



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

METSÄTEOLLISUUDEN LIETTEEN KOMPOSTOIN- NIN KEHITTÄMINEN

TEKIJÄ/T: Sanna Tuhkanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Sanna Tuhkanen			
Työn nimi Metsäteollisuuden lietteen kompostoinnin kehittäminen			
Päiväys	22.4.2015	Sivumäärä/Liitteet	22+0
Ohjaaja(t) Arja Ruokojärvi, projekti-insinööri ja Teemu Räsänen, tuntiopettaja			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Jaakko Soini, projektipäällikkö/ Ekokem-Palvelu Oy			
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli löytää kustannustehokkaita tapoja metsäteollisuuden lietteen kompostoinnin tehostamiseen. Tämä työ toteutettiin talvikaudella lokakuusta maaliskuuhun. Tavoitteena oli tutkia kompostoitumisprosessin onnistumista talviolosuhteissa, tutkia biolietteen kompostoitumista ilman kuitulietettä ja selvittää tukiaineiden, herätteen ja ilmastuksen vaikutusta kompostoitumisprosessiin.</p> <p>Työ toteutettiin avoamakompostointina ulkona asfalttikentällä. Koeaumoja tehtiin neljä, joista kahta ilmastettiin koneellisesti ja kahta käännettiin kauhakuormaajalla. Ilmastetuista aumoista toinen oli tehty sekalietteestä ja toinen bioliettestä eri seosainein ja seossuhtein. Käännettävät aumat olivat koostumukseltaan samanlaiset kuin ilmastetut aumat vertailukelpoisuuden saavuttamiseksi. Koeaumat toteutettiin pienempinä kuin tavallisesti alueella tapahtuvassa kompostoinnissa.</p> <p>Koeaumojen kompostointiin löydettiin toimiva talviajan ratkaisu. Lisäksi saatiin tietoa ympärivuotista kompostointia varten. Biolietteen kompostointi osoittautui haasteeksi, mihin saatiin mahdollisia tulevaisuuden ratkaisumalleja seosaineista ja kuiva-ainepitoisuuden nostamisesta. Ilmastus oli selkeästi kompostoitumista edistävä tekijä ja tukiaineet paransivat lietteen rakennetta, mutta herätteen vaikutuksen arviointi kävi mahdottomaksi vertailutietojen jäätyä vaillinaisiksi. Toimivin ratkaisu oli kalliimpi verrattuna nykyiseen toimintamalliin, mutta se voitiin ajatella kustannustehokkaaksi säästetyn ajan ansiosta.</p>			
Avainsanat kompostointi, metsäteollisuuden liete, talvikompostointi			
julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Sanna Tuhkanen			
Title of Thesis Development of Pulp Industry Sludge Composting			
Date	22 April 2015	Pages/Appendices	22+0
Supervisor(s) Ms Arja Ruokojärvi, Project Engineer and Mr Teemu Räsänen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Mr Jaakko Soini, Project Manager at Ekokem-Palvelu Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was the development of pulp industry sludge composting in a cost-effective way. The test was carried out during winter, from October to March. The objectives were to research composting in wintertime, to find out what kind of effect inoculum, support components and aeration have on the composting process and to research whether bio sludge can be composted without fibre fraction.</p> <p>The test arrangements were built out on the asphalted area. There were four different open windrow composts for tests. Two of the composts were aerated with a mechanical ventilation and the other two manually with a shovel loader. One of the mechanically ventilated composts was made of pulp industry sludge and the other was made of pure bio sludge without fibre suspension. They were mixed with support components (peat, bark, inoculum) with different mixture ratios. The manually aerated composts had the same compositions as mechanically aerated composts because they had to be comparable. The test arrangements were done in a smaller scale than normal composting at the real target.</p> <p>A successful method for wintertime composting was found among the test composts. In addition, useful information was found for year-round composting. The composting of bio sludge turned out to be challenging. The solutions were to increase the part of support components and dry matter content. The aeration promoted the composting process clearly and the support components made the composition of the compost better. The effects of adding inoculum to composts remained unsolved as the reference data was incomplete. The most functional solution was more expensive than the present operation model, but it could be thought as cost-effective because it saved working time.</p>			
Keywords composting, pulp industry sludge, wintertime composting			
public			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	KOMPOSTOINTIPROSESSI	6
2.1	Kompostointiprosessin vaiheet.....	6
2.2	Metsäteollisuuden lietteet.....	7
2.3	Kompostin seos- ja tukiaineet	8
2.3.1	Kuori	8
2.3.2	Turve	8
2.3.3	Heräte eli ympäri	9
2.4	Kompostoinnin seurantamenetelmät.....	9
2.4.1	Lämpötilan seuraaminen.....	9
2.4.2	Kosteuspitoisuuden seuraaminen.....	10
2.4.3	Huokoskaasujen seuraaminen	10
2.4.4	pH:n seuraaminen	11
2.4.5	Hiili/typpi -suhteen ja fosforin määrän seuraaminen.....	11
3	KOMPOSTOINNIN KOEJÄRJESTELYT KENTÄLLÄ.....	13
3.1	Koejärjestelyjen suunnittelu ja tavoitteet.....	13
3.1.1	Koealue, koeaummat ja mittauspisteet.....	14
3.1.2	Ilmastusjärjestelmä.....	14
3.1.3	Seossuhteet ja aumojen rakentaminen	15
4	KOMPOSTOITUMISEN SEURANTA.....	16
4.1	Auman lämpötila- ja huokoskaasumittaukset	16
4.2	Näytteenotto ja kosteuspitoisuuden sekä pH:n määrittäminen.....	18
5	KOMPOSTOINNIN KUSTANNUKSET KÄYTETTÄESSÄ ERI MALLEJA	20
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	21
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT.....	22

1 JOHDANTO

Metsäteollisuuden lietteiden käsittelyyn tarvitaan uusia tekniikoita ja ratkaisuja kasvaville lietemäärille. Yleisimmin metsäteollisuuden lietteet ovat ohjautuneet kuivaukseen ja polttoon, mutta tämän menetelmän rinnalle ovat nousseet biokaasun tuotto mädättämällä sekä kompostointi. Lietteiden kompostoinnin ja lannoitekäytön etuna ovat ravinteiden kierrätys ja yksinkertainen tekniikka. Ekokem-Palvelu Oy on kompostoinut metsäteollisuuden lietteitä avoaimoissa. Ongelmina ovat puukuidun hidas hajoaminen ja aumojen tiivistyminen. Tämä insinöörityö tilattiin kompostoinnin kustannustehokkaiden kehittämiskeinojen löytämiseksi. Työn tavoitteena on nopeuttaa kompostoitumisprosessia, selvittää talven vaikutuksia kompostointiin ja varautua tulevaan kompostoimalla lietettä, jossa biolietteen osuus on suuri. Lisäksi tavoitteena on saada koeaumat kypsymään stabiileiksi komposteiksi, jolloin ne voidaan käyttää hyödyksi lannoitevalmisteina.

Työ toteutetaan ulkokentällä aumakompostointikokeina. Koeaumoista on neljä erilaista variaatiota ja niitä kompostoidaan lokakuusta lähtien aina kypsymiseen saakka. Kompostien kypsymistä seurataan kenttämittauksilla ja laboratorionäytteillä.

