



# TEOLLISEN KOMPOSTOINTI- PROSESSIN KYPSYYSASTEEN MÄÄRITYSMENETELMIEN VER- TAILU

Koulutusala			
Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma			
Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t)			
Minna Vartiainen			
Työn nimi			
Teollisen kompostointiprosessin kypsyyssasteen määrittämenetelmien vertailu			
Päiväys	26.9.2016	Sivumäärä/Liitteet	43/1
Ohjaaja(t)			
Maarit Janhunen, projekti-insinööri ja Arja Ruokojärvi, projekti-insinööri			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)			
Jaakko Soini, projektipäällikkö/ Ekokem-Palvelu Oy			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kokeilla erilaisia kompostin kypsyyden määrittämenetelmiä ja vertailla niistä saatuja tuloksia. Tutkittavat näytteet olivat avoaimoissa kompostoitujen metsäteollisuudesta syntyvien kuitu- ja biolietteiden seoksia. Tavoitteena oli tutkia pystytäänkö tuorekomposti-nimikkeellä olevat kompostit toteamaan soveltuviksi maanparannuskomposteiksi kompostituotteille asetettujen laatuvaatimusten puitteissa.</p> <p>Kompostin kypsyyttä voi olla haastavaa arvioida, joten luotettavamman tuloksen saavuttamiseksi toteutettiin useampi testi ja analyysi. Kompostinäytteiden kypsyyssastetta arvioitiin pH:n, johtokyvyn, kosteuden, kuiva-aineen, hehkutusjäännöksen, typpisuhteen, kasvitestin, Rottegrad-testin, Solvita-testin, CO<sub>2</sub>-tuottokokeen ja C/N-suhteen perusteella. Lopuksi tehtyjen testien ja analyysien tuloksia vertailtiin toisiinsa. Lisäksi kompostinäytteistä tehtiin aistinvaraisia havaintoja.</p> <p>Saadut tulokset olivat jonkin verran ristiriitaisia, eikä komposteja pystytty toteamaan kypsiksi kaikkien tehtyjen analyysien ja testien perusteella. Aistinvaraisten havaintojen perusteella näytteet olivat kosteita ja tiiviitä, millä arvioitiin olleen vaikutusta kompostointiprosessiin ja sen etenemiseen. Tämän vuoksi kompostiaumat ovat voineet esimerkiksi kypsyä epätasaisesti, mikä voi myös omalta osaltaan selittää tässä työssä tehtyjen testien ja analyysien tulosten ristiriitaisuutta.</p>			
Avainsanat			
kompostointi, kypsyyss, stabiilisuus			
julkinen			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Minna Vartiainen			
Title of Thesis Comparison of Methods in Industrial Composting Process for Determining Compost Maturity			
Date	26 September 2016	Pages/Appendices	43/1
Supervisor(s) Ms Maarit Janhunen, Project Engineer and Ms Arja Ruokojärvi, Project Engineer			
Client Organisation /Partners Mr Jaakko Soini, Project Manager at Ekokem-Palvelu Oy			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to carry out tests using various methods to define the maturity of compost samples and compare the results. The samples were mixtures of forest industry fibre and bio sludge composted in open windrows. The aim was to explore whether the fresh compost could be deemed as being fully matured and comply with the Finnish fertilizer product legislation.</p> <p>Compost maturity can be challenging to evaluate so in order to gain reliable results a number of tests were conducted. Compost sample maturity was studied through pH, conductivity, moisture, total residue, total fixed residue, the nitrate- ammonia relation, the plant growth test, the Rottegrad test, the Solvita test and CO<sub>2</sub> production test and also by the carbon-nitrogen relation. The test results were compared to each other and reference values.</p> <p>The results were somewhat contradictory and the compost samples could not be deemed fully matured in all of the tests. The sensory evaluation showed the samples to be moist and dense which might have had an effect in the compost process. It might be possible that the windrow compost has matured at uneven speeds which could explain the contradicting test results.</p>			
Keywords composting, maturity, stability			
public			

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
1.1	Työn tausta ja tavoitteet .....	7
1.2	Metsäteollisuuden lietteet .....	8
2	KOMPOSTOINTIPROSESSI .....	10
2.1	Kompostoinnin vaiheet .....	10
2.2	Aumakompostointi .....	11
3	KOMPOSTITUOTTEEN LAATU JA LOPPUKÄYTTÖ .....	12
3.1	Lainsäädäntö .....	12
3.1.1	Lannoitevalmistelaki .....	12
3.1.2	MMM:n asetus lannoitevalmisteista .....	12
3.1.3	MMM:n asetus lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta .....	13
3.2	Loppukäyttö .....	13
4	KOMPOSTIN KYPSYYS JA STABIILISUUS .....	15
4.1	Stabiili komposti .....	15
4.2	Kypsä komposti .....	15
4.3	Raa`an kompostin haitat .....	16
4.4	Kompostin kypsyyden arvioiminen .....	16
4.5	Kompostin kypsyystestit ja perusanalyysit .....	17
4.5.1	Rottegrad .....	17
4.5.2	Solvita .....	17
4.5.3	Kasvitesti .....	18
4.5.4	pH .....	19
4.5.5	Kosteus .....	19
4.5.6	Lämpötila .....	20
4.5.7	C/N-suhde .....	20
4.5.8	Typpisuhde .....	20
5	KOEJÄRJESTELYT JA NIIDEN TOTEUTUS .....	21
5.1	Kompostin kypsyyden arviointi eri menetelmin .....	21
5.1.1	pH, johtokyky ja kosteus .....	21
5.1.2	Kuiva-aine ja hehkutusjäännös .....	21

5.2.1	Typpisuhde.....	22
5.2.2	Kasvitesti.....	22
5.2.3	Rottegrad .....	24
5.2.4	Solvita .....	25
5.2.5	CO <sub>2</sub> -tuottokoe.....	26
5.2.6	C/N-suhde .....	26
5.3	Laboratorioanalyysit kompostointiprosessin aikana ja aumojen lämpötilan seuranta .....	27
6	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU.....	28
6.1	pH, johtokyky ja kosteus .....	28
6.2	Kuiva-aine ja hehkutusjäännös .....	29
6.3	Rottegrad.....	29
6.4	Solvita.....	30
6.5	Kasvitesti.....	31
6.6	CO <sub>2</sub> -tuotto.....	33
6.7	Typpisuhde.....	34
6.8	C/N-suhde.....	34
6.9	Laboratorioanalyysit kompostointiprosessin aikana ja aumojen lämpötilan seuranta .....	35
6.9.1	Lämpötilan seuranta.....	35
6.9.2	Laboratorioanalyysit .....	37
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	39
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	42
	LIITE 1: SOLVITA-TESTIN KYPSYYSASTE JA SEN VASTAAVUUS ROTTEGRAD-TESTIIN.....	44

## KÄSITTEET JA LYHENTEET

Aerobinen	hapellinen bakteeri tai hapellisissa olosuhteissa viihtyvä bakteeri
C/N-suhde	hiili-typpi -suhde
CO <sub>2</sub>	hiilidioksidi
Fytotoksinen	kasveille tautia aiheuttava tai niiden kasvua rajoittava
Humus	eloperäisten aineiden maatumisen seurauksena syntynyt tumma multamainen aines
Hygieeninen	terveyden näkökulmasta puhdas
kpl	kappalemäärä
Mesofiilinen	kohtalaisessa lämpötilassa viihtyvä (20 - 40 °C)
mg CO <sub>2</sub> -C/g VS/vrk	hiilidioksidin tuoton yksikkö
MMM	Maa- ja metsätalousministeriö
mS/m	sähkönjohtavuuden yksikkö
NH <sub>3</sub>	ammoniakki
Oy	osakeyhtiö
Patogeeni	taudinaiheuttaja
pH	kuva aineen happamuutta (pH 0-7) tai emäksisyyttä (pH 7-14), logaritminen asteikko vety-ionin konsentraatiolle, $\text{pH} = -\log_{10}^{[\text{H}^+]}$
Primaariliete	jätevedenpuhdistusprosessin esiselkeytyksessä muodostuva liete
Psykofiilinen	matalassa lämpötilassa selviytyvä (< 20 °C)
Rottegrad-testi	kompostin kypsyystesti, joka perustuu kompostimassan omaan lämmöntuottoon
Sekundaariliete	jätevedenpuhdistusprosessissa jälkiselkeytyksessä erottuva liete
Solvita-testi	kaupallinen kompostin kypsyystesti, jossa kompostin kypsyttä arvioidaan hiilidioksidin tuoton ja ammoniakkin toteamisen perusteella
Stabiili	vakaa, pysyvä
Termofiilinen	lämpöä suosiva tai lämpöä vaativa (> 40 °C)
t ka/a	määrä ilmaistuna kiintoainestonneina per vuosi
vrk	vuorokausi
%	prosentti
°C	celciusaste

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Metsäteollisuuden sivuvirtojen, kuten lietteiden, hyötykäyttöä pyritään yhä enemmän kehittämään. Poltto on ollut tavallisin menetelmä lietteiden käsittelyssä, mutta esimerkiksi kompostointi on tänä päivänä yksi varteenotettava menetelmä. Kompostointi on prosessi, jolla saadaan jätteen sisältämät ravinteet uudelleen käyttöön ja täten säästetään myös luonnonvaroja.

Tämä insinöörityö on tilattu kompostinkypsyysmenetelmien vertailututkimuksen tekemiseen. Tutkittavat kompostinäytteet ovat Ekokem-Palvelu Oy:n Sorsasalossa sijaitsevilla toimipisteillä avoauimoissa kompostoimaa metsäteollisuudesta syntyvien kuitu- ja biolietteiden seoksia. Kompostituotteet luetaan lannoitelainsäädännössä lannoitevalmisteiksi, joten niillä on tiettyjä laatuvaatimuksia. Lannoitevalmisteilla on oltava tyyppinimi Eviran ylläpitämässä lannoitevalmisteiden kansallisessa tyyppinimiluettelossa tai EY-asetuksen mukaisessa lannoitetyyppien luettelossa. Tyyppinimi asettaa kompostituotteille tiettyjä kriteerejä tuotteen kypsyyden osalta Maa- ja metsätalousministeriön asetuksen (24/11) mukaisesti. Tässä työssä tutkitaan tällä hetkellä Tuorekomposti-nimikkeellä olevan kompostin soveltuvuutta Maanparannuskompostiksi kypsyystestien avulla. Tuorekompostilla ja maanparannuskompostilla tarkoitetaan lannoitevalmisteita, jotka on valmistettu kompostoimalla tai vaihtoehtoisesti mädättämällä ja jälkikompostoimalla esimerkiksi puhdistamolietteistä. Näistä maanparannuskomposti vaatii pidemmän jälkikompostoinnin.

