%)</b>	0,61	0,10	1,87	0,21	1,03	0,11
<b>Muovin osuus punnitusta kuivapainosta (%)</b>	0,49				1,12	0,17

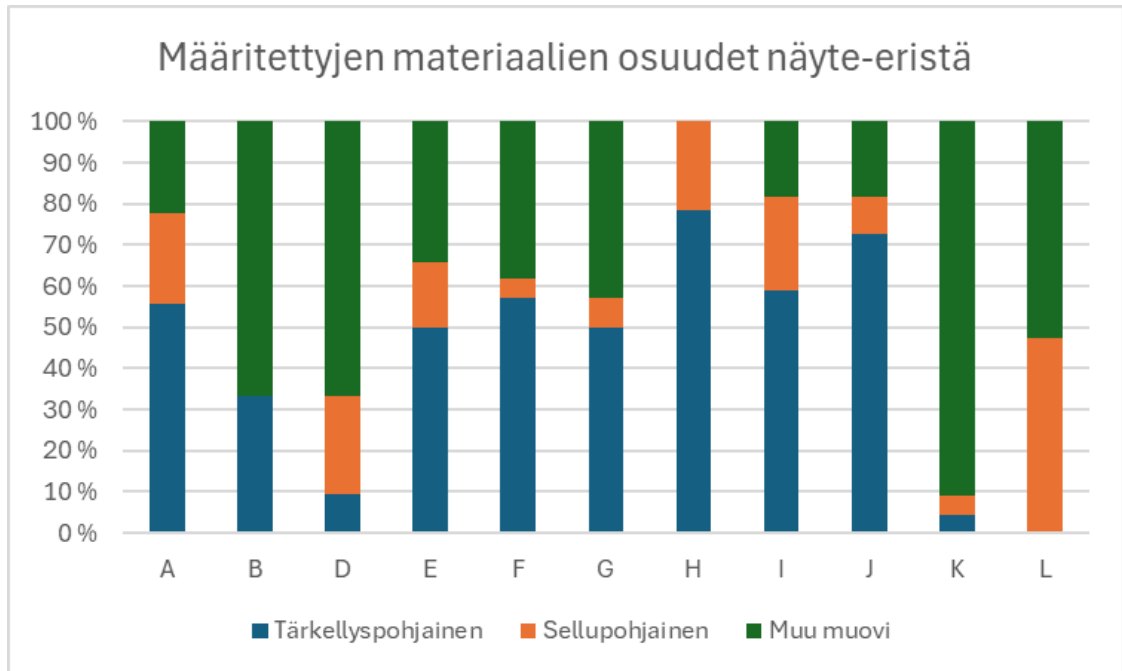
Näytteet H, J ja L alittivat epäpuhtauksien raja-arvon (0,5 %) ja myös uudet, myöhemmin voimaan tulevat raja-arvot. Näytteet I ja K ylittivät 0,5 %:n raja-arvon. Näyte G alitti 0,5 %:n raja-arvon, kun tarkastellaan tässä tutkimuksessa punnittua kuivapainoa. Sen sijaan, jos tässä tutkimuksessa määritettyjä muovipitoisuuksia verrattiin biokaasulaitoksen ilmoittamaan näytteen kuiva-ainepitoisuuteen, ei raja-arvoa saavutettu.

Lietenäytteiden 1 mm seulan ylitteestä laskettiin mikromuovin lukumäärät seualta otetuista kuvista. Kuvista laskettiin noin 1:4 osa seulasta runsaan muovimäärän takia. Noin 9 litran näyte-eristä tutkituissa näytteissä löytyi kokoluokaltaan 1–2 mm mikromuoveja 500–2700 kpl. Kuvaajassa 4.1 esitetään neljännekseltä laskettujen muovien määrä sekä koko seulaa edustava määrä, jossa 1:4 osan lukumäärä on kerrottu neljällä.



Kuvaaja 4.1. 1 millimetrin seulalle jääneiden muovien lukumäärät

Seulotut muovit ja paperit määritettiin FTIR-spektrometrillä ja määritetyt muovit jaettiin tärkkelyspohjaisiin, sellupohjaisiin ja muihin muoveihin. Sellupohjaisiin on laskettu sekä paperit että selluloosapohjaiset biomuovit. Näyte-erien määritetyt osuudet löytyvät kuvaajasta 4.2. Osuudet kuvaavat määritettyjen materiaalien suhdetta. Näytteistä saatuja spektrejä verrattiin silmämääräisesti perunatärkkelyksen, selluloosan, PLA:n, PHA:n sekä biopussinäytteen 11 ja paperisten sekä kierrätys-PE verrokkien kanssa. Näytteen K spektreissä ilmeni liiallista kohinaa, minkä takia osaa spektreistä ei voitu hyödyntää. Runsas kohina saattoi vääristää spektrejä, jolloin tulkinta ei välttämättä ole oikea.



Kuvaaja 4.2. Prosessi- ja lopputuotenäytteistä tutkittujen muovien jakauma FTIR-spektrien perusteella.

Karkeasti voidaan sanoa prosessivaiheista ja lopputuotteista seulottujen materiaalien olevan noin 50 % tärkkelyspohjaisia. Sellupohjaisia materiaaleja löytyi selvästi vähiten ja muun muovin määrä vaihteli noin 20–90 %:n välillä. Näytteistä B, H ja L löytyi vain kahteen kategoriaan osuvia materiaaleja.