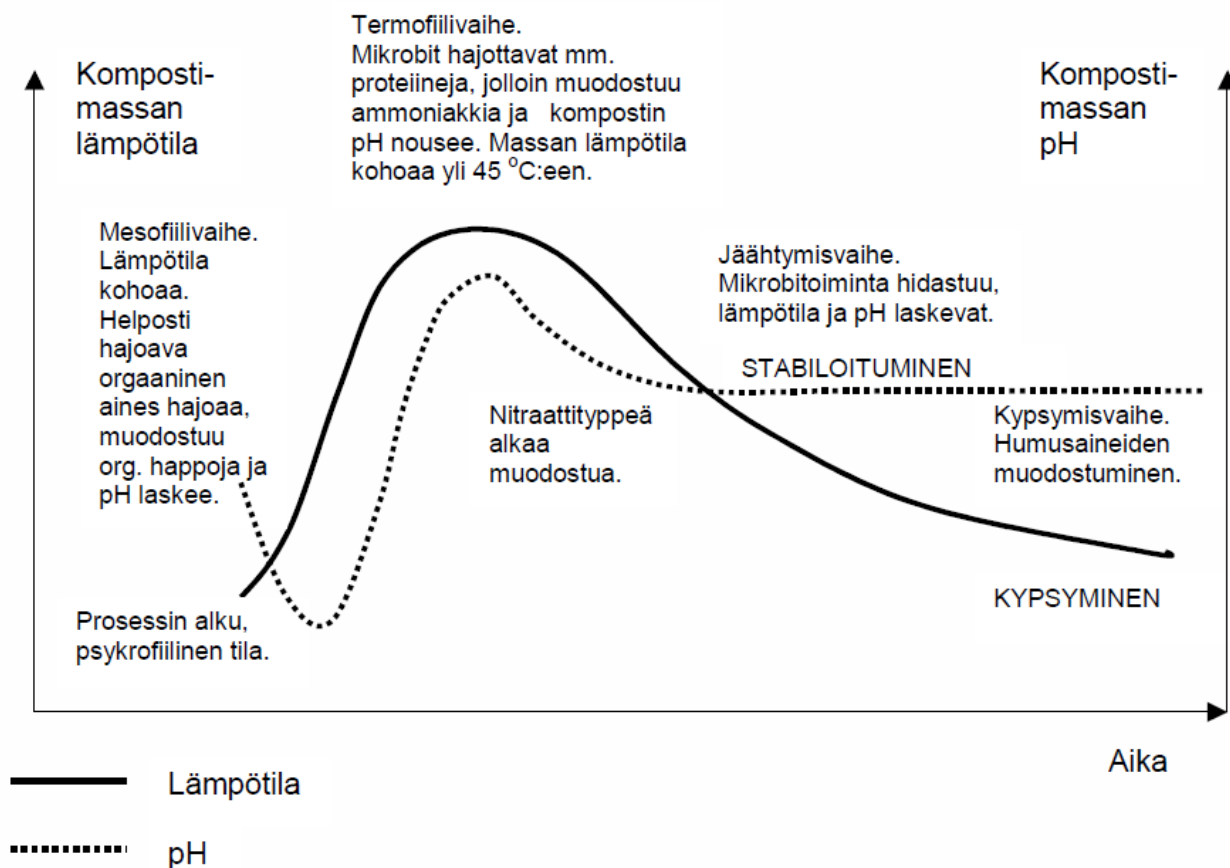
Tässä työssä selitetään lyhyesti kompostoinnin perusteita ja seosaineiden ominaisuuksia. Tämän jälkeen kerrotaan koejärjestelyt seurantamenetelmineen. Lopuksi käsitellään tuloksia ja niiden pohjalta tehtyjä johtopäätöksiä ja kehittämissuhteita.

2 KOMPOSTOINTIPROSESSI

2.1 Kompostointiprosessin vaiheet

Kompostointi on biologinen prosessi, jossa mikrobit hajottavat orgaanista materiaalia kosteissa, aerobisissa ja riittävän lämpimissä olosuhteissa. Lopputuotteina syntyy hiilidioksidia, vettä, humusainetta ja epäorgaanisia suoloja sisältävää ainesta sekä lämpöenergiaa, jonka vuoksi prosessiin liittyy selkeä lämpötilan nousu. (Paatero, Lehtokari, Kempainen 1984, 21.)

Tärkeimmät eliöryhmät kompostoinnin kannalta ovat bakteerit ja sienet. Mikrobit käyttävät orgaanista ainesta energian ja biomassan tuottamiseen. Kompostoitumisen eri vaiheissa aktiivisena toimivat eri mikrobilajit. Mikrobit voidaan lajitellaan kolmeen luokkaan lämpötilaoptiminsa mukaan: psykoofiiliin, mesofiiliin ja termofiiliin mikrobeihin. Psykoofiiliset mikrobit toimivat 0 - 25 °C:n lämpötiloissa eli kompostin perustamisvaiheessa Suomen olosuhteissa. Mesofiiliset mikrobit toimivat 25 - 45 °C:n lämpötiloissa ja nostavat kompostin lämpötilaa kiivaalla hajotustoiminnalla. Termofiiliset mikrobit toimivat yli 45 °C:n lämpötiloissa ja jatkavat kompostoitumista, kun lämpötila kohoaa yli mesofiilisten mikrobien sietokyvyn. Metsäteollisuuden lietteen kompostoinnissa tärkeässä roolissa ovat myös sienet, home- ja sädesienet, jotka hajottavat selluloosaa ja ligniiniä tehokkaimmin (Paatero ym. 1984, 41).



KUVIO 1. Kompostoinnin vaiheiden vaikutus pH:n arvoon ja lämpötilaan (Halinen ja Tontti 2004)

Samoin myös kompostoitumisprosessi voidaan jakaa lämpötilan mukaisiin vaiheisiin, kuten kuviosta 1 näkyy. Psykrofiilista vaihetta ei usein mainita, sillä tehokas kompostoituminen alkaa vasta mesofiilissä vaiheessa. Mesofiilissä vaiheessa pH laskee vilkkaan hajotustoiminnan myötä ja lämpötila nousee. Mikrobit hajottavat helpoiten hajoavaa orgaanista materiaalia. Termofiilinen vaihe hygienisoi kompostimateriaalin. Mikrobit alkavat hajottaa mm. proteiineja, joiden hajotessa muodostuu ammoniakkia, joka vuorostaan nostaa kompostin pH:ta. Jäähymisvaiheessa lämpötila ja pH alkavat laskea ja mikrobitoiminta hidastuu. Viimeisessä kypsymissä vaiheessa jäljellä on enää hitaasti hajoavaa orgaanista ainesta, minkä myötä mikrobitoiminta on vähäistä eikä lämpötila juurikaan kohoa. (Halinen ja Tontti 2004, 13.)