Tällä hetkellä tutkittavat kompostit eivät täytä mitattujen CO<sub>2</sub>-pitoisuuksien osalta Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa (24/11) määriteltyjä maanparannuskompostin kriteerejä. Ongelmana on mahdollisesti lietteen sisältämän puusta peräisin olevan kuidun hidas hajoaminen, jonka seurauksena hiilidioksidin tuotto on korkea. Maanparannuskompostin hiilidioksidin tuoton täytyy olla alle 3 mg CO<sub>2</sub>-C/g VS/vrk, kun taas tuorekompostilla vastaavan arvon täytyy olla alle 6 mg CO<sub>2</sub>-C/g VS/vrk. Hiilidioksidin tuoton lisäksi maanparannuskompostille on MMM:n asetuksessa (24/11) määritelty kypsyyden arviointikriteereiksi juurenpituusindeksi (> 80 %) ja nitraattitypen ja ammoniumtypen suhde (>1).

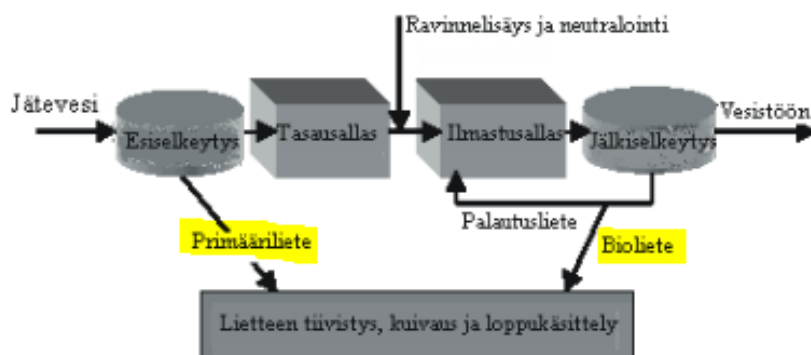
Tämän työn tavoitteena on tutkia Ekokem-Palvelu Oy:ltä saatuja kompostinäytteitä toteuttamalla mittauksia ja kokeita Savonian laboratoriossa kompostin kypsyysasteen määrittämiseksi, ja vertailla eri menetelmien toimivuutta ja soveltuvuutta. Tässä työssä toteuttavia testejä ja analyysieja ovat pH, johtokyky, kosteus, kuiva-aine ja hehkutusjäännös, Rottegrad-testi, Solvita-testi, Kasvitesti, CO<sub>2</sub>-tuottokoe, typpisuhde ja C/N-suhde. Lisäksi kompostinäytteiden tutkimisessa hyödynnetään mahdollisia aistinvaraisia havaintoja.

## 1.2 Metsäteollisuuden lietteet

Joka vuosi metsäteollisuudesta syntyy valtavasti sivuvirtoja, esim. satoja tuhansia tonneja lietteitä. Lannoitevalmistelainsäädäntö sallii näistä osan hyötykäytön joko sellaisenaan lannoitevalmisteina tai raaka-aineina lannoitevalmisteiden valmistuksessa. Metsäteollisuus pyrkii jatkuvasti parantamaan näiden sivuvirtojen hyödyntämistä ja esimerkiksi kaatopaikkajätteen määrä on vähentynyt 1990-luvun alkupuolelta paljon, vaikka samassa ajassa massa- ja paperituotanto on kuitenkin säävuttanut noin 50 %:n kasvun. Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista supistaa orgaanisen jätteen viemistä kaatopaikoille, joten lietteiden käyttö esimerkiksi lannoitteina on järkevää. Yhtenä ongelmana sivuvirtojen hyödyntämisessä on noussut esille tietämättömyys mm. niiden ominaisuuksista ja saatavuudesta, joka on puolestaan vaikuttanut niiden alhaiseen kysyntään. (Matilainen, Pisto, Rinnepelto ja Kinnunen 2014, 6.)

Suomi on yksi suurimmista metsäteollisuusmaista Euroopan Unionin alueella mm. Ruotsin ja Saksan ohella. Syntyvien metsäteollisuuden lietteiden määrä ja niiden käsittelytavat kuitenkin vaihtelevat paljon eri maiden välillä. Suomen sellu- ja paperiteollisuudessa biologisten jätevedenpuhdistamoiden eli aktiivilietelaitosten määrä kasvoi 90-luvulla merkittävästi, mikä taas on omalta osaltaan nostanut käsittelyä tarvitsevien lietteiden määrää. (Lohiniva, Mäkinen ja Sipilä 2001, 23.) Vuonna 2001 Suomen metsäteollisuudesta syntyneiden lietteiden määräksi arvioitiin noin 500 000 t ka/a, josta yli puolet oli primaarilietettä, noin neljäsosa oli siistauslietettä ja noin viidesosa oli biolietettä (Ojanen 2001, 13). Vuonna 2012 lietteiden määrä oli yhteensä noin 518 000 t ka/a (Matilainen ym. 2014, 6).

Aktiivilietelaitoksilla syntyy kahta eri lietettä, jotka ovat primaariliete eli kuituliete ja sekundaariliete eli bioliete. Primaariliete sisältää mm. kuituja, ligniiniä ja selluloosaa ja se syntyy jäteveden esiselkeytyksessä, jossa jäteveden sisältämä kiintoaine laskeutetaan. Sekundaariliete muodostuu jäteveden biologisen puhdistuksen seurauksena jälkiselkeytyksessä ja se sisältää mm. puhdistuksessa syntyvää mikrobimassaa ja elotonta soluainesta sekä mm. puusta lähtöisin olevia uuteaineita. (Ojanen 2001, 7 - 11; Matilainen ym. 2014, 18.) Kuvioista 1 nähdään missä eri puhdistusprosessin vaiheissa lietteitä syntyy.



KUVIO 1. Biologisen jätevedenpuhdistuksen vaiheet (Ojanen 2001, 10)



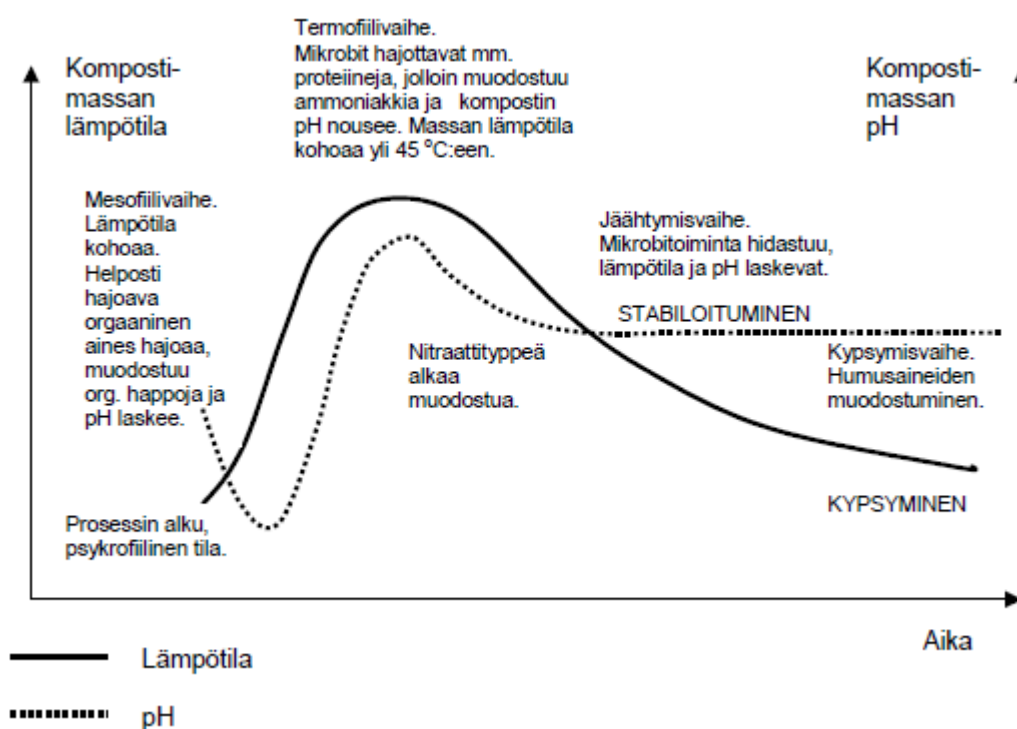
Metsäteollisuuden tehtaiden jätevedenpuhdistamoilla lietteiden käsittelymenetelmä ja tapa hyötykäyttää lietteet valikoituvat sen perusteella, mikä kullekin tehtaalle soveltuu parhaiten. Näihin vaikuttavat paljolti mm. lietteiden ominaisuudet, esimerkiksi kuiva-aineen pitoisuus. Hyötykäyttöön vaikuttavat lisäksi vedenerotus- ja stabilointiprosessit. (Ojanen 2001, 7.)

Metsäteollisuuden lietteet ovat sellaisenaan varsin korkean kosteusprosentin omaavia, joten ne tarvitsevat mm. kuivauksen ja stabiloinnin, jotta ne voidaan polttaa tai esimerkiksi kompostoida. (Lohiniva ym. 2001, 23). Veden poistamiseen lietteistä on käytetty paljon mekaanisia menetelmiä, kuten esimerkiksi suotonauha- tai ruuvipuristinta, mutta mm. myös termisiä kuivausmenetelmiä on käytössä. Syntyvistä lietteistä suuri osa menee vedenerotuksen jälkeen polttoon tuotantolaitosten omiin lämmön- ja sähköntuotantolaitoksiin ja loput menevät kaatopaikalle tai muuhun käyttöön. Tänä päivänä kaatopaikoille päätyvät kuitenkin vain lietteet joiden kuivauksessa on ilmennyt ongelmia, jolloin ne ovat liian märkiä eivätkä sovellu polttoon. Myös esimerkiksi lietteiden kompostointia pyritään toteuttamaan aina, kun se mahdollista. (Ojanen 2001, 7 ja 13; Matilainen ym. 2014, 18.)