#### 4.3 Pohdinta lopputuotteiden laadusta

Lopputuotteiden laatua tarkasteltaessa voitiin todeta ainoastaan näytteiden H, J ja L alittavan maa- ja metsätalousministeriön asetuksen lannoitevalmisteista 964/2023 asettaman 0,5 %:n rajan epäpuhtauksille. Näytteessä I oli selkeästi muita näytteitä suurempi määrä 10 mm seulaylitettä. Muiden näytteiden tulokset kertoivat niiden epätasalaatuisuudesta epäpuhtauksien määrän ylittäessä sallitun rajan. Isompaa näyte-erää tutkiessa sattuman merkitys pienenisi näyte-erään päätyvien epäpuhtauksien osalta.

Standardissa EN13432 mainitaan, ettei pakkausmateriaalista saisi jäädä silmin nähdessä erottuvia kappaleita kompostiin heikentämään kompostin ulkonäköä.

Silmin nähden erottuviin kappaleisiin voisi laskea yli 10 mm kappaleet ja täten voidaan todeta, etteivät lopputuotteet täysin täytä standardissa esitettyä kriteeriä.

Tutkituista 4 näytteestä löytyi kokoluokaltaan 1–2 mm mikromuoveja 500–2700 kpl. Mikromuovien ollessa tällä hetkellä suurena keskustelun ja huolen aiheena olisi varmasti hyödyllistä selvittää, mistä näinkin runsas vaihtelu syntyy eri prosessien välillä. Tämä tutkimus ei ottanut kantaa siihen, mitä lajia nämä muovit olivat.

Näiden seula-analyysien perusteella löydettyjen biomuovien, muiden muovien ja paperien tai sellupitoisten muovien suhteellinen osuus vaihteli merkittävästi eri biokaasulaitosten välillä sekä jopa biokaasulaitoksen eri lopputuotteiden välillä. Seulottaessa ei havaittu biojätepussien symboleja tai muutakaan tekstiä. Ainoastaan havaittiin muutaman kauppaketjun HeVi-pusseja omilla painatuksillaan. Mikroskooppikuvista ei voitu havaita merkittävää muovien hajoamista.

On huomattava, että myös tässä seulontatestissä saadut tulokset perustuvat aina yhteen näytteeseen, jonka perusteella on määritetty kunkin tuotteen muovipitoisuus. Näyte ei siis välttämättä edusta koko tuote-erää johtuen biojätteen epähomogeenisuudesta sekä vuodenaikojen tuomasta vaihtelusta sekä jätevirtaan että prosesseihin.

## 5 Biohajoavien biopussien käyttökokemukset

Tutkimusosion tavoitteena oli syventyä biohajoavien biopussien käyttöön ja käsittelyyn liittyviin hyötyihin, haasteisiin ja käyttökokemuksiin sekä kuluttajien että jätehuollon näkökulmasta.

### 5.1 Selvitys- ja haastattelutyön toteutus

Tutkimuksen yksi osuus koostui erilaisten biomuovipakkausten ja -pussien merkintöjen tarkastelusta. Tähän kuului vähittäiskaupoista kerätyt ja kuvatut näytteet. Sertifikaatit ovat tärkeitä, sillä ne varmistavat materiaalien laadun ja ympäristövaikutukset. Lisäksi kierrätysmerkit antavat tietoa pakkauksen kierrätettävyydestä ja auttavat kuluttajia lajittelussa.

Kuluttajien kokemuksia ja näkemyksiä erilaisten jätehuoltotuotteiden, erityisesti biohajoavien biopussien, käytöstä ja hyödyistä sekä haasteista selvitettiin haastattelujen avulla. Tarkoituksena oli myös saada tietoa siitä, millaisia tekijöitä ihmiset pitävät tärkeimpinä valitessaan pakkausmateriaaleja ja kuinka hyvin he tunnistavat eri sertifikaatit ja kierrätysmerkit biomuoveissa. Lisäksi kysyttiin, millaisia odotuksia ja mahdollisia toiveita heillä on biomuovien ja muiden vastaavien materiaalien käytön suhteen tulevaisuudessa.

Biokaasulaitoksen toimijoiden haastattelujen avulla pyrittiin selvittämään biohajoavien biopussien, erityisesti suursäkkien, käsittelyyn liittyviä käytännön näkökohtia biokaasulaitoksella. Kysymykset käsittelivät muun muassa säkkien käsittelytaajuutta, käyttöprosessia, mahdollisia ongelmia ja haasteita sekä mahdollisia parannusehdotuksia tai ratkaisuja säkkien käsittelyyn ja pakkausmateriaaleihin liittyen. Yleisesti ottaen pyrittiin ymmärtämään nykytilaa, havaittuja haasteita ja mahdollisia kehityskohteita säkkien käsittelyssä biokaasulaitoksella.

Kuluttajien haastattelut tallennettiin muistiinpanoin ja suoritettiin sekä yksilö- että ryhmähaastatteluina joko puhelimitse tai kasvotusten. Biokaasulaitosten

haastattelut suoritettiin puhelimitse ja litteroitiin. Haastattelut tehtiin teemahaastatteluna.

### 5.1.1 Biokaasulaitoksille esitetyt kysymykset

Biokaasulaitosten haastattelut pohjautuivat seuraaviin kysymyksiin. Kysymysjärjestys vaihteli keskustelun etenemisen mukaan.