Maa- ja metsätalousministeriön asetuksen 24/11 liitteessä IV annetaan enimmäismäärät lannoitevalmisteissa sallituille taudinaiheuttajille. Patogeenisiä bakteereja harvemmin esiintyy metsäteollisuuden lietteissä enää vesienkäsittelyvaiheen jälkeen, mutta valmiin tuotteen hygieenisyyden ja turvallisuuden vuoksi indikaattorilajien *Salmonellan* ja *Escherichia colin* esiintymistä seurataan. Taudinaiheuttajabakteerit kuolevat useimmiten kuumennettaessa, mikä soveltuukin hyvin hygienisointiteknoksi lämpöä tuottavaan kompostointiin. Maa- ja metsätalousministeriön sekä Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen jätevesilietteen kompostointiohjeessa (MMMELO 2915/835/2005) kerrotaan, että kunkin kompostierän lämpötilan tulisi nousta vähintään 4 tunnin ajaksi yli 55 °C:seen ja olla vähintään viiden vuorokauden ajan yli 40 °C:ssa. Tässä työssä kyse on metsäteollisuuden lietteestä, jota asetus ei koske. Ekokem-Palvelu Oy:n lannoitevalmisteen valmistuksen omavalvontasuunnitelmassa kompostin tavoitelämpötila on 40 °C. Käytännössä on havaittu lämpötilan usein nousevan yli 55 °C:n, mikä täyttää vaativammatkin kriteerit.

Kompostointi parantaa lietteen rakennetta, varmistaa sen mikrobiologisen hygieenisyyden ja muokkaa sivutuotteesta hyötykäyttävää raaka-ainetta. Kompostoimalla metsäteollisuuden lietettä voidaan käyttää monipuolisemmin useammassa käyttökohteissa. Raakaa lietettä voidaan käyttää ympäristöluovallissa kohteissa mm. maanpeittoon, mutta kompostoimalla liete muuttuu lannoitevalmisteksi, jota voidaan käyttää maanparannusaineena, kasvialustana ja lannoitteena pelloilla ja metsissä.

2.2 Metsäteollisuuden lietteet

Metsäteollisuuden lietteiden laatuun vaikuttaa paljolti prosessi. Erilaisissa prosesseissa eri tehtailta syntyy erilaisia määriä lietteitä ja niiden pitoisuudet ja ominaisuudet vaihtelevat. Sen vuoksi tähän lukuun on koottu ainoastaan yleistettävissä olevia tietoja.

Tässä työssä kompostoidaan kuitulietettä ja biolietettä. Bioliete on metsäteollisuuden jäteveden biologisessa puhdistuksessa syntyvää lietettä, joka erotetaan jätevedestä laskeuttamalla. Biolietteen kuiva-ainepitoisuus on tavallisesti 20 - 35 %, mikä on melko alhainen kompostointia ajatellen. Primäärilietettä eli kuitulietettä syntyy jäteveden mekaanisesta puhdistuksesta. Se sisältää kuori-, kuitu-, täyte- ja lisäaineita sekä pigmenttejä. Primäärilietteen tuhkapitoisuus vaihtelee. Metsäteollisuuden bioliete eroaa koostumukseltaan ja kuivausominaisuuksiltaan yhdyskuntien jätevesilietteestä.

Metsäteollisuuden lietteessä on enemmän puusta peräisin olevia aineksia, kuten ligniiniä, selluloosaa ja hiilihydraatteja, sekä tuhkaa ja vähemmän rasvaperäisiä ainesosia. Fosforimäärä kuivassa lietteessä vaihtelee välillä 0,5 - 1 %. Fosforin ja typen pitoisuudet ja raskasmetallipitoisuudet ovat yleensä pienemmät kuin yhdyskuntien jätevesilietteissä. Liete ei myöskään yleensä sisällä suolistobakteereja. (Lohiniva, Mäkinen ja Sipilä 2001, 24–25.)

2.3 Kompostin seos- ja tukiaineet

Seosaineen tarkoituksena kompostissa on parantaa sen ilmapuutusta, sitoa kosteutta ja hajua sekä tuoda hiiltä hajottajien energianlähteeksi (Korhonen ja Alkula 2005, 7). Lisäksi seosaine voi olla tukiaine kompostille, jolloin sen tarkoituksena on estää kompostin tiivistymistä ilmavoittamalla auman rakennetta. Karkean, kovan tukiaineen partikkelit nojaavat toisiinsa luoden väliinsä ilmatilaa, aivan kuten kivilouheen väliin jää enemmän ilmaa verrattuna hiekkaan. Huokoinen rakenne toimii tilana huokoskaasuille. Karkearakenteinen tukiaine onkin tarpeen kompostoinnin optimoimiseksi, jotta kompostoitumisen seurauksena muodostuvat kaasut pääsevät helposti kulkemaan pois aumasta ja vastaavasti happea kulkeutuu mikrobien käyttöön prosessiin. Tiivistyneessä tai märässä rakenteessa kaasujenvaihto vaikeutuu ja voi estää oikeanlaisten aerobisten mikrobien toiminnan. Koska kosteus lisää tiivistymistä ja täyttää vedellä tukiainepartikkelien välistä huokostilaa, tulee seosaineen kosteuspitoisuuden olla lisättäessä alle 55 %. Tällöin seosaineella on kuivattava vaikutus. Liian kuivakaan komposti ei saa olla, sillä mikrobit tarvitsevat lisääntymiseensä ja toimintaansa veden läsnäoloa.

2.3.1 Kuori

Koivun kuori sisältää paljon hiiltä, 48 - 52 %, kuten myös muut puuperäiset seosaineet. Koivun kuoren kosteuspitoisuus 45 - 55 % on pienempi kuin havupuun kuoren. (Alakangas 2000, 152.) Kuori on koostumukseltaan karkeaa ja palakoko yleensä suuri, mikä taas puoltaa kuoren ominaisuuksia ilmapuottavana seosaineena. Nämä ominaisuudet yhdessä vaikuttivat kuoren valitsemiseksi seosaineeksi kompostointiprosessiin. Koivun kuorijae sisältää kuoren lisäksi hienojakoista puusilppua ja suurempikokoisia osia puun rungosta.

2.3.2 Turve

Turve on suoympäristössä kasvaneiden kasvien jäänteistä kosteissa ja hapettomissa olosuhteissa tapahtuneen epätäydellisen hajoamisen muodostama eloperäinen maalaji. Kuten Metsäsairilan Tietopankissa mainitaan, lannoittamaton ja kalkitsematon turve sitoo hyvin kosteutta ja ravinteita. Kompostissa turve kuitenkin tiivistyy ja voi myös kosteutta sitovana materiaalina vettyä liikaa. Turpeen tulisikin olla kompostiin lisättäessä kuivaa. Yleensä jyrsturpeen kosteus on toimitettaessa noin 49 %, mikä ei nosta liikaa kompostin kosteuspitoisuutta. Turvetta ei pidä käyttää seosaineena yksistään, vaan kompostin tiivistyminen tulee estää käyttämällä turpeen kanssa karkeampaa seosainesta. Turve on myös hyvä hiilen lähde kompostiin, sillä turpeen hiilipitoisuus kuiva-aineessa on välillä 52 - 56 % (Alakangas 2000, 154).

2.3.3 Heräte eli ympi

Kompostointiprosessi perustuu kompostoitavan materiaalin sisältämiin ja ympäristöstä siihen siirtyneisiin mikrobikantoihin, jotka nopeasti sopeutuvat syöttömateriaaleille ja kompostiolosuhteisiin parhaiten soveltuvaksi eliöyhteisöksi. Tässä työssä aumat toimivat niin sanottuina panosprosesseina, eli sama kompostimateriaali käy kompostoitumisprosessin alusta loppuun. Luonnonmukaisessa prosessissa helpoimmin hajotettavissa olevat ravinteet käytetään ensimmäiseksi ja näin ollen ravitsemuksellinen tilanne ja olosuhteet muuttuvat koko panosprosessin ajan. (Paatero, Lehtokari, Kempainen 1984, 21 - 22.)