## 2 KOMPOSTOINTIPROSESSI

### 2.1 Kompostoinnin vaiheet

Kompostointiprosessissa erilaiset mikrobit hajottavat orgaanista ainesta humukseksi aerobisissa oloissa. Eri mikrobien aktiivisuuteen vaikuttaa mm. kompostin lämpötila ja pH. Kompostissa esiintyvät mikrobit voidaan jakaa niiden lämmönsietokykyjensä perusteella psykoofiilisiin (< 20 °C), mesofiilisiin (20 - 40 °C) ja termofiilisiin mikrobeihin (> 40 °C). Näistä mesofiiliset ja termofiiliset mikrobit ovat oleellisimpia hajotustoimintaa ajatellen. Mikrobikantojen lisäksi myös kompostointiprosessi voidaan jaotella lämpötilan ja sen muutosten mukaisiin vaiheisiin. Nämä vaiheet ovat mesofiilinen vaihe, termofiilinen vaihe, jäähtymisvaihe ja kypsymisvaihe. Mesofiilinen, termofiilinen ja jäähtymisvaihe etenevät melko nopeaa tahtia, esimerkiksi aumakompostoinnissa viikkojen aikana ja koneellisesti tapahtuvassa kompostoinnissa jopa päivien aikana. (Tontti ja Mäkelä-Kurtto 1999, 15 - 16.) Kuvassa 1 on kuvattu kompostoinnin eri vaiheet ja niiden aiheuttamat muutokset kompostin lämpötilassa ja pH:ssa.



KUVA 1. Kompostointiprosessin vaiheet ja muutokset lämpötilassa ja pH:ssa (Halinen ja Tontti 2004, 13).

Kompostointiprosessin lähtiessä käyntiin alkaa mesofiilinen vaihe eli lämpenemisvaihe. Tässä vaiheessa tapahtuu helpoimmin hajoavan orgaanisen aineksen hajoamista, joita ovat esimerkiksi soke-rit ja tärkkelys. Hajottajina toimivat bakteerit ja sädesienet. Mesofiilisen vaiheen aikana kasvavan mikrobitoiminnan seurauksena kompostin lämpötila nousee 40 °C:n tienoille ja lisäksi syntyy mm.

orgaanisia happoja, jotka saavat kompostin pH:n laskemaan. (Halinen ja Tontti 2004, 12; Suomen ympäristöopas 2016.)

Kompostoituminen on tehokkainta 35 - 50 °C:n välillä. Termofiilinvaihe nostaa kompostin lämpötilan reilusti yli 40 °C:seen ja termofiilisiin olosuhteisiin sopeutuneet mikrobit alkavat hajottamaan mm. proteiineja. Proteiinien hajotessa syntyy ammoniakkia, jonka seurauksena kompostin pH kohoaa. Tämän vaiheen aikana hajoavat myös hankalammin hajoavat selluloosayhdisteet ja korkean lämpötilan ansiosta patogeenit tuhoutuvat eli kompostista tulee hygieeninen. Kompostin hygieenisuus edellyttää, että siinä ei esiinny ihmisille, eläimille tai kasveille patogeenisiä organismeja siinä määrin, että kompostin käsittelystä tai käytöstä aiheutuisi riskejä. (Tontti ja Mäkelä-Kurtto 1999, 18; Halinen ja Tontti 2004, 12 - 14.)

Lopulta kompostointiprosessin edetessä biohajoavien yhdisteiden määrä pienenee, jolloin myös hajoaminen hidastuu ja tämän seurauksena lämmöntuotto alkaa laskea. Tämä tarkoittaa sitä, että mikrobit ovat hyödyntäneet kaiken helpoimmin hajoavan orgaanisen aineksen ja jäähtymisvaihe on alkanut eli komposti alkaa stabiloitua. Kompostin pH alkaa myös hiljalleen laskea lähelle neutraalia ammoniakkin vapauduttua. (Tontti ja Mäkelä-Kurtto 1999, 18; Halinen ja Tontti 2004, 12.)

Jäähtymisvaiheessa kompostissa on jäljellä hitaasti hajoavia hiilipitoisia kuituaineita, kuten ligniiniä. Koska puuaines hajoaa hitaasti, se erottuu kompostimassasta pitkään. (Tuominen 2008, 65.) Jäähtymisvaihetta seuraa viimeinen vaihe eli kypsymisvaihe, joka voi kestää useita kuukausia. Kompostissa on enää vain erittäin hitaasti hajoavia orgaanisia aineksia. Tässä vaiheessa kompostin lämpötila on useimmiten sama kuin ympäristön lämpötila. Kypsymisvaiheessa muodostuu humusaineita ja lopputuotteena saadaan lopulta kypsää kompostia jota voidaan käyttää mm. maanparannusaineena. (Tontti ja Mäkelä-Kurtto 1999, 18; Halinen ja Tontti 2004, 12 - 13.)

## 2.2 Aumakompostointi

Aumakompostointi on yksinkertainen ja edullinen kompostointimenetelmä, jossa kompostoitava materiaali kootaan pitkiin kasoihin tarkoitukseen soveltuvalla alustalle, esimerkiksi asfaltoidulle kentälle. Kompostointiprosessin vaatima riittävä ilman määrä aumoissa varmistetaan koneellisesti kääntämällä tai joissain tapauksissa erillisten ilmastusputkien avulla. Aumakompostointiin liittyviä haasteita voivat olla esimerkiksi suuri tilantarve ja pitkä kypsymisaika. Lisäksi kompostoitumiselle sopivien olosuhteiden, kuten sopivan kosteuspitoisuuden ja riittävän hapen määrän, ylläpitäminen voi olla hankalaa. Jos olosuhteet eivät ole otolliset, voi auma tällöin kompostoitua epätasaisesti. (Lohiniva ym. 2001, 90). Esimerkiksi korkea kosteuspitoisuus voi aiheuttaa aumassa liiallista tiivistymistä ja hapettomia kohtia. Tämän vuoksi auman kompostoitumista on tärkeä seurata esimerkiksi lämpötilan seurannan avulla.

### 3 KOMPOSTITUOTTEEN LAATU JA LOPPUKÄYTTÖ

#### 3.1 Lainsäädäntö

Lannoitevalmisteiden valmistukseen, hyödyntämiseen ja loppukäyttöön vaikuttavat monet lait ja asetukset, joiden tarkoituksena on turvata lannoitevalmisteiden hyvä laatu ja turvallisuus. Suomessa lannoitevalmisteita valvoo Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Metsäteollisuuden sivuvirtoja koskevat lannoitelainsäädännön lisäksi mm. myös jätelainsäädäntö. (Matilainen ym. 2014, 6 - 7.) Metsäteollisuuden sivuvirtoja koskevasta lannoitelainsäädännöstä käydään tässä työssä pääpiirteittäin läpi seuraavat:

- Lannoitevalmistelaki 539/2006 (muutos 1498/2009, muutos 340/2010)
- MMM asetus lannoitevalmisteista 24/11 (muutos 12/12, muutos 7/13) ja
- MMM asetus lannoitevalmisteita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta 11/12 (muutos 22/15).

##### 3.1.1 Lannoitevalmistelaki

Kompostituotteet ovat lannoitevalmistelain (539/2006) määrittelemiä lannoitevalmisteita. Laki säätelee lannoitevalmisteiden laatuun liittyvistä vaatimuksista, joiden on täyttyvä mm. niiden valmistuksessa, tuonnissa ja viennissä. Lannoitevalmistelaki edellyttää, että Suomessa markkinoille saatettavat lannoitevalmisteet ovat turvallisia, laadultaan hyviä ja sopivia tarkoitettuun käyttöön eli ne eivät saa sisältää haitallisia tai vaarallisia aineita tai eliöitä siinä määrin, että niiden ohjeen mukainen käyttö aiheuttaisi haittaa ihmisille, eläimille tai ympäröivälle luonnolle. Laki pyrkii myös edistämään lannoitevalmisteiksi soveltuvien sivutuotteiden hyödyntämistä. (Matilainen ym. 2014, 7.)

Lannoitevalmisteiden on kuuluttava kansalliseen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluetteloon tai EY -asetuksen mukaiseen lannoitetyyppien luetteloon. Toiminnanharjoittajien on tehtävä omavalvontaa, jonka perusteella viranomaisen, eli Eviran, suorittaa omaa valvontaansa. Laitoksella, joka valmistaa orgaanisia lannoitevalmisteita tai niiden raaka-aineita, on oltava laitoshyväksyntä. (Matilainen ym. 2014, 7.)

##### 3.1.2 MMM:n asetus lannoitevalmisteista

Maa- ja metsätalousministeriön asetuslannoitevalmisteista (24/11) säätelee lannoitevalmisteiden tyypeistä ja tyyppinimiryhmistä sekä niiden vaatimuksista. Lannoitevalmisteisiin kuuluvia lannoitevalmistetyyppinimiryhmiä ovat Lannoitteet, Kalkitusaineet, Maanparannusaineet, Kasvualustat ja Mikro-bivalmisteet. (Maa- ja metsätalousministeriö 2016; Matilainen ym. 2014, 7.) Esimerkiksi maanparannuskompostin tyyppinimiryhmä on Maanparannusaineet, jossa se kuuluu alaryhmään nimeltä Orgaaniset maanparannusaineet (Evira 2016).

Lannoitevalmisteen tyyppinimen on oltava kansallisessa tyyppinimiluettelossa tai vastaavasti EY-asetuksen mukaisessa lannoitetyyppien luettelossa. Tämä on edellytys sille, että lannoitevalmistetta on esimerkiksi lupa viedä markkinoille tai tuoda maahan. Tyyppinimiluettelossa on jokaisen tyyppinimen kohdalla tietoa mm. lannoitteen ominaisuuksista, lannoitteen sisältämistä ravinteista ja lannoitetta koskevista rajoitteista. Tarvittaessa Eviralta pystyy hakemaan myös uutta tyyppinimeä, jos lannoitevalmisteele ei löydy olemassa olevaa tyyppinimeä edellä mainituista luetteloista. (Evara 2016.)

Maa- ja metsätalousministeriön asetuksessa (24/11) on lisäksi ilmoitettu raja-arvot lannoitevalmisteeissa sallituille haitallisille aineille, eliöille ja epäpuhtauksille. Nämä raja-arvot koskevat mm. haitalliseksi luokiteltujen metallien ja patogeenisten mikrobien enimmäismäärää. (Matilainen ym. 2014, 9.)