- Kuinka usein biokaasulaitoksellanne käsitellään suursäkkejä?
- Miten suursäkkejä yleensä käsitellään ennen niiden syöttämistä biokaasulaitoksen prosesseihin? Mitä vaiheita suursäkki käy läpi?
- Millaisia huomioita olette tehneet suursäkkien käsittelystä, kuten mahdollisista haasteista tai sujumisesta, laitteiden toiminnassa? Jos ongelmia, missä vaiheessa prosessia suursäkit saattavat aiheuttaa eniten huolia tai häiriöitä, ja miten tällaisiin tilanteisiin yleensä puututaan?
- Mitä toimenpiteitä ja varotoimia biokaasulaitoksellanne on otettu käyttöön suursäkkien mahdollisten ongelmien ilmenemisen osalta tai niiden vähentämiseksi?
- Minkä tyyppisiä suursäkkejä yleensä käytetään biokaasulaitoksellanne, ja oletteko huomanneet, että tietyt suursäkkityypit aiheuttavat enemmän haasteita kuin toiset? Aiheuttavatko muut materiaalit ongelmia, missä?
- Oletteko kokeneet, että jotkin muut pakkausmateriaalit edistävät tehokkaampaa jätteenkäsittelyä ja -kierrätystä verrattuna biohajoaviin biopusseihin? Oletteko harkinneet muita ratkaisuja tai pakkausmateriaaleja, joilla voitaisiin parantaa keräys- ja kierrätysprosesseja?



## 5.1.2 Kuluttajille esitetyt kysymykset

Kuluttajille suunnatut haastattelut pohjautuivat seuraaviin kysymyksiin. Kysymykset toimivat pohjana haastatteluille järjestyksen vaihdellessa keskustelujen etenemisten mukaan.

- Käytättekö biopusseja tai muuta materiaalia jätehuollossa, ja jos käytätte, niin miksi?
- Jos käytössänne on useampi materiaali, millaisia kokemuksia olette saaneet erilaisten jätehuoltotuotteiden käytöstä ja mitkä ovat niiden plussat ja miinukset?
- Käytättekö jätehuollon jäteastiaa? Tai onko teillä kokemuksia biopussien käytöstä kotikompostissa?
- Millaisia kokemuksia teillä on ollut biomuovien käytöstä osana jätehuoltoa? Miten arvioitte biopussien käytännöllisyyttä ja soveltuvuutta omaan elämäntilanteeseenne, kuten käytettävyys ja hajoaminen kotikompostissa?
- Mitkä tekijät ovat teille tärkeimpiä valitessanne pakkausmateriaaleja, kuten tuotteen merkinnät, saatavuus, hinta ja ympäristöystävällisyys? Mikä näistä tekijöistä vaikuttaa päätökseenne eniten?
- Kuinka usein kiinnitätte huomiota eri kierrätysmerkkeihin tuotteiden ostoissa, erityisesti pakkausmateriaaleissa? Kuinka hyvin tunnistatte eri sertifikaatit ja kierrätysmerkit biomuoveissa? Kuinka tärkeänä pidätte sertifikaatteja ja kierrätysmerkkejä biohajoavien biopussien valinnassa?
- Kuinka tietoisia olette eri biomuovien vaikutuksista ympäristöön ja kierrätysjärjestelmiin?
- Onko biomuovien käyttö osana jätehuoltoa vaikuttanut millään tavoin omaan jätehuoltorutiiniinne? Lisääntyisikö biomuovien käyttö, jos niitä jaettaisiin esimerkiksi jätehuollon toimesta?
- Mitä odotuksia ja toiveita teillä on biomuovien tai muiden materiaalien ja niiden käytön suhteen tulevaisuudessa?

## 5.2 Selvitys- ja haastattelutyön tulokset

Tuloksiin koostettiin sekä biopussien merkinnöistä että biokaasulaitosten toimijoiden ja kuluttajien haastattelujen tuloksista yhteenvedot. Tästä osaluueesta toteutettiin opinnäytetyö, joka on ladattavissa verkosta (Holopainen, S 2024).

### 5.2.1 Biopussien merkinnät

Lähes kaikissa marketeissa tarkastelluissa biopohjaisissa biojätepusseissa oli EN13432 merkintä. Kuitenkin, jos tuotteella on Seedling, OK compost tai muu vastaava sertifikaatin merkintä, tarkoittaa se samalla, että myös EN13432 on täytetty. Sertifiointijärjestelmä ja Seedling -merkki (Kuva 5.1) on ollut Euroopan Bioplasticsin omistuksessa vuodesta 2012. Varsinaisen sertifiointityön tekevät kuitenkin DIN Certco ja TÜV AUSTRIA. Rekisteröinti- tai sertifiointiasiakkaat voivat valita kumman tahansa sertifiointielimen varmistaakseen tuotteidensa standardienmukaisuuden. (European Bioplastics 2023.)



Kuva 5.1. Seedling (EU) -merkki vasemmalla (European Bioplastics 2023) ja DIN Certcon kompostoitavuusmerkki oikealla (DIN Certco 2024).

Teollisesti kompostoitava -merkintä löytyi Bioskan Biojäte-kassi- ja Kotikomposti -pakkauksista, kaikista BioBagilta tarkastelluista pakkauksista sekä Naturabio-matin Biojätepusse- ja Kompostoitava Biopussi -pakkauksista.

Pääasiassa tätä osoittamassa oli Seedling (EU) -merkki (Kuva 5.1). Merkkien alta löytyi myös sertifiointien yksilöintikoodit, kuten esimerkiksi Naturabiomatilla 7P0094, BioBagilla 7P2045 ja Bioskalla 7P2184.

Kotikompostoituvuutta osoittava OK compost HOME -merkintä (Kuva 5.2) löytyi Bioskan Biojättekassi -pakkauksista, BioBagin Superline- ja Biojätepussipakkauksista sekä Naturabiomatin Biojätepussi- ja Kompostoituva Biopussi -pakkauksista.



Kuva 5.2. OK compost HOME -merkki. (TÜV AUSTRIA 2024.)