Soini (2014-09-10) oli havainnut aiemmin sekalietettä kompostoitessa, että kompostoituminen tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa bakteerit oletetusti hajottavat helposti hajotettavissa olevan biolietteen. Tämän jälkeen nämä bakteerit kuolevat ja korvautuvat kuitua hajottavilla mikro-organismeilla.

Herätteellä tai ympillä tarkoitetaan tässä työssä kompostointiprosessin loppuvaiheessa olevaa tai tämän laitoksen omavalvonnan kriteerien mukaisesti kypsää kompostia. Tällainen kompostiaines sisältää todennäköisesti runsaasti kuitua hajottavia bakteereja. Herätteen lisäyksellä pyritään nopeuttamaan kuidun hajoamista kompostiprosessissa.

2.4 Kompostoinnin seurantamenetelmät

Komposti on kypsää, kun se on saavuttanut tilan, jossa orgaanisen aineksen hajoaminen vakiintuu hitaan muutoksen tasolle. Tätä tilaa kutsutaan stabiiliksi. Lisäksi kypsän kompostin kriteereihin kuuluu, ettei se sisällä fytotoksisia aineita, eli kasveille haitallisia yhdisteitä.

Kompostin kypsyden seurantamenetelmät voidaan jaotella Halisen ja Tontin (2004, 20) mukaan

- fysikaalisiin (mm. lämpötila, kosteus, happipitoisuus),
- kemiallisiin (mm. C/N -suhde, orgaanisen aineksen pitoisuus, tuhkapitoisuus),
- spektroskooppisiin (NMR-, FTIR- ja DRIFT -spektrit),
- biokemiallisiin (mikrobiaktiivisuuden määrittämismenetelmät) ja
- biologisiin menetelmiin (mm. juurenpituusindeksi, kasvinsiementen itävyys).

Lisäksi voidaan tehdä aistienvaraista arviointia, mutta se on epätarkkaa. Tässä työssä kompostin kypsymistä seurattiin lähinnä lämpötilan ja happipitoisuuden avulla. Lisäksi kypsyttä seurattiin laboratoriotokokein, ja kompostista analysoitiin maa- ja metsätalousministeriön asetuksen 24/11 mukaiseen tuoteselosteeseen vaadittavat ominaisuudet.

2.4.1 Lämpötilan seuraaminen

Kompostin lämpötilan kehitykseen eli mikrobitoiminnan aktiivisuuteen vaikuttaa pitkälti sen kosteuspitoisuus, hiili/typpi -suhde ja kompostimateriaalin tiiviys. Kompostia tehtäessä raaka-aineen lämpö-

tilan tulisi olla vähintään 10 - 15 °C, jotta lämpeneminen lähtisi käyntiin (Kivelä 1998, 50). Lämpötilan tulisi kohota yli 55 °C:n muutamaksi tunniksi hygienisoitumisen varmistumiseksi. Vähän taudinaiheuttajia sisältävälle metsäteollisuuden lietteelle voi riittää lämpötilan nousu yli 40 °C:n. Kuitenkin ligniinin hajoamisen osalta yli 45 °C:n lämpötila on tehokkain (Hovi 1998, 31). Tällöin tavoiteltava lämpötila olisi yli 45 °C, sillä metsäteollisuuden liete sisältää paljon ligniiniä.

Kun lämpötila kohoaa yli 60 °C:n, lähestytään termofilisten bakteerien toiminnan lämpötilamaksimia, joka on noin 70 °C. Yli 60 °C:n lämpötilan on havaittu vähentävän huomattavasti kompostin mikrobipopulaation monimuotoisuutta, ja siten mahdollisesti hidastavan orgaanisen aineksen hajoamista (Halinen ja Tontti 2004, 14). Lisäksi yli 65 °C:n lämpötilassa haihtuvuus on suurta ja komposti kuivuu helposti liikaa. Liiallinen kuivuus hidastaa myös mikrobien toimintaa.

2.4.2 Kosteuspitoisuuden seuraaminen

Kompostissa elävät mikrobit tarvitsevat toimintaansa vettä. Optimaalinen kosteus on teoriassa 50 - 70 %, mutta kompostoitava materiaali määrittelee sopivan kosteuden (Hovi 1998, 27). Suurikokoiset aumat eivät saa olla liian kosteita, sillä niissä tapahtuu tiivistymistä jo pelkän materiaalin oman painon vuoksi. Metsäteollisuuden lietteet ovat koostumukseltaan hienojakoisia, mikä lisää tiivistymisen mahdollisuutta. Jos tällä materiaalilla on talvella kosteutta perustamisvaiheessa yli 70 %, ovat onnistumismahdollisuudet hyvälle kompostoitumisprosessille heikot. Todennäköisimmin liian kostea komposti alkaa mädäntyä veden täyttäessä huokoskaasutilan ja tiivistäessä materiaalin kaasuja huonosti läpäiseväksi.

2.4.3 Huokoskaasujen seuraaminen

Kompostin kypsyttä arvioidaan kompostiaineksen stabiilisuuden perusteella. Koska kompostissa orgaaninen aines hajoaa mikrobitoiminnan vaikutuksesta, stabiloituminen tarkoittaa lähinnä tiettyä mikrobitoiminnan vaihetta. Kompostin stabiilisuutta voidaankin siis arvioida mikrobitoiminnan aktiivisuutta kuvaavilla menetelmillä. Näitä menetelmiä ovat mikrobien hengitystä mittaavat menetelmät, jotka keskittyvät mikrobien hapenottoon ja hiilidioksidintuottoon. (Halinen ja Tontti 2004, 17.) Sen lisäksi metaanintuotto ja rikkivedyn muodostuminen kertovat anaerobisista olosuhteista ja kompostiaineksen mädäntymisestä. Alhainen happipitoisuus termofiilivaiheessa voi kertoa myös vilkkaasta mikrobitoiminnasta ja korkeasta hapenkulutuksesta, eikä välttämättä huokoskaasutilan tukkeutumisesta liian kosteuden tai tiivistymisen vuoksi.

Optimaalisen kompostoitumisen happipitoisuutena on pidetty 15 % happea kompostikaasujen tilavuudesta (Turovskiy ja Mathai 2006, 243). Komposti toimiikin parhaiten happipitoisuuden ollessa 10 - 20 %. Happipitoisuuden alarajaksi on saatu 5 %, jonka alapuolella alkaa mätäneminen (Hovi 1998, 29). Turovskiyn ja Mathain mukaan yli 15 % happipitoisuus laskee kompostin lämpötilaa korkeamman ilmavirtauksen vuoksi, mutta käytännössä merkittävää lämpötilan laskua tässä työssä ei havaittu, vaikka happipitoisuus oli paikoitellen yli 20 %.