### 3.1.3 MMM:n asetus lannoitevalmisteeita koskevan toiminnan harjoittamisesta ja sen valvonnasta

Toiminnanharjoittajalla on vastuu mm. laadunvalvonnasta, tuotteiden turvallisuudesta sekä ilmoitettujen tietojen luotettavuudesta. Näitä seikkoja valvotaan omavalvonnan kautta. Lannoitevalmisteen ostajan on saatava tuotteen mukana säädösten mukainen tuoteseloste. Tuoteselosteessa ilmoitetaan mm. valmistajan tiedot, tyyppinimi, kauppanimi, lannoitteen raaka-aineet ja muita valmisteen ominaisuuksia. (Matilainen ym. 2014, 9 - 10.)

Lannoitetuotteen valmistajalla on vastuu tuotteensa laadusta. Kuitenkin, jos tuote menee jatkojalostukseen, siirtyy vastuu jatkojalostajalle. Alkuperäisen tuottajan vastuu ilmoittamistaan tiedoista jatkojalostajalle ei kuitenkaan poistu. Myös lannoitteen käyttäjällä on omat vastuunsa – valmistetta on käytettävä niin kuin tuoteselosteessa on ohjeistettu. Kuitenkin, jos lannoitevalmistetta on käytetty oikealla tavalla ja siitä aiheutuu silti haittaa, on vastuu silloin tuottajalla. (Matilainen ym. 2014, 10.)

## 3.2 Loppukäyttö

Suomessa kompostituotteita käytetään kaatopaikkojen maisemoinnissa, maataloudessa, viherrakentamisessa, puutarhoissa ja öljyn vuoksi pilaantuneen maan kompostoinnissa. Kompostituote voi olla käsittelemätön tai esimerkiksi seulottu. Komposti voidaan myös sekoittaa yhteen jonkin toisen materiaalin kanssa. Kompostituotteet voivat olla esimerkiksi lannoitteita tai maanparannusaineita, joiden avulla pystytään lisäämään maaperään ravinteita ja orgaanista ainesta siten, että sillä on suotuisa vaikutus kasvien kasvuun tai esimerkiksi sadon laatuun. Lisäksi kompostia voidaan käyttää kasvualustana, joka on rakenteeltaan kiinteä teknisesti käsitelty kasvupohja kasveille. (Halinen ja Tontti 2004, 15.)

Käytettävän kompostituotteen kypsyyssaste on vahvasti riippuvainen käyttötarkoituksesta, sillä esimerkiksi peltoviljelyssä pystytään käyttämään jopa kypsymätöntäkin kompostia ilman haittavaikutuksia, kun taas kasvualustana käytettäessä kompostin täytyy olla stabiilia. Kuitenkin, jos raakaa

kompostia käytetään peltoviljelyssä, on pidettävä huolta kompostin levittämisestä pellolle tarpeeksi ajoissa ennen kylvöaikaa. Tällöin varmistetaan fytotoksisten yhdisteiden hajoaminen. Jos tarkoituksena on nostaa maan orgaanisen aineksen määrää, on viisainta käyttää kypsää kompostia. Orgaanisen aineksen määrä vaikuttaa omalta osaltaan kompostin arvoon maanparannusaineena, joten kompostoinnissa on otettava huomioon, ettei stabiloituminen etene niin pitkälle, että orgaanisen aineksen määrä vähenee turhaan liian paljon. (Tontti ja Mäkelä-Kurtto 1999, 33.)

Maanviljelyssä kompostituotteita on käytetty etupäässä maanparannusaineina, jotta saadaan kohennettua maan ominaisuuksia suotuisimmiksi ja samalla lisätään mikrobitoimintaa. Kompostituotteiden avulla voidaan saada parempaa viljelysmaata mm. niiden sisältämien eloperäisten aineksien vuoksi, sillä niillä pystytään kompensoimaan sadon mukana menetettyä orgaanista ainesta. Maaperässä syntyy humusta, kun kompostituotteen hitaasti hajoavat orgaaniset ainekset hajoavat. Tällä muodostuvalla humuksella on positiivinen vaikutus mm. maaperän kationinvaihtokapasiteettiin, puskurikykyyn ja pieneliöiden toimintaan. Kompostituotteilla on tyypillisesti suuret ravinnepitoisuudet, mutta suorat ravinnevaikutukset ovat kuitenkin tavallisesti pieniä ravinteiden hitaan vapautumisen vuoksi. Kompostituotteiden maata parantavat vaikutukset ovat kuitenkin erilaisia ja tähän vaikuttaa pitkälti mm. kompostoitava materiaali. (Halinen ja Tontti 2004, 15.)

## 4 KOMPOSTIN KYPSYYS JA STABIILISUUS

### 4.1 Stabiili komposti

Puhuttaessa kompostoinnista, stabiilisuus kertoo siitä, että helposti hajoavien orgaanisten aineiden hajoaminen on edennyt tietylle asteelle. Tämä tarkoittaa sitä, että hajoaminen on edennyt jo pitkälle ja mikrobiologinen aktiivisuus on vähentynyt, eli hiilidioksidintuotto ja hapenkulutus ovat merkittävästi hiipuneet. Tämän vuoksi stabiilisuuden arviointi nojaa etupäässä menetelmiin, joilla saadaan tietoa kompostin mikrobitoiminnasta, kuten esimerkiksi hiilidioksidin tuotto ja lämmön tuotto. (Halinen ja Tontti 2004, 17; Itävaara, Vikman, Kapanen, Venelampi ja Vuorinen 2006, 8.)

Kompostimassan stabiloituminen tapahtuu, koska kompostointiprosessin edetessä mikrobeille ei lopulta enää ole tarjolla helposti hajoavaa orgaanista ainesta. Stabiilissa kompostissa mikrobitoiminta ei kuitenkaan lakkaa kokonaan, vaan orgaaninen aineksen hajoaminen jatkuu edelleen ja muuttuu toisenlaiseen muotoon. Tämä muutos tosin tapahtuu hyvin hitaasti. Stabiloitunut komposti ei enää tarvitse jatkuvaa huolehtimista aerobisista olosuhteista, koska tässä vaiheessa hapen määrä on vakiintunut. Tällöin kompostin ilmastus tai kääntäminen ei enää ratkaisevasti lisää mikrobitoimintaa, eikä esimerkiksi kompostin varastoiminen suurina massoina enää aiheuta anaerobisia olosuhteita hapenpuutteen vuoksi. (Halinen ja Tontti 2004, 17 - 18.)

### 4.2 Kypsä komposti

Kompostin stabiilisuus yhdistetään lähinnä mikrobien aktiivisuuteen ja orgaanisen aineksen hajoamiseen, mutta kypsä komposti on stabiilisuuden lisäksi myös soveltuvaa viljelyyn. Kypsä komposti ei siis saa sisältää fytotoksisia yhdisteitä siinä määrin, että niistä olisi haittaa kasvien kasvulle. Muun muassa korkea hajoamisaste onkin olennainen tekijä kompostin käyttöä ajatellen, sillä se takaa myös sen, että fytotoksiset yhdisteet ovat ehtineet hajoamaan kompostista. Kypsästä kompostista ei juuri voi enää visuaalisesti tunnistaa alkuperäisiä materiaaleja, vaan se on tummanruskeaa tai mustaa ja haju on lähellä mullan hajua. (Halinen ja Tontti 2004, 18.)

Kypsässä kompostissa fytotoksisiayhdisteitä on niin vähän, että ne eivät tuota ongelmia siementen peltoviljelyssä. Hyvin kypsyneenä voidaan pitää sellaista kompostia, joka ei aiheuta fytotoksisten yhdisteiden vuoksi haittaa herkempienkään kasvien kasvulle. Lisäksi hyvin kypsyneessä kompostissa on korkea humuspitoisuus sekä ihanteelliselle tasolle asettuneet fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet, kuten esimerkiksi vedenpidätyskyky. Kypsän kompostin sisältämät ravinteet vapautuvat kasvien käytettäväksi vähitellen niukkaliukoisuutensa vuoksi ja näin ollen kompostin suora ravinnevaikutus on yleensä vähäinen. (Halinen ja Tontti 2004, 18 - 19.)

### 4.3 Raan kompostin haitat

Raalla kompostilla ei ole kovinkaan myönteisiä vaikutuksia maaperälle tai kasveille. Tämän vuoksi kompostin kypsyys on tärkeä seikka etenkin esimerkiksi, jos kompostia lisätään pellolle liian lähellä ajankohtaa, jolloin siemenet on tarkoitus kylvää. Jos maaperään lisättäisiin heikosti stabiloitunutta kompostia, mikrobien tekemää orgaanisen aineksen hajottamista tapahtuisi edelleen. Tämä johtaa siihen, että kompostin hiiltä hajottavat mikrobit ottaisivat tarvitsemansa typen maaperästä, joka puolestaan voi aiheuttaa kasveille typenpuutetta. Raassa kompostissa on siis ominaista korkea C/N -suhde eli suhteessa typpeen hiiltä on enemmän. (Halinen ja Tontti 2004, 19.)

Maaperään levitetty raaka komposti lisää mikrobimäärää ja tämän vuoksi myös mahdolliset haitalliset mikrobit saattavat lisääntyä. Tämä lisääntynyt mikrobien aktiivisuus kuluttaa maaperästä happea ja mahdollinen hapenpuute voi olla haitaksi mm. kasvien juurten kehitykselle. Vähähappiset tai happettomat pelkistävät olosuhteet lisäävät myös monien metallien liukoisuutta, jolloin kasvit ovat niille entistä enemmän alttiita, sillä etenkin raskasmetallit voivat aiheuttaa kasveille vaurioita. Raassa kompostissa voi olla myös monia mikrobitoiminnan välituotteena syntyviä fytotoksisia eli kasveille myrkyllisiä yhdisteitä (esim. ammoniakki), jotka aiheuttavat häiriöitä kasvin itämiselle, kasvulle ja juuristolle. Lisäksi raaka komposti voi aiheuttaa mm. hajuhaittoja tai ravinteiden huuhtoutumista. (Halinen ja Tontti 2004, 19.)

### 4.4 Kompostin kypsyyden arvioiminen

Kompostissa orgaanisen aineksen hajotessa tapahtuu monia kemiallisia ja fysikaalisia reaktioita, joita tarkastelemalla voidaan saada käsitys kompostointiprosessista ja sen eri vaiheista. Kompostin kypyyttä on kuitenkin hankala arvioida pelkästään yhden menetelmän perusteella, joten onkin hyvä toteuttaa useampia testejä ja/tai analyysyjä, jolloin tulokset tukevat toisiaan ja saadaan kokonaisvaltaisempi kuva kompostoitumisen vaiheesta. Kypsyystestien avulla saadaan viitteitä siitä miten pitkälle komposti on hajonnut tai toisin sanoen stabiloitunut. Lisäksi testien perusteella saadaan tietoa mahdollisista kompostin mikrobien aineenvaihdunnan seurauksena syntyvistä fytotoksisista yhdisteistä. (Itävaara ym. 2006, 3 ja 7 - 8.)