Bioskan Kotikomposti -biojätepussista löytyi erehdyttävästi vain Vincotten OK compost -merkki (Kuva 5.3). Tämä merkintä on osoitus teollisesti kompostoituvasta tuotteesta, eikä kotikompostissa kompostoituvasta.



Kuva 5.3. Vincotten OK compost -merkki. (Nature-Pack 2017.)

Taulukossa 5.1 on esitetty yhteenveto kaikista tutkituista biopusseista ja niiden merkinnöistä.

Taulukko 5.1. Biojätepussipakkauksista löytyvät merkinnät.

Materiaali	EN13432	Seedling (Industrial)	OK compost (Industrial)	OK compost HOME
BioBag Biojätepussi		✓		✓
BioBag Jätesäkki		✓	✓	
BioBag Superline		✓		✓
Bioska Biojätekkassi	✓	✓		✓
Bioska Kotikomposti	✓		✓	
Bioska Plus Biojätepussi	✓			
K-ryhmä paperinen biojätepussi	✓			
Naturabiomat Biojätepussi	✓	✓		✓
Naturabiomat Biojätesäkki	✓			✓
Naturabiomat Kompostoituva Biopussi	✓	✓		✓
Pirkka Sangallinen Biojätekkassi	✓			
Rainbow Biojätekkassi Sangallinen	✓			
SINI Pieni Kompostipussi				

Tarkastelluista tuotteista Naturabiomatilla ja BioBagilla standardien ja sertifikaattien merkinnät löytyivät myös yksittäisistä pusseista pakkauskääreiden Biomuovien toimivuus biokaasulaitoksella - Tutkimusraportti

lisäksi. Suurimman poikkeuksen teki SINI Pieni Kompostipussi, jonka kääreestä tai pusseista ei löytynyt merkintöjä standardeista tai sertifikaateista.

### 5.2.2 Biokaasulaitoksen kokemukset

Haastateltavina oli henkilöitä kolmesta eri biokaasulaitoksesta. Kahdessa näistä biokaasulaitoksista oli käytössä kuivaprosessi ja yhdessä märkäprosessi.

Haastattelujen perusteella on selvää, että jäteastioiden ja kuluttajien biopusseja käsitellään biokaasulaitoksissa päivittäin. Suursäkkejä käsitellään harvemmin, mutta yleensä kuitenkin viikoittain. Yhdessä biokaasulaitoksessa suursäkkejä tulee vielä harvemmin ja yhdessä biokaasulaitoksessa ei koettu lainkaan ongelmia biopohjaisten suursäkkien käsittelyssä.

Suurimmat haasteet liittyvät biopussien aiheuttamiin tukoksiin, erityisesti kuljettimissa. *”Yksi kerääntynyt säkki alkaa keräämään itseensä enemmän säkkejä ja muuta jätettä.”* Tällöin jumit on aina poistettava käsin. Ongelmia ilmenee myös pussien repimisessä ja murskaamisessa, sillä ne ovat muita materiaaleja sitkeämpiä ja venyvämpiä. Fossiiliset muovisäkit venyvät vähemmän, mutta ne murenevat ja voivat lopulta esimerkiksi saastuttaa peltoja.

Murskainten terien ollessa hyvässä kunnossa säkit menevät sujuvammin läpi. Kosteina biopussit aiheuttavat enemmän ongelmia, joten yhdessä biokaasulaitoksessa lisätään tukiainetta, kuten haketta, kosteuden hallitsemiseksi. *”Kosteana purkkamaista.”*

Reaktoreihin päätyvät säkinriekaleet tarttuvat sekoittimien lapoihin, sähkökaapeleihin ja vaijereihin aiheuttaen tärinää ja räsitusta sekä heikentäen sekoituskykyä. Putkiin ja pumppuihin kerääntyessään säkit voivat aiheuttaa tukoksia.

Laitokset ovat kehittäneet omia menetelmiä biopussien käsittelyn tehostamiseksi ja ongelmien minimoimiseksi. Säkkien nostamista

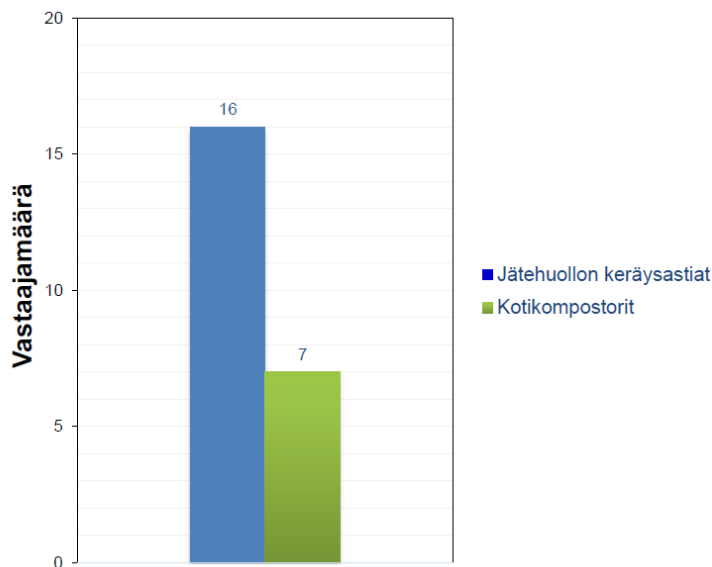
murskaimeen säädellään, ettei niitä mene liikaa kerrallaan. Murskaimen teriä on muokattu, jotta saataisiin oikean kokoisia paloja, ja sekoittimiin on lisätty suunnanvaihtokytкимиä ylimääräisen aineksen poistamiseksi. Kuljettimiin on lisätty pyyhkijöitä ja raapimia estämään säkkien kiinnijäämistä ja vähentämään tukoksia. Vähintään on tehty muita pienempiä parametreihin tai aikoihin liittyviä muutoksia. *”Mitä isompi pussi, sitä isompi ongelma.”*

Biopussien palasia on joskus havaittavissa vielä mädätyksen jälkeen. Kuitenkin seulonnassa isoimmat palaset poistuvat karkeamman ylitteen mukana, kun taas hienompi alite jatkaa kompostointiin ja sitten mullan valmistukseen tai muuhun jatkokäsittelyyn.