2.4.4 pH:n seuraaminen

Kompostoitumisprosessin aikana pH vaihtelee voimakkaasti eri vaiheissa. Alussa mesofiilivaiheessa pH laskee mikrobien tuottaessa orgaanisia happoja, minkä jälkeen se nousee nopeasti termofiilivaiheessa kun ammoniakkia alkaa muodostua. Jäähtymisvaiheessa pH laskee hieman, kun ammoniakkia haihtuu ja muuntuu nitraattitypeksi nitrifikaation kautta. Tällöin pH yleensä myös vakiintuu tietyle tasolle. Muutos on havainnollistettu hyvin kuviossa 1.

2.4.5 Hiili/typpi -suhteen ja fosforin määrän seuraaminen

Useiden lähteiden mukaan optimaalinen hiili/typpi -suhde kompostissa on välillä 30 - 35/1. Puupitoisissa komposteissa suhdeluku on korkeampi ja korkeatyyppisissä komposteissa, kuten lantakomposteissa, suhdeluku on taas huomattavasti pienempi. Perustettavan kompostin C/N -suhteen tulisi kuitenkin olla välillä 20 - 50/1. Kuitenkaan hiilen ja typen suhde ei kerro koko totuutta, sillä näiden ravinteiden esiintymismuoto eli sitoutuneisuus kemiallisiin yhdisteisiin vaikuttaa niiden hajoamiseen kompostoituaessa. Mikrobien on vaikeampaa hyödyntää hiiltä, joka on sitoutunut esimerkiksi lignoselluloosayhdisteisiin. Metsäteollisuuden lietteet sisältävät paljon ligniiniä ja selluloosaa, jotka ovat vaikeasti hajoavia hiilenlähteitä mikrobeille.

Typen olomuoto muuttuu useasti kompostoitumisprosessin aikana. Kompostoinnin alkuvaiheessa suurin osa tuestä esiintyy yleensä ammoniakkina tai ammoniumtyppinä, kun taas kompostin kypsyessä kasvavat nitraatti- ja nitriittitypen osuudet nitrifikaation myötä. (Halinen ja Tontti 2004.) Nämä typen esiintymismuodot ovat vesiliukoisia. Kuitenkin hiili/typpi -suhde lasketaan kokonaistypen avulla kuiva-aineesta, eikä vesiliukoisien typen avulla. Kokonaistyyppi määritetään Kjeldahlin menetelmällä, joka ottaa huomioon myös orgaanisen typen määrän, mitä mikrobit eivät ole vielä muuntaaneet kasveille sopivaan muotoon.

Tyyppi on useimmiten kompostoinnissa rajoittava tekijä. Kompostin hajoamisprosessi hidastuu, jos tyyppiä on liian vähän, koska hajottajaorganismit eivät pysty lisääntymään runsaan hiililähteen mahdollistamalla tavalla. Sen sijaan ylimääräinen tyyppi ei todennäköisesti haittaa prosessia, mutta typpihäviö ilmaan on tällöin suurta ja ilmenee hajuhaittoina ammoniakin haihtuessa. Tietyn rajan jälkeen typpipitoisuuden nostaminen ei enää nopeuta prosessia. Puunkuorimateriaalien optimaalinen typpipitoisuus on 1 - 1,2 %. (Paatero ym. 1984, 27 - 28.) Tätä voitaneen käyttää sopivana typpipitoisuutena myös paljon puuainesta sisältävälle metsäteollisuuden lietteelle. Kompostoinnin edetessä hiili/typpi -suhteen tulisi laskea alueelle 15 - 20/1, jos sitä halutaan käyttää lannoitevalmisteena (Hovi 1998, 27). Metsäteollisuuden lietteessä vaikuttaa siltä, että C/N -suhde ei laske alueelle 15 - 20/1 vaikka komposti olisi kypsää muilla parametreilla mitattuna. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että typpihäviö on suhteellisesti suurempaa kuin hiilen hajoamisesta johtuva orgaanisen aineksen väheneminen. Kun hiilen määrä vähenee, suhdeluku pienenee ja vastaavasti kun typen määrä vähenee, suhdeluku kasvaa. Tämän vuoksi kannattaa hiili/typpi -suhteen lisäksi tarkkailla kokonaistypen ja vesiliukoisien typen määrää sekä kokonaistypen prosentuaalista muutosta kompostoinnissa.

Fosfori on usein kasvien kasvua rajoittava tekijä, mutta kompostointiprosessissa sen merkitys on vähäisempi. Fosforia, kuten typpeä, sitoutuu ja vapautuu hajoavassa materiaalissa. Fosforia on kypsässä kompostissa noin 10 % typen määrästä. (Paatero ym. 1984, 29.)

3 KOMPOSTOINNIN KOEJÄRJESTELYT KENTÄLLÄ

3.1 Koejärjestelyjen suunnittelu ja tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehostaa metsäteollisuuden tuottaman kuitu- ja biolietteen kompostointia. Kompostoitava aines on aiemmissa kokeissa ollut sekalietettä, jossa kuitu- ja bioliete ovat sekoittuneet. Sekalietteen sisältämä kuitu hajoaa hitaasti ja hidastaa siten koko kompostoitumisprosessia. Tässä työssä kokeiltiin erilaisia aumaratkaisuja ja seosaineita kompostoitumisprosessin tehostamiseksi huomioiden myös kompostoinnin kustannustehokkuus. Lisäksi työn tavoitteena oli saada raaka-aineliettestä käyttökelpoista maanparannuskompostia. Raaka-ainetta kompostoidaan aumassa niin kauan, että se täyttää maa- ja metsätalousministeriön asetuksen lannoitevalmisteista 24/11 tuorekompostin tai maanparannuskompostin kriteerit (Omavalvontasuunnitelma 2013).

Aikaisemmin on kompostoitu ilman seosaineita ja aumoja on ilmastettu kääntelemällä. Aumojen lämpötilaa on seurattu Ekokem-Palvelu Oy:n Tecpelin Thermometer DTM-305B -mallisella lämpömittarilla. Sen lisäksi aumoista on otettu seurantanäytteitä, joista on analysoitu muun muassa pH:ta, kosteutta, hiilidioksidin tuotantoa, mikrobiologista hygieenisyyttä sekä typen ja fosforin määrää. Ensisijaisesti kompostin kypsytyden ilmaisijana on käytetty hiilidioksidin tuotantoa yksikössä mg CO₂-C/g VS/vrk.

Jo suunnitteluvaiheessa ilmeni, että lämpötila ja satunnaiset näytteet eivät kerro riittävästi kompostin tilasta. Kompostoitumisprosessia tulisi seurata tarkemmin. Tarkempaa tietoa auman tilasta antavat huokoskaasut, joita päätettiin seurata kahdesti viikossa. Huokoskaasumittausten rinnalla jatketaisiin lämpötilan seurantaa. Huokoskaasuista mitattiin Savonia-amk Oy:n GA 2000 plus kaasuanalyysaattorilla happea, hiilidioksidia, metaania ja rikkivetyä. Huokoskaasujen kulkeutumiseen vaikuttaa olennaisesti kompostimassan kosteus. Aumojen kosteuspitoisuutta tarkkailtiin aistinvaraisesti, laborionäyttein ja tarvittaessa ABOWE Pilot A -laitoksen VWR Moisture Analyzer MB160 pika-analyysaattorilla.