Kompostin kypsyyden arvioinnilla on tarkoitus varmistua kompostin laadusta loppukäyttöä varten. Kompostin kypsyyden arviointi parantaa myös kompostointiprosessin hallintaa ja seurantaa sekä lisää kompostointilaitosten toimivuutta. Lainsäädäntö vaatii omavalvonta- ja laadunarviointimenetelmiä, joten myös tämän kannalta kompostin kypsyyden arvioimiseen on tärkeää löytää luotettava menetelmä. Vaikka kompostin kypsyyden määrittämistä ja kypsän kompostin laatua on tutkittu jo pitkään, kypsyyden määrittämiselle ei kuitenkaan ole pystytty osoittamaan yleispätevää menetelmää. Tähän vaikuttavat kompostoitavien materiaalien erilaisuus ja mahdolliset kompostiin lisätyt erilaiset tuki- ja lisäaineet. (Halinen ja Tontti 2004, 19 - 20.)

Kompostin kypsyyden arviointimenetelmien tärkeimpiä ominaisuuksia ovat toistettavuus, tarkkuus ja herkkyyys. Myös taloudellisuus ja helppokäyttöisyys ovat oleellisia tekijöitä. Hyvä menetelmä kuvaa kompostoitumisprosessia onnistuneesti ja mitattavat suureet muuttuvat tunnettua kaavaa mukaillen.



Kompostin stabiilisuutta ja kypsyyttä arvioitaessa käytetyt menetelmät voidaan jakaa fysikaalisiin, kemiallisiin, spektroskooppisiin, biokemiallisiin ja biologisiin menetelmiin. Edellä mainituilla menetelmillä on tutkimustulosten perusteella saatu melko luotettavaa informaatiota kompostoitumisprosessista ja kompostin kypsyydestä. Jossain määrin kompostin kypsyyttä voidaan myös arvioida visuaalisesti ja aistien avulla, mutta tähän ei kannata luottaa kaikissa tapauksissa, koska se voi olla hyvin epätarkkaa. (Halinen ja Tontti 2004, 20.)

#### 4.5 Kompostin kypsyystestit ja perusanalyysit

Tässä kappaleessa on yleisesti esitelty muutamia kompostointiprosessin vaiheiden seurannassa sekä kompostin kypsyiden ja stabiilisuuden arvioinnissa käytettyjä kypsyystestejä ja perusanalyyseja. Vaikka monet kompostin kypsyystestit ovat yksinkertaisia toteuttaa, edellyttää niiden tulosten analysointi kompostointiprosessin vaiheiden ymmärtämistä. Näiden testien avulla saadaan tietoa siitä, missä vaiheessa kompostin hajoaminen on.

##### 4.5.1 Rottegrad

Rottegrad-testissä kompostin kypsyiden arviointi perustuu kompostimassan omaan lämmöntuottoon. Testi toteutetaan laittamalla kompostinäyte lämpöeristettyyn astiaan, jolloin voidaan seurata kompostin mahdollista lämpötilan nousua mikrobitoiminnan vaikutuksesta. Ennen testin aloittamista kompostin kosteuspitoisuus täytyy säätää sopivaksi esimerkiksi yksinkertaisen nyrkkitestin avulla. Testin aikana astian lämpötilaa seurataan yhteensä 10 vuorokauden ajan, jonka jälkeen kompostit jaetaan kypsyysluokkiin havaittujen maksimilämpötilojen mukaisesti. Rottegrad-testinmukaiset luokat ovat seuraavanlaiset:

- yli 60 °C = luokka I
- 50 - 60 °C = luokka II
- 40 - 50 °C = luokka III
- 30 - 40 °C = luokka IV
- 20 - 30 °C = luokka V.

Tässä luokituksessa I tarkoittaa raakaa jätettä, luokat II ja III tarkoittavat tuoretta kompostia ja luokat IV ja V tarkoittavat valmista kompostia. (Itävaara ym. 2006, 28.)

##### 4.5.2 Solvita

Solvita Compost Maturity Test (Woods End® Research Laboratory, Inc.) on kaupallinen kompostin kypsyystesti. Testissä kompostin kypsyyttä arvioidaan hiilidioksidin tuoton ja ammoniakkin toteamisen perusteella pakkauksen mukana tulevien liuskojen värireaktion avulla. Testikitti sisältää 6 kpl kannellisia näytepurkkeja ja 6 kpl sekä CO<sub>2</sub>-että NH<sub>3</sub>-liuskoja. Testin suoritus on yksinkertainen – purkit täytetään halutulla kompostinäytteellä ja CO<sub>2</sub>- ja NH<sub>3</sub>-liuskat asetetaan näytteeseen ja astian kansi

suljetaan huolellisesti. Näytteet on pidettävä huoneenlämmössä ja poissa suorasta auringonvalosta. Tulokset luetaan liuskoista vertaamalla niitä testikitin mukana tulleeseen värikarttaan. CO<sub>2</sub> -liuskan skaala on 1 - 8 ja NH<sub>3</sub> -liuskan skaala on 1 - 5. Testi ilmoittaa tuloksena kypsyyssindeksin väliltä 1 - 8. Arvot 1 ja 2 tarkoittavat raakaa kompostia, arvot 3 - 6 aktiivista kompostia ja arvot 7 ja 8 valmista kompostia. (Itävaara ym. 2006, 29.) Liuskojen tulosten perusteella kompostin kypsyyssaste luetaan taulukosta 1.

TAULUKKO 1. Solvita-testin tulosten tulkintataulukko

		CO <sub>2</sub> -liuskan tulos							
NH <sub>3</sub> -liuskantulos		1	2	3	4	5	6	7	8
	5	1	2	3	4	5	6	7	8
	4	1	2	3	4	5	6	7	8
	3	1	1	2	3	4	5	6	7
	2	1	1	1	2	3	4	5	6
	1	1	1	1	1	1	2	3	4

#### 4.5.3 Kasvitesti

Kompostin välituotteena voi muodostua fytotoksisia yhdisteitä, jotka aiheuttavat kasvien kasvun häiriöitä eli komposti on tällöin fytotoksinen. Kompostin kypsyyttä arvioitaessa voidaan fytotoksisuuden selvittämiseksi tehdä kasvitesti, jossa tutkitaan kompostin vaikutusta kasvien itämiseen, kasvuun ja niiden juuriin. Testissä kasvin siemeniä kylvetään tutkittavan kompostin ja taustakontrollina käytettävän mullan seokseen ja lisäksi vertailun vuoksi pelkkään taustakontrollimultaan. Taustakontrollina käytettävän mullan pH:n tulisi olla noin 6 ja sen tulisi olla kalkittua tai kalkittua ja lannoitettua. Kasvien kasvua seurataan kylvöstä eteenpäin kahden viikon ajan, jonka jälkeen lasketaan taimet ja määritetään niiden tuore- ja kuivapainot. Jos kasveissa havaitaan visuaalisesti erilaisuuksia, kirjataan myös nämä ylös. (Itävaara ym. 2006, 31 - 33.)

Fytotoksisuustestejä voi olla hankala analysoida yksittäisten kasvilajien erilaisista herkkyyksistä johtuen, koska esimerkiksi liian herkällä kasvilla tehty testi voi antaa fytotoksisuuteen viittaavia merkkejä, vaikka oikeissa käyttöolosuhteissa tätä ei havaittaisi ollenkaan. Tästä johtuen esimerkiksi OECD:n *Terrestrial Plants, Growth Test, Guideline 208* -standarditesti suosittelee kasvitestissä käytettävän useampaa kasvilajia eri kasviryhmistä varmempien tulosten saavuttamiseksi. (Itävaara ym. 2006, 13 ja 31.) Taulukossa 2 on esitelty OECD:n kasvikoekseen suosittelemat kasvilajit.

TAULUKKO 2. OECD:n suosittelemat kasvit kasvikokeeseen (Itävaara ym. 2006, 32)

Kasviryhmä	Laji	
1	rairuoho	<i>Lolium perenne</i>
	riisi	<i>Oryza sativa</i>
	kaura	<i>Avena sativa</i>
	vehnä	<i>Triticum aestivum</i>
	durra	<i>Sorghum bicolor</i>
2	sinappi	<i>Brassica alba</i>
	rapsi	<i>Brassica napus</i>
	retiisi	<i>Raphanus sativus</i>
	nauris	<i>Brassica rapa</i>
	kiinankaali	<i>Brassica campestris var. Chinensis</i>
3	virna	<i>Vicia sativa</i>
	mungopapu	<i>Phaseolus aureus</i>
	puna-apila	<i>Trifolium pratense</i>
	sarviapila	<i>Trifolium ornithopodioides</i>
	lehtisalaatti	<i>Lactuca sativa</i>
	krassi	<i>Lepidium sativum</i>

#### 4.5.4 pH

pH on tärkeä parametri kompostoitumisprosessin edistymisen seuraamisessa. Kompostoinnin alussa mikrobit käyttävät hyödykseen helpoiten hyödynnettävissä olevat hiilen lähteet, jonka seurauksena syntyy orgaanisia happoja, joiden vaikutuksesta pH laskee. Tämän jälkeen hajoavat vuorostaan mm. proteiinit, jonka seurauksena vapautuu paljon ammoniumtyyppiä, joka vuorostaan nostaa pH:n rajusti. pH:ta nostattaa myös orgaanisten happojen hajoaminen. Prosessin jatkuessa kompostin pH jää välille 7 - 8. Kypsän kompostin pH on siis lähellä neutraalia. (Tontti ja Mäkelä-Kurtto 1999, 18.)

#### 4.5.5 Kosteus

Riittävä kosteus on yksi erittäin olennainen tekijä kompostin toimivuuden kannalta, sillä mikrobit eivät pysty toimimaan kuivissa oloissa. Kompostin ihanteellisen kosteuden voidaan sanoa olevan 50 - 70 %, sillä jo alle 40 %:n kosteuspitoisuus aiheuttaa haittaa mikrobien toiminnalle ja liiallinen yli 80 %:n kosteus taas puolestaan muuttaa prosessin mätänemiseksi hapenpuutteen vuoksi. Sopiva kosteuspitoisuus määräytyy pitkälti mm. kompostoitavan materiaalin ominaisuuksien, kuten vedenpidätyskyvyn perusteella. (Hovi 1999, 27.)