Biohajoavat pussit ovat sitkeämpiä kuin paperipussit, jotka hajoavat helpommin ja aiheuttavat vähemmän ongelmia. *”Suosituksena kotitalouksille käyttää paperipusseja biojätteen varastoimiseksi.”* Prosessin kannalta paperipussit nähdäänkin parhaana vaihtoehtona, koska ne hajoavat helposti ja vähentävät tukosriskiä. Erään biokaasulaitoksen alueella asiakkaita ei suositella käyttämään biohajoavia biojätepusseja.

### 5.2.3 Kuluttajien kokemukset

Haastateltavia saatiin kustakin kategoriasta: opiskelijat, lapsiperheet, eläkeläiset, pariskunnat ja yksinasuvat. Haastateltavien ikä vaihteli noin 20:stä 65:een vuoteen, yhteensä 23 henkilöä eri koulutusasteilta. Asuinalueina olivat Pohjois-Savo, Keski-Suomi, Varsinais-Suomi ja Uusimaa, ja haastateltavat asuivat joko kerros-, rivi- tai omakotitalossa. Haastatelluista 16 käytti jätehuollon keräysastiaa ja 7 kotikompostoria (Kuvaaja 5.1).



Kuvaaja 5.1. Jätehuollon keräysastioiden ja kotikompostoreiden käytön jakauma.

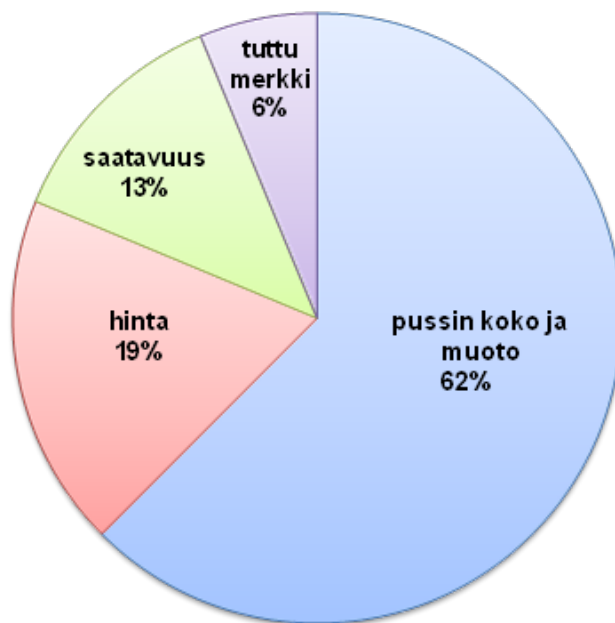
Suurin osa haastateltavista lajitteli biojätteen. Yleisimmän materiaalin jätehuollon astioissa muodosti biohajoava biopussi, joka koettiin oikeaksi tavaksi biojätteen lajittelussa. Termi "biopussi" kuulosti ympäristöystävälliseltä, ja sen käyttö oli helppoa kerros- ja rivitaloasumisessa. Paperipussien käyttö oli yksittäistä, osaksi niiden korkeamman hinnan vuoksi.

Ennen biopussien yleistymistä oli biojätettä kääritty sanomalehteen. Mahdollisena lajittelemattomuuden syynä mainittiin tilanpuute, koska erilaisten jätteiden lajittelu vie paljon tilaa. Tilanpuute ilmeni myös biojätettä lajittelevissa talouksissa siten, että biojäte oli vietävä usein. Kotikomposteissa biohajoavia biopusseja ei käytetty lainkaan; syynä tähän oli joko kokemus niiden hajoamattomuudesta tai niiden tarpeettomuus. Kotikomposteissa käytettiin joko paperipusseja tai jäte vietiin astialla ilman pussia tai kääreitä.

Noin puolet haastatelluista oli kokenut biohajoavan biopussin hajoamista keräysvaiheessa. Tähän ongelmaan auttoivat säännöllisempi pussin vaihtoväli tai kevyempi kuorma. Hajonnut biojätepussi oli tarvittaessa kuljetettava astialla, mikä teki pussin käytön tarpeettomaksi. Tämä johti ajatukseen

liukupohjallisesta astiasta, josta biojätteen voisi tyhjentää suoraan jätehuollon astiaan. Yhdessä tapauksessa biojätteen lajittelu oli loppunut epämiellyttävään kokemukseen pussin rikkoutuessa kadulle.

Monet haastateltavat kertoivat pussien kokojen sopimattomuudesta roska-astioihin. Tämän vuoksi ostopäätöksessä korostui pussin koko (Kuvaaja 5.2). Myös biopussin kahvallisuus oli tärkeää. Muita ostopäätökseen vaikuttavia tekijöitä olivat hinta ja saatavuus.



Kuvaaja 5.2. Ostopäätökseen vaikuttavat tekijät.

Kukaan haastatelluista ei ollut tietoinen sertifikaateista, eikä niitä huomioitu ostopäätöksissä. Joissakin tapauksissa hedelmäosaston biojätepussit olivat pääosin riittäviä omiin kierrätystarpeisiin, eikä pusseja tarvinnut ostaa erikseen kuin vain harvakseltaan. Ylipäätään hedelmäosastojen biopussi vaihtoehtoon fossiilisen muovisen sijaan oltiin tyytyväisiä.