Tulevaisuudessa käsiteltävän kompostiaineksen biolietteen suhteellinen määrä voi nousta. Tämän vuoksi haluttiin selvittää, kuinka pelkkä bioliete käyttäyty kompostointiprosessissa. Kuitulietteen puuttuminen kompensoitiin seosaineita lisäämällä. Lisäksi valmiin kompostin koettiin olleen liian tiivistä aiemmin, minkä vuoksi seosaineiden vaikutusta haluttiin tutkia muissakin koeaumoissa. Seosaineeksi valikoitui koivun kuori.

Kompostointiprosessissa kuidun hajoaminen kestää ajallisesti pisimpään. Sen vuoksi työssä ajateltiin kokeilla kypsän kompostin lisäämistä herätteeksi, ns. ympiksi, aumaan. Heräte sisältää kompostointiprosessin loppuvaiheessa aktiivisena olevia, kuitua hajottavia mikrobeja. Tällaisen mikrobiaineksen lisääminen tuoreeseen kompostiainekseen voisi saada kuidun hajoamisen alkamaan heti prosessin alussa, eikä vasta sitten kun helpommin hajoava aines on kulutettu mikrobien ravinnoksi.

Vastaavissa kompostointikokeissa jätevesilietteellä oli käytetty ilmastusta (Päivinen 2010). Ideaa haettiin kokeilla myös metsäteollisuuden lietteelle pienin muunnoksin. Samoilla seosaineilla tehtyjä aumoja päätettiin toteuttaa aina kaksi, joista toista ilmastettaisiin ja toista käännettäisiin kauhakuormaajalla. Näin ilmastuksen vaikutusta voitaisiin vertailla.

3.1.1 Koealue, koeaummat ja mittauspisteet

Koealueena toimi Ekokem-Palvelu Oy:n käsittelykeskuksen asfaltoitu ulkokenttä. Asfalttikenttä on toiminut aiempien kokeiden toteutuspaikkana, minkä lisäksi se toimii lietteen varastointialueena. Valumavedet kulkevat vieton avulla avo-ojaan, josta ne kulkeutuvat muiden vesien mukana vaakaselkeyttimen kautta biologiseen puhdistamoon. Asfalttikentän pinta-ala on n. 1,2 hehtaaria.

Koeaumoja rakennettiin yhteensä neljä erilaisilla koostumuksilla ja ilmastusmenetelmillä. Kahta aumaa ilmastettiin ilmastusjärjestelmän avulla ja kahta käännettiin kauhakuormaajalla tarpeen mukaan. Kaksi aumoista tehtiin sekalietteestä, jossa kuitu- ja bioliete ovat sekaisin ja kaksi puhtaasta biolietteestä, jonka seassa ei siis ole kuitulietettä ollenkaan. Tulevaisuudessa mahdollisesti tapahtuvaa biolietteen määrän nousua sekalietteessä haluttiin ennakoida tutkimalla kuinka bioliete käyttäytyy kompostoitessa. Aumat olivat mitoiltaan keskimäärin 8 metriä pitkiä, 5 metriä leveitä ja 2,5 metriä korkeita.

Aumassa A käytettiin sekalietettä, kypsää kompostia herätteenä ja seosaineena kuorta. Aumaa A ilmastettiin ilmastusjärjestelmällä. Aumassa B käytettiin biolietettä ja seosaineena kuorta ja turvetta. Aumaa B ilmastettiin ilmastusjärjestelmällä. Aumassa C käytettiin sekalietettä, kypsää kompostia herätteenä ja seosaineena kuorta. Aumaa C käännettiin kauhakuormaajalla tarpeen mukaan. Aumassa D käytettiin biolietettä ja seosaineena kuorta ja turvetta. Aumaa D käännettiin kauhakuormaajalla tarpeen mukaan.

Mittauspisteitä oli neljä jokaisessa aumassa siten, että kunkin auman ensimmäinen mittauspiste oli koillisen suunnassa auman lyhyessä päädyssä. Tästä pisteet etenivät myötäpäivään niin, että toinen mittauspiste oli kaakossa auman pitkällä sivulla, kolmas mittauspiste lounaassa auman lyhyessä päädyssä ja neljäs mittauspiste auman luoteisella pitkällä sivulla.

3.1.2 Ilmastusjärjestelmä

Lapinlahden jätevedenkäsittelylaitoksella on käytetty ilmastusta jätevesilietteen kompostoinnissa. Ilmastusjärjestelmän peruspiirteet toteutettiin samankaltaisina kuin Lapinlahdelle oli toteutettu vuonna 2010 Savonia-amk:n ympäristötekniikan koulutusohjelmaan tehdyssä Paulo Päivisen opinnäytetyössä.

Ilmastetun auman pohjalle tuli kerros kuorta, joka toimi salaojana valumavesille sekä ilmastusilmaa jakavana kerroksena. Kuoresta tehdyn kerroksen ei tulisi ulottua auman laidoille saakka ilman ohivirtauksen estämiseksi. Ilman kulkeminen varmistettiin salaojaputkilla. Putket sijoitettiin kuoripatjan si-

sään. Putkien tuli olla täysin kuoren peitossa, jotta ne eivät tukkeutuisi lietteestä. Ilmastusputkia kulki auman pituussuunnassa kaksi kappaletta. Putkien toiset päät tukittiin uretaanilla oikovirtauksen estämiseksi. Putkien toiset päät yhtyivät puhaltimeen t-haaralla umpiputkilinjaa pitkin.

Lapinlahden jätevedenpuhdistamon opinnäyteytössä tehdyissä kokeissa (Päivinen 2010) oli käytetty lapapotkuripuhallinta, joka puhalsi aumoihin ulkoilmaa. Talvella ulkoilma jäähdyttää kompostiaumaa tarpeettomasti. Aumojen hapensaanti haluttiin tässä työssä varmistaa ilman tarpeetonta aumojen jäähdyttämistä ja puhaltimen säätämistä. Tämä toteutettiin eristetyn merikontin avulla. Merikontin sisälle laitettiin lämpöpuhallin, joka lämmitti kontin sisältämän ilman. Merikontin seinälle oli asennettu kanavapuhallin, joka puhalsi lämmitettyä ilmaa umpiputkilinjastoa pitkin aumoihin. Korvausilmaa konttiin tuli seinän alalaitaan poratusta aukosta.

3.1.3 Seossuhteet ja aumojen rakentaminen

Aumoihin A ja C lisättiin noin 15 % vanhaa kompostia herätteeksi ja noin 20 % kuorta. Aumoihin B ja D lisättiin alussa myös noin 20 % kuorta, mutta biolietteen suuremman kosteuspitoisuuden vuoksi kuoren määrää lisättiin kahden viikon kuluttua aumojen rakentamisesta noin viidellä prosenttiyksiköllä. Samalla näihin aumoihin lisättiin seosaineeksi turvetta, aumaan B noin 3 % ja aumaan D noin 12 %.