#### 4.5.6 Lämpötila

Kompostin lämpötilaan aiheutuu muutoksia mikrobitoinnin vaikutuksesta, ja sen seurannan avulla voidaan tarkkailla kompostoitumisen etenemistä. Jo prosessin alussa kasvava mikrobitoinninta nostaa lämpötilan hyvin pian jopa yli 50 °C:seen. Komposti siis kuumenee mikrobitoinnista lämpöenergiasta. Kompostin lämpötilan kehitykseen vaikuttavat etenkin sen kosteus ja tiiviys. Jos kompostin lämpötila ei lähdekään nousuun ensimmäisten päivien aikana, on syynä yleensä liian korkea kosteuspitoisuus. Eniten kompostissa tapahtuu lahoamista 30 - 45 °C:een lämpötilassa, mutta esimerkiksi ligniini tarvitsee yli 45 °C:n lämpötilan, jotta lahoaminen tapahtuisi paremmin. Taudinaiheuttajat tuhoutuvat kompostista 55 °C:ssa, jos lämpö pysyy yllä useamman päivän ajan. Kompostoinnin edetessä lämpötila laskee lähelle 20 °C:ta. (Hovi 1999, 22 - 31; Itävaara ym.2006, 7.)

#### 4.5.7 C/N-suhde

Kompostin optimaalinen C/N-suhde on 25 - 35:1. Tämä tarkoittaa sitä, että komposti sisältää hiiliyhdisteitä 25 - 35-kertaisesti enemmän verrattuna typpiyhdisteisiin. Jos kompostissa on liikaa typpeä suhteutettuna hiilen määrään eli C/N-suhde on liian pieni, haihtuu liika typpi ammoniakkinen ilmaan. Jos taas hiiltä on liikaa, mikrobit eivät saa käytettäväkseen tarpeeksi typpeä ja niiden aktiivisuus hiipuu. (Tontti ja Mäkelä-Kurtto 1999, 17; Tuominen 2008, 34 - 35.) Jos kompostin C/N-suhde on prosessin alussa ollut 30, voidaan valmiin kompostin C/N-suhdeluvuksi olettaa 10 -15. Tämä voidaan päätellä siitä, että noin kaksi kolmasosaa bakteerien käyttämästä hiilestä haihtuu pois hiilidioksidina kompostointiprosessin aikana. (Thompson 2008, 26.) Antti Hovin (1999, 27) mukaan kompostoitumisen edetessä C/N-suhde laskee suurin piirtein alueelle 15 - 20.

#### 4.5.8 Typpisuhde

Myös ammonium- ja nitraattityypen suhteella voidaan osoittaa kompostin kypsyttä. Ammoniumtyppeä esiintyy kompostointiprosessin alussa ja vähitellen prosessin edetessä se vähenee haihtumisen ja nitrifikaation vaikutuksesta. Tämän perusteella voidaan todeta, että kompostin stabiloitumista indikoi nitraatin lisääntyminen ja ammoniumtypen väheneminen. Ammoniakin esiintyminen siis kertoo kompostoinnin olevan kesken tai jopa hapettomassa tilassa. Voidaan sanoa, että kypsässä kompostissa on etupäässä nitraattityppeä ja vain hyvin pieni määrä ammoniumtyppeä. (Tontti ja Mäkelä-Kurtto 1999,32.) Kun typpisuhde eli ammoniumtypen suhde nitraattityppeen on välillä 0,5 - 1,0, voidaan kompostin olettaa olevan kypsymisvaiheessa eli ns. tuorekompostia. Kun arvo on >1, komposti on kypsää. (Itävaara ym. 2006, 24.)

## 5 KOEJÄRJESTELYT JA NIIDEN TOTEUTUS

### 5.1 Kompostin kypsyysden arviointi eri menetelmin

Opinnäytetyössä tutkittavat kompostinäytteet haettiin Ekokemin Sorsasalon pisteeltä maaliskuussa 2016. Näytteenoton suoritti Ekokem-Palvelu Oy:n työntekijä ja näytteitä otettiin yhteensä neljässä eri aumassa kypsyneestä kompostista. Näytteeksi valittujen kompostien iät olivat n. 15 kk (auma 6), n. 9 kk (auma 5) ja n. 8 kk (aumat 2 ja 4). Kutakin näytettä otettiin useampaan 10 l:n sankoon. Näytteet haettiin oletettua aikaisemmin, koska osaa aumoista oltiin jo siirtämässä pois. Tästä johtuen näytteitä jouduttiin säilyttämään kylmiössä suunniteltua kauemmin ennen testien suorittamista.

Tässä työssä tehdyt kompostin kypsyyttä ja stabiilisuutta kuvaavatestit olivat kasvitesti, Solvita-testi, Rottegrad-testi, CO<sub>2</sub>-tuottokoe, typpisuhde, C/N-suhde ja lisäksi määritettiin kompostien kosteus, pH, johtokyky ja kuiva-ainepitoisuus.

#### 5.1.1 pH, johtokyky ja kosteus

Tässä työssä pH:n ja johtokyvyn mittaaminen perustui Itävaaran ym. (2006, 22) laatimiin VTT:n menetelmäohjeisiin. Mittausta varten kompostinäytteistä valmistettiin vesiliuos, joka tehtiin uuttamalla kompostia ja ionivaihdettuavettä tilavuussuhteessa 1 + 5. Tässä tapauksessa 25 ml kompostia ja 125 ml vettä. Ionivaihdetun veden johtokyky oli noin 4 µS/cm. Kompostinäyte ja ionivaihdettuvesi mitattiin Erlenmeyer-kolviin ja laitettiin ravistelijaan (New Brunswick Scientific Innova® 40 Incubator Shaker Series) tunnin ajaksi. Ravistelun jälkeen vesiliuos erotettiin näytteestä sentrifugoimalla (Thermo Scientific SL 16R Centrifuge) uuttoseosta 20 minuutin ajan. Tämän jälkeen vesiliuoksesta mitattiin näytteiden pH ja johtokyky Hach HQ 40d multi -mittalaitteella. Käytetty pH:n mitta-elektrodi oli Hach Intelli CAL™ pH pHC101 ja johtokyvyn mitta-elektrodi Hach CDC401. Näytteiden kosteuspitoisuudet määritettiin tässä työssä VWR Moisture Analyzer MB 160 -pika-analysaattorilla. Lisäksi kosteuspitoisuudet laskettiin määritettyjen kuiva-ainepitoisuuksien avulla.

#### 5.1.2 Kuiva-aine ja hehkutusjäännös

Määrytykset suoritettiin standardin SFS 3008 mukaisesti. Määrytyksissä käytettiin vakiopainoon saatettuja upokkaita (2h/550 °C). Aluksi upokkaat punnittiin ilman näytteitä ja sitten näytteiden kanssa. Seuraavaksi näytteitä kuivattiin Carbolite -merkkisessä lämpökaapissa noin 20 tuntia 105 °C:ssa. Tämän jälkeen näytteet jäähdytettiin eksikaattorissa ja punnittiin. Koska tarkoituksena oli määrittää myös hehkutusjäännös, kuivattuja näytteitä hehkutettiin vielä Memmert-merkkisessä hehkutusuunissa 550 °C:ssa kahden tunnin ajan, jonka jälkeen näytteet jäähdytettiin jälleen eksikaattorissa ja punnittiin. Standardin SFS 3008 mukaisten kuiva-ainemääritysten lisäksi näytteiden kuiva-aine määritettiin VWR Moisture Analyzer MB 160 -pika-analysaattorilla.

### 5.2.1 Typpisuhde

Typpisuhteen määrittämistä varten kompostinäytteistä valmistettiin vesiliuos uuttamalla kompostia ionivaihdetulla vedellä vastaavasti kuin pH:n ja johtokyvyn määrittämisessä (25 ml kompostia ja 125 ml vettä). Nitraatin ja ammoniumtyypen määrittämisä tehtiin HACH DR 2800 spektrometrillä. Nitraatin määrittämiset tehtiin HACH 8171 ja 8039 menetelmien mukaisesti ja ammoniumtyypen määrittämiset tehtiin HACH 8038 menetelmän mukaisesti. Ammoniumtyyppiä määrittäessä näytteet laimennettiin 1:100.

### 5.2.2 Kasvitesti

Kasvitesti toteutettiin yhteensä kaksi kertaa, sillä ensimmäisen testin aikana huomattiin taustakontrollimullassa itämisen olevan alle 90 %, jonka vuoksi tuloksia ei voitu pitää luotettavina. Molemmat tehdyt kasvitestit tehtiin kolmelle eri näytteelle (auma 6/2014, auma 5/2015 ja auma 4/2015) ja lisäksi kasvien kasvua seurattiin myös taustakontrollimullassa. Koska kompostinäytteistä kaksi olivat saman ikäisiä, jätettiin näistä yksi komposti (2/2015) testien ulkopuolelle. Taustamultana käytettiin kalkittua ja lannoitettua multaa, jonka pH oli 6 ja johtokyky 18 mS/m. Käytetyt siemenet olivat retiisin (*Raphanus sativus*), krassin (*Lepidium sativum*) ja rairuohon (*Lolium perenne*) siemeniä. Kaikkien siementen itävyydeksi oli ilmoitettu yli 90 %. Siemenet valittiin OECD:n kasvitestiin suosittelemista kasvilajeista kolmesta eri kasviryhmästä, jotka on esitelty edellisessä kappaleen kohdassa 4.5.3 Kasvitesti taulukossa 2. Kaikille näytteille ja taustakontrollimullalle tehtiin kullekin eri kasville kolme rinnakkaista ruukkuu.

Ennen siementen kylvämistä kutakin näytettä sekoitettiin molempien testien kohdalla taustakontrollimullan kanssa tilavuussuhteessa 1:1 ja seoksista määritettiin johtokyky. Siementen kylväminen suoritettiin seuraavana päivänä näyteseosten tekemisestä. Ensimmäisen testin aikana retiisin siemeniä kylvettiin kuhunkin ruukkuun noin 40 kpl, krassin siemeniä noin 100 kpl ja rairuohon siemeniä noin 60 kpl. Toisen testin aikana siementen määrää päätettiin vähentää, joten retiisin siemeniä kylvettiin 30 kpl, krassin siemeniä 50 kpl ja rairuohon siemeniä 40 kpl.