Biopussien prosesseista tai vaikutuksista kierrätysjärjestelmiin ei ollut tietoa. Ainoastaan yksi haastateltava oli kuullut biojätepussien mahdollisista ongelmista biokaasulaitosten prosesseissa.

Jätehuollon biopussien jakamisen ei koeta merkittävästi lisäävän biojätteen kierrätystä niissä talouksissa, joissa se jo tapana lajitella. Se toimisi silti erinomaisena muistutuksena ja kannustimena jatkaa hyvää käytäntöä. Mainittiin, että pussien jatkuva saatavuus toki varmistaisi sen, että biojätettä lajiteltaisiin myös niinä hetkinä, kun pusseja ei ole muistettu hankkia lisää. Lisäksi tuli pohdintaa siitä, että jakelu voisi osaltaan vahvistaa kierrätyskäytäntöjä ja auttaa ylläpitämään ympäristötietoisuutta yhteiskunnassa sekä kannustaa niitä, joilla biojätteen lajittelu ei ole vielä rutiinia.

### 5.3 Pohdinta biopussien käyttökokemuksista

Biomateriaalien sertifikaatit ja kierrätysmerkit ovat olennaisia sekä kuluttajille että jätehuollolle. Sertifikaatit, kuten OK Compost, takaavat tuotteiden ympäristöystävällisyyden ja turvallisuuden. Tarkastellut pakkaukset ja pussit osoittivat, että merkintä on pakkauksessa selkeästi esillä, jos sellainen on. Tämä auttaa kierrätysprosessin tehokkuudessa.

Kuluttajat pitävät biohajoavia biopusseja ympäristöystävällisenä ja kestäväenä vaihtoehtona biojätteen lajittelussa. Nämä pussit tarjoavat mahdollisuuden vähentää perinteisten muovien käyttöä ja edistävät kiertotaloutta. Kuitenkin kuluttajien käyttökokemuksissa ja jätehuollon prosesseissa ilmenee vaihtelevasti haasteita biohajoavien biopussien käytössä. Monet kuluttajat ovat kokeneet pussien hajoamisen liian nopeasti, mikä tekee niistä sopimattomia roska-astioihin ja aiheuttaa vuotoja ja siivousongelmia. Tämä johtaa usein tilanteisiin, joissa biojäte valuu astian pohjalle, mikä lisää astioiden puhdistustarvetta ja aiheuttaa epämukavuutta.

Lisäksi biopussien kestävyys saattaa olla heikkoa, jolloin ne repeävät helposti, erityisesti jos biojäte sisältää liian suuren kuorman, tai vientiväli on pidempi.

Biomuovien toimivuus biokaasulaitoksella - Tutkimusraportti

Tämä voi heikentää kuluttajien halukkuutta käyttää biopusseja, vaikka he olisivatkin ympäristötietoisia. Kuluttajille on tärkeää helppokäyttöisyys ja vähäiset ylimääräiset toimenpiteet, mikä vaikuttaa myös lajitteluintoon. Tieto voi lisätä vaivannäköä, kun ymmärretään, miksi tiettyjä toimenpiteitä tehdään. Siksi jätehuollon ja kuluttajien välistä kommunikointia tulisi parantaa, jotta käytön esteet voidaan tunnistaa ja ratkaista tehokkaasti.

Jätehuollon näkökulmasta biopussit voivat aiheuttaa merkittäviä haasteita käsittelyssä ja prosesseissa, erityisesti biokaasulaitosten toiminnassa esiintyvien tukosten muodossa. Vaikka biokaasulaitokset ovat onnistuneet kehittämään erilaisia ratkaisuja säkkien käsittelyyn, haasteita esiintyy edelleen. Tämä voi hidastaa jätehuollon prosesseja ja aiheuttaa lisäkustannuksia. On myös havaittu, että biopussit eivät aina ole yhteensopivia kaikkien kompostointilaitosten prosessien kanssa. Tämä johtuu siitä, että biohajoavien materiaalien hajoamisaika ja -olosuhteet voivat vaihdella merkittävästi. Prosessien kehittämisen ohella kuluttajien ohjeistaminen on avainasemassa ongelmien vähentämisessä ja prosessien sujuvoittamisessa.

Biomuovien ympäristöystävällisyyttä ja käyttöä hämmentää lisäksi sekava terminologia. Vaikka biomuovit voivat periaatteessa vähentää perinteisten muovien ympäristöhaittoja, niiden käytössä on haasteita. Esimerkiksi biopohjaisuus ei automaattisesti tarkoita kompostoituvuutta, mikä saattaa hämmentää kuluttajia. Tämä sekaannus voi johtaa virheelliseen lajitteluun ja edelleen kuormittaa jätehuoltojärjestelmiä.

Lisäksi biomuovien markkinointiin liittyy puutteita sertifikaattien ja kriteerien osalta. Tulosten perusteella sertifikaattien merkitys biopohjaisten biojätepussien ostopäätöksissä on olematon, koska asiasta ei olla tietoisia. Sertifikaattien ja merkintöjen selkeyttäminen voisi auttaa kuluttajia tekemään ympäristöystävällisempiä valintoja. Tärkeää olisi selkeyttää terminologiaa, kehittää kierrätysjärjestelmiä ja lisätä kuluttajien tietoisuutta.