Aumojen A ja C sekaliete, seosaine ja heräte sekoitettiin kauhakuormaajalla omana kasanaan asfalttikentällä. Tämän jälkeen komposti jaettiin kahteen osaan, josta toinen osa nosteltiin ilmastusjärjestelmän päälle kasaksi ja toinen osa jäi kentän toiseen laitaan omaksi aumakseen. Aumojen B ja D bioliete ja seosaine sekoitettiin kauhakuormaajalla omana kasanaan asfalttikentällä, jonka jälkeen siitä siirrettiin puolet ilmastusjärjestelmän toisen haaran päälle kasaksi. Toinen osa jäi kentälle omaksi aumakseen. Myöhemmin lisätty kuori ja turve sekoitettiin kumpaankin aumaan erikseen. Ilmastusjärjestelmän päälle rakennettu auma B jouduttiin sekoittamista varten purkamaan pois ilmastusjärjestelmän päältä. Kaikkea kompostiaineesta ei voinut ottaa sekoitettavaksi lisäseosaineiden kanssa ilmaa kuljettavien salaojaputkien rikkoutumisvaaran vuoksi. Lisäseosaineet sekoitettiin kompostiainekseen asfalttikentällä ja nosteltiin tämän jälkeen uudelleen ilmastusjärjestelmän päälle aumaksi.

4 KOMPOSTOITUMISEN SEURANTA

4.1 Auman lämpötila- ja huokoskaasumittaukset

Aumojen lämpötilaa seurattiin neljästä mittauspisteestä per auma ja kahdelta syvyydeltä: 50 cm ja 100 cm. Lämpötiloja mitattiin Ekokem-Palvelu Oy:n omistamalla Tecpelin Thermometer DTM-305B -lämpömittarilla (Kuva 1).



KUVA 1. Tecpel Thermometer DTM-305B -lämpömittari (Tuhkanen 2015-01-07)

Savonia-amk Oy:ltä työtä varten lainattu kaasuanalysointilaitteisto GA 2000 plus on tarkoitettu kaasujen mittaukseen. Kuten kuvasta 2 näkyy, analysointilaitteisto imee kaasua letkun kautta. Letkun pituus on noin 70 cm ja halkaisija noin 10 mm. Huokoskaasuja mitattiin noin metrin syvyydeltä, jolloin tarvittiin apuväline letkun saattamiseksi riittävään syvyyteen. Apuvälineeksi tehtiin kuvassa 3 näkyvä sauva. Sauva on 1,20 m pitkä ontto teräsputki, jonka pää on kiilan muotoinen ja hitsattu umpeen. Umpinaiseen päähän on porattu 10 cm matkalle reikiä kaasujen kulkureitiksi putkeen (Kuva 4). Yläpäähän on kiinnitetty kahva.



KUVA 2. Kaasuanalysointilaitteisto GA 2000 plus (Tuhkanen 2015-03-03)



KUVA 3. Huokoskaasunmittauslaitteen apusauva (Tuhkanen 2015-01-07)



KUVA 4. Sauvan ilmanvaihstoreiät (Tuhkanen 2015-01-07)

Mittaukset suoritettiin tekemällä ensin kangella reikä aumaan määritetyn mittauspisteen lähelle. Tämän reikään pudotettiin kuvan 3 sauva niin että sen pää oli noin metrin syvyydellä ja yläosa tiivistettiin kompostiaineksella, ettei ulkoilma päässyt häiritsemään mittausta. Kaasuanalysoitsijan letku työnnettiin sauvaan niin pitkälle kuin mahdollista ja pidettiin huoli, ettei letkun ja sauvan välisestä raosta päässyt ulkoilmaa häiritsemään mittausta. Kaasuanalysoitsija käynnistettiin ja sen annettiin imeä huokoskaasuja sauvan kautta aumasta minuutin ajan. Tämän jälkeen tulokset kirjattiin ylös. Kaasuja mitattiin tällä menetelmällä aina kolmesta mittauspisteestä per koeauma. Mittauspisteet valikoituivat satunnaisesti neljästä vakioidusta mittauspisteestä. Mittauspisteet on lueteltu kohdassa 3.1.1 Koealue, koeaumamat ja mittauspisteet.

Kaasuista mitattiin happea, metaania, hiilidioksidia ja rikkivetyä. Kaasuanalysoitsijalla olisi mahdollista mitata myös ammoniakkaa, mutta kyseinen toiminto oli tässä mittarissa epäkunnossa. Myöskään rikkivedyn tuloksia ei aina saatu mittausten yhteydessä, sillä rikkivetyanturi ei toiminut kovassa pakkasessa.

4.2 Näytteenotto ja kosteuspitoisuuden sekä pH:n määrittäminen

Näytteet otettiin pistolapiolla neljästä mittauspisteestä noin 50 cm:n syvyydestä. Näytteet otettiin yleensä 10 l:n muoviastiaan, jonka kansi sulkeutuu tiiviisti. Kannen kiinni pysyminen varmistettiin kuljetusta varten. Näytteet merkittiin ja numeroitiin yrityksen omilla tunnistetiedoilla ja lähetettiin yrityksen omaan laboratorioon analysoitaviksi.

Kompostin kosteus määritettiin Ekokem Oy:n laboratoriossa standardin SFS-EN 13040 mukaisesti. Tämän lisäksi kosteutta tarkkailtiin aistinvaraisesti ja ABOWE Pilot A -laitoksesta lainassa olleella VWR Moisture Analyzer MB160 pika-analysoitsijalla. (Kuva 5.) Pika-analysoitsijoihin luotiin ohjelma, jossa se lämmitti näytettä 12 minuuttia 160 °C:ssa. Näytettä tuli olla vähän, alle 10 g, jotta tällainen kuumennus riitti. Lisäksi näyte ei saanut olla kovin paakkuinen, sillä paakkujen sisään jäi kosteutta, mikä vääristi tulosta.



KUVA 5. VWR Moisture Analyzer MB160 (Tuhkanen 2014-02-06)

Kompostin pH-näytteet analysoitiin Ekokem Oy:n laboratoriossa standardin SFS-EN 13037 mukaisesti. Työssä mitattiin pH:ta myös seurantanäytteiden välillä Savonia-amk Oy:n mittarilla WTW pH 3210, sensorilla SenTix 41 tai Ekokem-Palvelu Oy:n mittarilla WTW pH 315i sensorilla SenTix 41. Tällöin pH määritettiin vesiuutosta, joka tehtiin Anneli Saaren laatiman Kuopion yliopiston ympäristötieteiden laitoksen ympäristöterveyden tutkimus- ja kehitysyksikön menetelmäohjeen mukaan. Ohjeessa kompostinäytettä sekoitetaan huolellisesti ionivaihdettuun veteen suhteessa 1 osa näytettä ja 2,5 osaa vettä. Vesi-näyteseoksen annettiin seisoa huoneenlämmössä tunti. Tämän jälkeen uutosta mitattiin mitta-elektrodilla samalla uutosta varovasti sekoittaen.

5 KOMPOSTOINNIN KUSTANNUKSET KÄYTETTÄESSÄ ERI MALLEJA

Kustannuksia arvioitiin uusien mallien mahdollisen käyttöönoton varalta. Niiden kustannuksia vertailtiin nykyisen toimintamallin kustannuksiin ja lisäksi koeaumoissa käytettyjä malleja vertailtiin keskenään. Kertakustannuksena kaikilla malleilla tulee olemaan mittarien hankinta. Toimipisteeseen tulisi hankkia oma huokoskaasuanalysointilaitteisto aumojen happipitoisuuden seurantaan varten.