Siemenet kylvettiin ruukkuihin mahdollisimman tasaisin välein ja kasteltiin ionivaihdetulla vedellä. Tässä tapauksessa kasteluun käytettiin ionivaihdettua vettä, koska taustakontrollimulta oli sekä kalkittua että lannoitettua. Itämisen ajaksi ruukut peitettiin muovikelmulla. Muovikelmun poistamisen jälkeen ruukkuja kasteltiin joka toinen päivä tai tarpeen mukaan. Taimien kasvatus suoritettiin huoneessa, jossa lämpötila pysyi koko testin ajan noin 20 °C:ssa. Ruukkujen sijoittelu oli sattumanvarainen, jotta minimoitaisiin ruukun sijainnin tai valon vaikutus kasvien kasvuun. Ruukkujen yläpuolelle asetettiin kasvilamput, jotta varmistettaisiin taimien riittävä ja oikeanlainen valonsaanti (kuva 2). Kasvilamput säteilevät sinistä ja punaista säteilyä kasveille sopivilla aallonpituuksilla. Lamput ajastettiin olemaan päällä 16 tuntia vuorokaudessa eli vuorokauden valoisien tuntien ajaksi. Taimien kasvua tarkasteltiin päivittäin.



KUVA 2. Sinistä ja punaista valoa säteilevät kasvilamput (Minna Vartiainen).

Ensimmäisen kasvitestin aikana huomattiin pian ongelmia itämisessä ja se päätettiin poikkeuksellisesti päättää jo 7 vuorokauden jälkeen siementen kylvämisestä. Ongelmien arvioitiin johtuvan siementen kylvämisestä liian syvälle ja siitä, että itämisvaiheessa muovikelmut olivat ruukkujen päällä tarvittavaa kauemmin viikonlopusta johtuen. Testin uusimisessa kiinnitettiin siis erityistä huomiota siementen kylvämiseen ja idättämiseen.

Toinen toteutettu kasvitesti onnistui ensimmäistä paremmin ja taimet laskettiin ensimmäisen kerran 7 vrk:n kodalla (kuva 3). Testi päätettiin ohjeiden mukaisesti, kun kylvöstä oli kulunut noin 14 vrk (kuva 4). Kustakin ruukusta taimet leikattiin irti läheltä mullan pintaa, jonka jälkeen taimien lopullinen lukumäärä laskettiin ja määritettiin niiden tuore- ja kuivapainot. Kuivapainon määrittämistä varten taimia pidettiin +70 °C:ssa vuorokauden ajan. Taimista havainnoitiin myös mahdollisia visuaalisesti ilmeneviä poikkeavuuksia ja tarkasteltiin juurten kehittymistä. Saatuja taustakontrollimullan ja näyteseoksien tuloksia verrattiin toisiinsa. Kullekin ruukulle määritettiin siementen itävyysprosentti ja kasvuindeksi. Kasvuindeksin laskemisessa käytettiin taimille määriteltyjä kuivapainoja.



KUVA 3. Viikon ikäiset taimet (Minna Vartiainen)



KUVA 4. Kahden viikon ikäiset taimet (Minna Vartiainen)

### 5.2.3 Rottegrad

Rottegrad-testi toteutettiin sovelletusti erillisillä termosastioilla. Testi toteutettiin alkuperäiseen verrattuna hieman pienemmässä mittakaavassa, sillä sitä varten hankittiin 6 kpl tilavuudeltaan 0,4 litran astiaa. Lämpötilan seuraamiseen käytettiin digitaalisia lämpömittareita. Lisäksi yksi erillinen lämpömittari asetettiin mittaamaan lämpötilaa astioiden ulkopuolelta. Testi toteutettiin kaikille neljälle näytteelle ja kullekin näytteelle tehtiin kolme rinnakkasita astiaa. Astiat täytettiin kompostilla ja lämpömittareiden anturit upotettiin astioiden alimpaan kolmannekseen. Tämän jälkeen lämpötilan kehitystä astioissa seurattiin 10 vuorokauden ajan.

Ensimmäisen kokeilun aikana huomattiin, että aurinko pääsi lämmittämään huoneen lämpötilaa aiheuttaen astioihin virheellistä lämpötilan vaihtelua. Testi toteutettiin uudelleen tasalämpöhuoneessa, jossa lämpötila pysyi tasaisena (n. 20 °C). Tällöin molempien näytteiden kohdalla yhteen astiaan lisättiin myös rei`ällinen kansi. Kansien vaikutusta haluttiin kokeilla testissä käytettyjen pienempien astioiden vuoksi, sillä ensimmäisen kokeen aikana oli havaittu pientä näytteen kuivumista astiassa.



Testistä haluttiin tehdä vielä kolmas variaatio, jossa kompostinäytteitä sekoitettiin lannoittamattomaan ja kalkitseemattomaan rahkaturpeeseen. Tällä haluttiin testata vaikuttaako toisen materiaalin lisääminen kompostinäytteiden mikrobiologiseen toimintaan niin, että se aiheuttaisi merkittävää lämpötilan nousua. Kompostinäytteiden kosteus oli myös melko korkea, eikä esimerkiksi kahden vuorokauden kuivattaminen huoneenlämmössä laskenut sitä merkittävästi, joten toisen kuivemman materiaalin sekoittaminen näytteisiin tasasi myös kosteuspiitoisuutta. Tälläkin kertaa yhdestä kompostinäytteestä tehtiin kolme rinnakkaista astiaa. Rahkaturvetta lisättiin yhteen rinnakkaiseen astiaan 25 %, yhteen 50 % ja yhteen 75 % astian tilavuudesta.

#### 5.2.4 Solvita

Solvita-testi sisälsi tarvikkeet kuuden testin suorittamista varten. Testi tehtiin kahdelle eri näytteelle, sillä tässäkin testissä haluttiin tehdä kunkin näytteen kohdalla kolme rinnakkaista testiä. Testiin valittiin kompostinäytteistä kaksi vanhinta kompostia (auma 6 ja auma 5).

Aluksi testikitin mukana tulleet näytepurkit täytettiin kompostinäytteillä ohjeiden mukaisesti purkin kyljessä näkyvään merkkiviivaan asti. Näytteiden annettiin tasaantua purkeissa ilman kantta noin tunnin ajan, ennen kuin varsinainen testi aloitettiin. Tämän jälkeen CO<sub>2</sub>- ja NH<sub>3</sub>-liuskat asetettiin purkkiin niin, että ne ylettyivät purkin pohjaan asti ja pysyivät tukevasti pystyssä kompostinäytteessä. Lopuksi purkkien kannet suljettiin huolellisesti (kuva 5). Tulokset luettiin liuskoista neljän tunnin kuluttua kansion sulkemisesta vertaamalla niitä testikitin mukana tulleeseen värikarttaan.



KUVA 5. Solvita-testi käynnissä (Minna Vartiainen)

### 5.2.5 CO<sub>2</sub>-tuottokoe

Hiilidioksidin tuottoa yritettiin selvittää suljetulla pullotestillä, jossa kompostinäytettä punnittiin 5 g 500 ml:n Schott-pulloihin. Tämän jälkeen pulloja inkuboitiin 24 tuntia, jonka jälkeen hiilidioksidin tuotto voitiin mitata. Ennen mittausta pullojen lämpötilan annettiin tasaantua huoneenlämmössä 30 minuutin ajan. Jokaisesta näytteestä tehtiin kolme rinnakkaista hiilidioksidin tuottotestiä. Testin toteutuksessa hyödynnettiin Itävaaran ym. (2006, 26) laatimia ohjeita.

Tämän testin suorittamiseen ei ollut käytettävissä täysin samanlaisia välineitä ja laitteita kuin alkuperäisessä Itävaaran ym. (2006, 25 - 26) laatiman ohjeen mukaisessa testissä, joten testiä jouduttiin hieman soveltamaan. Tässä testissä Schott-pullot suljettiin korkeilla, joissa oli venttiilit CO<sub>2</sub>-pitoisuuden mittausta varten (kuva 6). Mittaukset suoritettiin GA 2000PLUS-merkkisellä kaasuanalysaattorilla. Näytteet vaikuttivat silmämääräisesti ja nyrkkitestillä hieman liian kosteilta, joten testiä kokeiltiin myös vuorokauden ajan huoneenlämmössä kuivatetulla näytteellä. Koska testin toteuttaminen poikkesi alkuperäisestä, testi tehtiin yhdelle ylimääräiselle näytteelle tämän työn koejärjestelyjen lisäksi myös ulkopuolisessa laboratoriossa vertailutuloksen saamiseksi.



KUVA 6. CO<sub>2</sub>-tuottokokeen välineistöä (Minna Vartiainen)

### 5.2.6 C/N-suhde

C/N-suhdetta ei pystytty määrittämään kiinteästä materiaalista, joten näytteiden C/N-suhteen selvittämiseksi valmistettiin vesiliuos samalla tavalla kuin pH:n, johtokyvyn ja typpisuhteen määrittämistä varten eli kompostia ja ionivaihdettua vettä uutettiin tilavuussuhteessa 1+5 (25 ml + 125 ml). Sentrifugoinnin lisäksi näytteet suodatettiin 0,45 µm ruiskusuodattimella. Lopuksi valmiit vesiliuokset laimennettiin 1:100. Tämän jälkeen näytteet analysoitiin Analytikjena multi N/C 2100S -laitteella (kuva 7). Jokaisesta kompostista tehtiin kolme rinnakkaista näytettä.



KUVA 7. Analytikjena multi N/C 2100S (Minna Vartiainen)

### 5.3 Laboratorioanalyysit kompostointiprosessin aikana ja aumojen lämpötilan seuranta

Itsetehtyjen kokeiden ja testien lisäksi kompostien kypsyyden määrittämisen tukena käytettiin Ekokem-Palvelu Oy:n suoraan aumoista mitattujen lämpötilan seurannan tuloksia sekä laboratoriosta tilattujen kompostointiprosessin tarkkailuun liittyvien analyysipakettien tuloksia. Kustakin aumasta lämpötiloja oli seurattu noin kahden viikonvälein viidestä eri kohdasta aina kolmesta eri syvyydestä (200 mm, 500 mm ja 900 mm). Aumoista oli teetetty analyysijä aloitusnäytteistä, seurantanäytteistä ja valmiista tuorekomposti-nimikkeellä olevista tuotteista. Aloitusnäytteistä määritettiin pH, kosteus, orgaanisen aineksen määrä kuiva-aineesta ja haitallisten aineiden pitoisuuksia. Seurantanäytteistä määritettiin mm. hiilidioksidin tuotto, pH, kosteus, kuiva-aine sekä orgaaninen aines. Valmiista tuorekomposti -nimikkeellä olevista komposteistamääritettiin tuoteselostetta varten mm. juurenpi-tuusindeksi, kosteus ja orgaanisen aineksen määrä kuiva-aineesta.