Tasapainon löytäminen biohajoavien biopussien ympäristöhyötyjen ja käytännön käytettävyyden välillä on keskeistä, samoin kuin niiden sopivuus jätehuollon prosesseissa. Kuluttajien ja jätehuollon välistä kommunikointia tulisi parantaa, jotta molempien osapuolten tarpeet ja haasteet voidaan huomioida. Tämä voisi johtaa parempiin käytäntöihin ja uudenlaisiin ratkaisuihin, jotka edistävät kestävästä kehitystä ja tehokasta jätehuoltoa.

## 6 Lopuksi

Biohajoavia biopusseja ja -säkkejä testattiin kattavasti sekä laboratorio-olosuhteissa että todellisissa olosuhteissa jätehuollossa ja biokaasulaitoksella, jotta saataisiin kokonaiskuva niiden käyttäytymisestä ja hajoamisesta biokaasulaitoksen anaerobisissa olosuhteissa. Lisäksi haastattelujen avulla pyrittiin saamaan kuvaa kuluttajien ja jätehuollon ammattilaisten kokemuksista ja näkemyksistä biohajoavien muovien käytettävyydestä sekä imagosta. Selvitystyössä haluttiin myös selvittää, kuinka biohajovat pussit erottuvat kuluttajille esimerkiksi merkintöjensä puolesta.

Biohajoavat muovit ovat herättäneet keskustelua toimimattomuudellaan biokaasulaitoksen prosesseissa. Eräänä ongelmana on niiden aiheuttamat tukokset murskaimilla. Tässä tutkimuksessa testattiin biohajoavien muovisäkkien toimivuutta jätehuollossa ja biokaasulaitoksen esimurskaimella verraten niitä paperi- ja PE-LD-säkkeihin. Jätehuollossa todettiin, että biomuovisäkkien toimivuudessa on eroja säkkien asennuksen helppoudessa. Toisaalta myös todettiin, että paperi- tai PE-LD-säkit eivät ole realistisia biosäkkien korvaajia. Testattaessa eri säkkejä biokaasulaitoksen esimurskaimella ei säkkimateriaalien välillä nähty eroja toimivuudessa. Tutkimukseen osallistuva biokaasulaitos on kehittänyt merkittävästi esikäsitteilyprosessejaan ja ratkaissut jo aiemmin biosäkkien ja -pussien erityishaasteet. Työssä tehtyjen esimurskaustestien tulokset kertovat selvästi, että kauppojen biojätteen mukana tulevat pakkaukset ovat visuaalisesti merkittävin muovijae, ja se saadaan tehokkaasti poistettua esikäsitteilyprosessissa.

Biomuovipussien mekaanisia ominaisuuksia (lujuus ja venyvyys) testattiin simuloimalla keräysvaiheen aerobista hajoamista ja sen vaikutusta biopussien ominaisuuksiin. Altistettaessa näytteet biojätteelle ja kosteudelle 1–2 viikon ajaksi oli selvää, että biohajovat pussit ja säkit poikkesivat mekaanisilta ominaisuuksiltaan paperipusseista ja -säkeistä, sillä paperi heikkenee merkittävästi kostuessaan. Tosin myös osa biohajoavista pusseista heikkeni

Biomuovien toimivuus biokaasulaitoksella - Tutkimusraportti

altistusaikana niin paljon, että niiden toiminnallisuus kantopussina katosi paperisen pussin tapaan. Pääsääntöisesti yksittäisen biomuovikalvon ominaisuudet eivät kuitenkaan poikenneet mekaanisilta ominaisuuksiltaan lujuuden tai venyvyyden suhteen kierrätys-PE:stä, jonka vastaavista prosessointiongelmista ei ole keskusteltu. Kosteita biomuovikalvoja käsiteltäessä todettiin niiden kuitenkin helposti liimautuvan yhteen, jolloin yhteenliimautuneiden kalvojen lujuusominaisuudet todennäköisesti kasvavat merkittävästi. Samaa ilmiötä ei todettu kierrätys-PE-kalvolla.

Biohajoavien pussien ja säkkien soveltuvuutta biokaasulaitosten prosesseihin testattiin metaanintuottopotentialitestillä ja altistamalla ne sekä aerobiselle hajoamiselle (simuloiden laboratoriossa keräilyvaihetta) että anaerobiselle hajoamiselle asettamalla ne standardissa määritetyn ajanjakson ajaksi biokaasulaitoksen mädättämöön ja jälkikompostointiin. Verrokkina testeissä toimivat biohajoavaksi materiaaleiksi tunnistetut paperipussit ja -säkit sekä biohajoamaton PE-pussi, tässä tapauksessa kierrätysmuovista valmistettu.

Näiden testien perusteella biohajoavat muovit hajoavat jonkin verran biokaasulaitoksen anaerobisissa olosuhteissa ja tuottavat hajotessaan metaania. Biohajoavat pussit eivät kuitenkaan hajoa kokonaan mädätyksessä, vaan vaativat jälkikompostoinnin. Testeissä käytetty testausyhdistelmä 5 viikkoa mädätyksessä + 3 viikkoa kompostoinnissa oli yhtä biopussinäytettä lukuunottamatta liian lyhyt ajanjakso, jotta biopussit (paperipussit mukaan lukien) olisivat hajonneet 90 %:sesti. Testaus tapahtui maaliskuussa, jolloin säätila varmasti vaikutti hajoavuuteen hidastaen sitä. Käytännössä kompostointivaihe on biokaasulaitoksilla todennäköisesti merkittävästi pidempi.

Biokaasuprosessissa ja biokaasulaitosten lopputuotteissa olevaa muovimäärää ja -laatua tutkittiin seulontatestien avulla. Tässä tutkimuksessa kaksi niistä kolmesta näytteestä, joiden kuiva-ainemäärä oli tiedossa, saavuttivat mädätteiden ja tuotteiden epäpuhtauksille asetetun kriteeristön muovipitoisuuden ylärajan suhteen. Yksikään tutkituista näytteistä ei saavuttanut vuoteen 2028 suunnitelmassa olevaa tiukempaa kriteeristöä.