Ilmastusvaihtoehdossa kertakustannuksena tulee ilmastuskontin ja kanavapuhaltimen hankinta. Ilmastusputkia voidaan käyttää uudelleen ainakin 3 kertaa, elleivät ne hajoa auman purkuvaiheessa. Tämä alentaa niille laskettuja kustannuksia. Myös salaojakerroksena toimiva kuoripatja on käytettävissä uudelleen. Uudelleen käyttäminen laskee kuoripatjan kustannukset puoleen verrattuna kerran käytettävään materiaaliin.

Ilman seosaineita tapahtuva sekalietteen kompostointi on kustannuksiltaan noin puolet seosaineilla tapahtuvasta, sillä melkein puolet kustannuksista tällä mallilla tulee kuoren hinnasta. Biolietteelle kustannukset ovat samat, mutta loppusummaan tulee lisätä toisesta seosaineesta, turpeesta, tuleva hinta. Riippumatta käsittelytavasta ja lietteestä tulee kustannusarvioon lisätä laboratorioanalyysiin menevät kulut.

Seosaineiden kanssa tapahtuvassa kompostoinnissa ilmastusjärjestelmän käyttö on halvempi ratkaisu kuin kääntely. Kustannukset kuitenkin nousevat noin puolitoistakertaisiksi verrattuna nykyiseen seosaineettomaan, käännettyyn tehtävään kompostointiin. Ilmastusjärjestelmän käyttö kuitenkin säästää kauhakuormaajalla tehtävää työtä ja voidaan siten ajatella kustannustehokkaaksi menetelmäksi.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyön tavoitteena oli tehostaa kompostoitumisprosessia, selvittää talven vaikutuksia kompostoitumiseen ja tutkia biolietteen kompostoitumista ilman kuitulietettä. Lisäksi työn tavoitteena oli saada raaka-ainelietteestä käyttökelpoista maanparannuskompostia.

Maanparannuskompostin hiilidioksidin tuotannon tavoitearvona on 3 mg CO₂-C/g VS/vrk, jota yksikään aumoista ei saavuttanut tarkasteluajana. Tavoite käyttökelpoisesta maanparannuskompostista ei toteutunut työn aikana. Kompostoitumisprosessille keksittiin monia tehostamistapoja, joita kokeiltiin käytännössä koeaumoissa. Talven luomat olosuhteet keskeyttivät mikrobiologisen toiminnan osasta aumoista, mutta työssä saatiin selville paras talvikauden kompostoimismenetelmä, joka oli auman A ilmastusjärjestelmällä ilmastaminen.

Sekalietteestä tehty ja ilmastusjärjestelmällä ilmastettu auma A toimi koko tarkasteluajan hyvin muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta. Lämmin auma sulatti siihen sataneen lumen, mikä nosti auman kosteuspitoisuutta. Talven lumimäärän ollessa suuri kosteuspitoisuus voi nousta liian korkeaksi parhaan toiminnan kannalta myös tässä toimintamallissa. Talviolosuhteissa tapahtunut kompostoituminen ei nopeutunut merkittävästi. Tarkasteluajan loppuessa auma oli lähestynyt hiilidioksidin tuotannossa tavoitearvoa 3 mg CO₂-C/g VS/vrk, mutta ei saavuttanut sitä tarkasteluajana. Tästä voidaan todeta talvella tapahtuvan kompostoinnin kestävän yli 5 kuukautta.

Talven vaikutukset näkyivät selkeästi auman C toiminnassa, joka poikkesi tavallisesta sekalietteen kompostoinnista vain seosaineiden osalta. Sekalietteestä tehty auma C kastui liikaa loppusyksyn saateista ja lumesta. Ilman ilmastusta toteutettavan auman kosteuspitoisuuden pitäisi siis olla lähtökohteisesti alhaisempi kuin ilmastetun, jotta sillä olisi edellytykset toimia. Sopiva kääntelyväli vaikutti olevan talvella yksi viikko, ja kääntö tuli suorittaa mahdollisimman lauhoilla keleillä. Hapenkulutus oli suurta ja olisi vaatinut ehkä jopa tiheämmän kääntelyvälin, mutta liiallisen jäähtymisen vuoksi sitä ei voitu tehdä. Auman peittäminen olisi auttanut kosteuspitoisuuden hallinnassa, mutta olisi vaikeuttanut kääntelyä ja hapen kulkua. Auman olisi pitänyt olla lähtökohtaisesti kuivempi, jotta se olisi kestänyt säänvaihtelujen tuoman lisäkosteuden.

Opinnäytetyön tavoitteena oli myös tutkia biolietteen kompostoitumista ilman kuitulietettä. Työn kuluessa voitiin todeta, että biolietteestä tehdyt aumat B ja D olivat liian kosteita kompostoitumisprosessin onnistumiselle. Ne eivät lämmenneet riittävästi ja alkoivat paikoitellen mädäntyä. Biolietteen kompostoituminen ei onnistu ilman ilmavoittavia tuki- ja seosaineita. Biolietettä olisi tullut kuivattaa pidempään kentällä ennen aumoiksi kokoamista ja kompostiainekseen olisi pitänyt lisätä enemmän seosaineita.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ALAKANGAS, Eija 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT tiedotteita 2045. [Viitattu 2015-01-21.] Saatavissa: <http://www2.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>

HALINEN, Arja ja TONTTI, Tiina. 2004. Laitoskompostien laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla. MTT:n selvityksiä 70. [Viitattu 2015-02-02.] Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts70.pdf>

HOVI, Antti 1998. Kompostoinnin vaiheet. Julkaisussa: JÄRVINEN, Kari (toim.) ja SUOKAS, Päivi (toim.) Eläköön komposti. Lannoittamisen olemuksesta. Helsinki: Hakapaino Oy, 14 - 40.

KIVELÄ, Jukka 1998. Lannan kompostointi. Julkaisussa: JÄRVINEN, Kari (toim.) ja SUOKAS, Päivi (toim.) Eläköön komposti. Lannoittamisen olemuksesta. Helsinki: Hakapaino Oy, 46 - 52.

KORHONEN, Anne ja ALKULA, Raili. 2005. Kompostoreiden seosaineiden vertailu. Työtehoseuran raportteja ja oppaita 21:2005. [Viitattu 2015-01-22.] Saatavissa: <http://www.tts.fi/tts/julkaisut/files/tr21.pdf>

LOHINIVA, E., MÄKINEN, T. ja SIPILÄ, K. 2001. Lietteiden käsittely: Uudet ja käytössä olevat teknikat. VTT tiedotteita 2081. Espoo: Otamedia Oy.

Metsäsairila Oy. Tietopankki. Kompostointi. Lisätietoa seosaineista. [Viitattu 2015-02-12]. Saatavissa: http://www.metsasairila.fi/metsasairila/fi/tietopankki/kompostointi/lisaa_seosaineista.php

PÄIVINEN, Paulo 2010. Jätevesilietteen kompostoinnin kehittäminen. Savonia-ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. Sijainti: Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Microkatu. Microkadun kampuskirjasto.

SOINI, Jaakko 2014-09-10. Opinnäytetyön ohjaaja. [Haastattelu.] Oulu: Ekokem-Palvelu Oy.

TUROVSKIY, Izrail ja MATHAI, P.K. 2006. Wastewater sludge processing. [e-kirja]