Tutkituista lopputuotteista kaksikolmasosa saavutti epäpuhtauksille asetetun

Biomuovien toimivuus biokaasulaitoksella - Tutkimusraportti

kriteeristön muovipitoisuuden ylärajan suhteen. Kriteerien tiukentuessa puolet tutkituista näytteistä olisi kriteeristön mukaisia. On huomattava, että näissä seulontatestissä saadut tulokset perustuvat yhteen näytteeseen. On olemassa mahdollisuus, että näyte ei edusta koko prosessia tai tuote-erää johtuen biojätteen epähomogeenisuudesta sekä vuodenaikojen tuomasta vaihtelusta sekä jätevirtaan että prosesseihin.

Seulatestein tutkittujen muovilajijakaumien perusteella noin puolet löydettyistä muovi- tai paperipartikkeleista oli eri hajoamisvaiheessa olevaa biohajoavaa muovia. Samaan aikaan tutkimuksessa mukana olleista 11 näytteestä 4:ssä löydetty pääasiallinen epäpuhtaus oli biohajoavaan ainekseen kuulumatonta muuta muovia, kuten polyeteeniä, osuuden ollessa pahimmillaan 90 %. Osassa näytteistä myös alle 2 mm:n muovipartikkeleiden määrä oli huomattava.

Tutkimusten perusteella voidaankin todeta, että ensisijaisesti biokaasulaitokselta olisi saatava pois sinne kuulumaton biohajoamaton muovi. Myös biohajoavien muovien hajoamista saattaisi olla mahdollista nopeuttaa tehostamalla prosessin alkupään murskausta. Biohajoavien muovien hajoamisnopeuteen voitaisiin mahdollisesti vaikuttaa merkittävästikin murskaamalla muovit pienemmiksi kappaleiksi ennen mädätystä, jolloin ne ehtisivät paremmin hajota tarpeeksi pieniksi jo prosessissa.

Selvitettäessä kuluttajien ja jätehuollon näkemyksiä ja kokemuksia biohajoavien biopussien ja -sakkien suhteen todettiin, että biopusseissa merkinnät olivat kohdallaan, mutta kuluttajat eivät tunnistaneet ko. merkkejä. Biopussien tarpeelliseksi kokeminen riippui siitä, kompostoiko kuluttaja itse biojätteensä vai oliko hän kunnallisen jätehuollon piirissä. Tärkeimmäksi biopussin ominaisuudeksi kuluttajat määrittivät pussin oikean koon ja muodon.

Biokaasulaitoksilla oli kokemuksia biohajoavien pussien aiheuttamista ongelmista, joita oli ratkottu laitoskohtaisesti ja yleinen näkemys pusseista oli neutraali tai hieman kielteinen. Osalla biokaasulaitosten toiminta-alueista asukkaita oli ohjeistettu käyttämään paperisia pusseja.

Tutkimuksessa käytiin kattavasti läpi biomuovisten pussien ja -säkkien sekä verrokkimateriaaleina toimineiden paperipussien ja -säkkien ja kierrätyspolyeteenipussin toiminnallisuutta kuluttajalla, jätehuollossa ja biokaasulaitoksella. Yhteenvetona voidaan todeta, että biomuoviset vaihtoehdot ovat materiaalina erilaisia kuin verrokkimateriaalit, joihin niitä arjessakin verrataan. Standardein todennetut biohajoamisominaisuudet eivät ole sellaisenaan todennettavissa käytännön olosuhteissa. Näiden testausten perusteella voitaisiin olettaa, että biohajoavaksi merkityt materiaalit todennäköisesti myös hajoavat, kunhan prosessiin on lisätty riittävän pitkä kompostointiaika. Joka tapauksessa biohajoava biopussi lienee selvästi parempi vaihtoehto biomuovin kierrätykseen kuin biohajoamaton polyeteeni.

## Lähteet

DIN Certco 2024. Industrial compostable. Viitattu 28.5.2024.

<https://www.dincertco.de/din-certco/en/main-navigation/about-us/our-marks-of-conformity/industrial-compostable-products/>

European Bioplastics 2023. Certification Scheme: Products made of industrially compostable materials. Viitattu 23.4.2024. [https://docs.european-bioplastics.org/publications/Seedling\\_Certification\\_Scheme\\_2023.pdf](https://docs.european-bioplastics.org/publications/Seedling_Certification_Scheme_2023.pdf)

Holopainen, S. 2024. Biohajoavien biopussien käyttökokemukset kuluttajien ja jätehuollon näkökulmasta. Viitattu 20.6.2024.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/864001/Holopainen\\_Sonja.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/864001/Holopainen_Sonja.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Maa- ja metsätalousministeriön asetus lannoitevalmisteista 964/2023. Viitattu 3.5.2024.

<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230964#Pidm46651396492048>.

Nature-Pack 2017. Vincotte Certifications Purchased by TÜV AUSTRIA Group. Viitattu 29.4.2024. <https://www.nature-pack.com/vincotte-certifications-purchased-by-tu%CC%88v-austria-group/>

Raiko, A. 2024. Biojätepussien toiminnallisuus biokaasulaitoksilla. Viitattu 20.6.2024.

[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/859672/Raiko\\_Akseli.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/859672/Raiko_Akseli.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

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

TÜV AUSTRIA 2024. OK compost HOME. Viitattu 23.4.2024.

<https://en.tuv.at/ok-compost-home-en/>