## 6 TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

### 6.1 pH, johtokyky ja kosteus

Taulukosta 3 nähdään kompostinäytteille määritetyt pH- ja johtokykyarvot sekä VWR Moisture Analyzer MB 160 -pika-analysaattorilla määritetyt kosteuspitoisuudet. Kaikkien kompostinäytteiden pH on neutraali tai hieman emäksinen ja myös kypsän kompostin pH asettuu lopulta tälle alueelle. Johtokyky kertoo vesiliukoisten ravinteiden ja suolojen määrän. Johtokyvyn lisäksi käytetään usein suuretta johtoluku, joka kuvaa vesiliukoisten suolojen määrää. Johtoluku saadaan tässä tapauksessa jakamalla taulukossa 3 esitetyt yksikössä mS/m olevat johtokyvyn tulokset kymmenellä. Eli näin ollen näytteiden johtoluvut vaihtelevat välillä 3,07 - 6,52. Tavallisesti johtoluku on peltomaissa alle 2,5. Jos johtoluku on yli 10, sitä pidetään poikkeuksellisen korkeana.

Kompostille optimaalisen kosteuden on teoriassa esitetty olevan 50 - 70 %. Kaikkien kompostinäytteiden kosteuspitoisuus tätä suurempi, vaikka on kuitenkin huomioitava, että kosteuspitoisuuteen vaikuttaa pitkälti kompostoitava materiaali. Komposti näytteet olivat kuitenkin myös silmämääräisesti ja nyrkkitestin perusteella hieman liian kostean oloisia. Kosteuspitoisuudet laskettiin myös näytteiden kuiva-ainepitoisuuksien avulla, jolloin kosteuspitoisuudet olivat seuraavanlaisia:

- auma 6: 73,60 %
- auma 5: 74,39 %
- auma 4: 77,93 %
- auma 2: 79,60 %

Tulokset ovat melko samansuuntaisia taulukossa 3 esitettyihin pika-analysaattorilla saatuihin tuloksiin verrattuna, mutta kuitenkin aumojen 6 ja 5 kosteuspitoisuudet ovat jonkin verran matalampia. Tämä ero johtuu todennäköisesti pienistä näytemääristä analyyseissä eli kosteus voi hieman vaihdella näytteen eri kohdassa.

TAULUKKO 3. Kompostinäytteiden pH, johtokyky ja kosteus

	pH	johtokyky, mS/m	kosteus, %
auma 6	8,18	36,9	77,22
auma 5	7,08	47,4	80,92
auma 4	8,09	65,2	78,37
auma 2	7,10	30,7	78,09

## 6.2 Kuiva-aine ja hehkutusjäännös

Taulukossa 4 on esitetty näytteiden sisältämä kuiva-aine, orgaaninen aines ja tuhka. Lisäksi taulukoon on liitetty VWR Moisture Analyzer MB 160 -pika-analysaattorilla saadut tulokset näytteiden kuiva-ainepitoisuuksista. Tuloksista nähdään, että aumojen 6 ja 5 kuiva-aineen määrissä on eroa pika-analysaattorilla määritettynä ja standardin 3008 mukaisesti määritettynä. Lisäksi tulosten perusteella kuiva-aineen määrä vanhimmassa kompostissa (auma 6) on suurin molemmilla menetelmillä määritettynä. Kuiva-aineen määrän tulisi vähentyä kompostin kypsyessä, joten tämän perusteella tulokset ovat hieman ristiriitaisia. Toisaalta analyysissä näytemäärät ovat hyvin pieniä verrattuna komposti-aumoihin, eli jo pelkästään tämä voi aiheuttaa tuloksiin mahdollisia virheitä.

TAULUKKO 4. Näytteiden sisältämä kuiva-aine, orgaaninen aines ja tuhka

	TS-os (%) Moisture Analyzer MB 160	TS-os. (%)	VS-os. (%)	tuhka-os. (%)
auma 6	22,78	26,40	21,16	5,63
auma 5	19,08	25,61	22,85	2,76
auma 4	21,63	22,07	20,03	2,04
auma 2	21,91	20,40	17,65	2,25

## 6.3 Rottegrad

Taulukosta 5 nähdään testin aikana havaitut lämpötilan vaihtelut ja Rottegrad-testin mukaiset kypsyysluokat. Auman 6 korkein havaittu lämpötila oli 20 °C, auman 5 korkein havaittu lämpötila oli 21 °C, auman 4 korkein havaittu lämpötila oli 24 °C ja auman 2 korkein havaittu lämpötila oli 23 °C. Näiden tulosten mukainen Rottegrad-testin kypsyysluokka on siis kaikkien näytteiden kohdalla 5, joka tarkoittaa valmista kompostia (20 - 30 °C). Näytteiden lämpötiloissa ei havaittu merkittäviä muutoksia, kun testiä kokeiltiin ilman kansia, kansiensa kanssa tai näyte seostettuna toiseen materiaaliin. Myöskään näytteiden kuivattaminen huoneenlämmössä tai testin pidentäminen ei vaikuttanut tuloksiin.

TAULUKKO 5. Rottegrad-testin aikaiset lämpötilan vaihtelut ja kypsyysluokat

	Havaitut lämpötilan vaihtelut (°C)	Rottegrad-testin kypsyysluokka
auma 6	18 - 20	5
auma 5	19 - 21	5
auma 4	20 - 24	5
auma 2	20 - 23	5

## 6.4 Solvita

Testin oman tulkintataulukon mukaiseksi kypsyyssindeksi saatiin molempien kompostien kohdalla 5 (taulukko 6). Kypsyyssindeksit 3 - 6 kuvaavat Solvita-testissä aktiivista kompostia ja tarkemmin Solvita kuvaa kypsyyssindeksin 5 tarkoittavan, että kompostin aktiivinen vaihe on lopuillaan ja komposti on valmis kypsytykseen.

TAULUKKO 6. Solvita-testin CO<sub>2</sub>- ja NH<sub>3</sub>-liuskojen tulokset ja näytteiden kypsyyssindeksit

	CO <sub>2</sub>	NH <sub>3</sub>	Kypsyyssindeksi
Auma 6	5	5	5
Auma 5	5	5	5

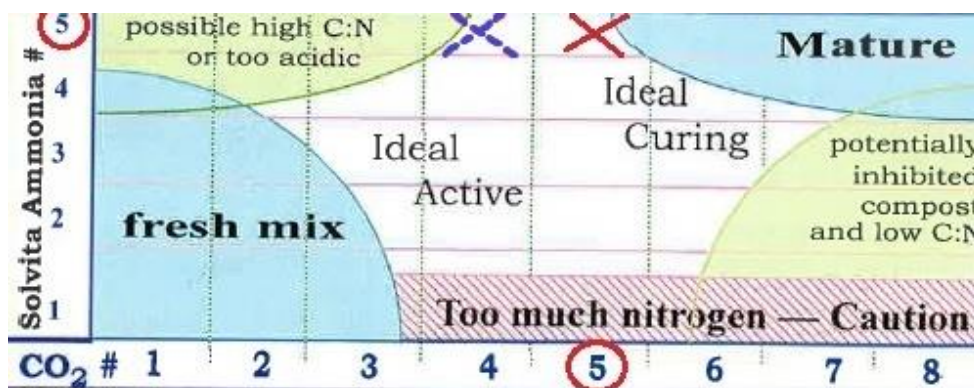
Ennen testin suorittamista NH<sub>3</sub>-liuskat ovat keltaisia ja tämä väri ei muuttunut missään näytepurkissa kummankaan näytteen kohdalla eli tällöin arvoiksi saatiin 5. NH<sub>3</sub>-liuskan arvo 5 kuvaa matalaa NH<sub>3</sub>-pitoisuutta eli ammoniakkin pitoisuus Solvita-testin purkin ilmatilassa on < 100 ppm.

CO<sub>2</sub>-liuskat taas ovat alussa violetin värisiä, ja ne muuttuivat testin aikana molempien näytteiden kohdalla oransseiksi. CO<sub>2</sub>-liuskojen tuloksia oli hieman hankala arvioida värikartan oranssien sävyjen pienten värierojen vuoksi, ja lopullista tulosta oli hieman hankala arvioida värikartan arvojen 4 ja 5 välillä. Kuitenkin arvon katsottiin olevan 5 molempien kompostinäytteiden kohdalla. CO<sub>2</sub>-liuskan arvo 5 tarkoittaa Solvita-testin mukaan, että hiilidioksidin tuotto oli testin aikana 2,0 %. Jos CO<sub>2</sub>-liuskan arvon katsoo olevan 4, se laskee myös kypsyyssindeksin arvoon 4. Tässä tapauksessa hiilidioksidin tuotto testin aikana olisi 3 %. Solvita-testin kypsyyssindeksi 4 kuvaa kompostin olevan aktiivista ja komposti tarvitsee jatkuvaa prosessin hallintaa. Kuvassa 8 nähdään NH<sub>3</sub>- ja CO<sub>2</sub>-liuskojen värin vertaaminen Solvita-testin värikarttaan.



KUVA 8. NH<sub>3</sub>- ja CO<sub>2</sub>-liuskojen värin vertaaminen värikarttaan (Minna Vartiainen).

Kuvassa 9 nähdään kuinka Solvita-testin kypsyysindeksi kuvaa kompostointiprosessin tilaa. Kypsyysindeksi 5 on merkitty kuvioon punaisella ruksilla. Kuvaan on merkitty vertailun vuoksi myös kypsyysindeksi 4 sinisellä ruksilla. Kuvasta nähdään, että kypsyysindeksi 5 kertoo kompostin lähestyvän kypsää kompostia ja kypsyysindeksi 4 kuvaa kompostin olevan vielä hieman aktiivisemmassa vaiheessa ja lisäksi kompostissa voi mahdollisesti olla korkeahko C/N-suhde.



KUVA 9. Kompostointiprosessin tila (Official Solvita ® Guideline, Woods End® Research Laboratory, Inc.)

## 6.5 Kasvitesti

Ennen testin aloittamista taustakontrollimullan ja kompostien seoksista määritettiin johtokyvyt, jotka on esitelty taulukossa 7. Lisäksi laskettiin näyteseosten johtoluvut. Seosten johtokykyjen suositeltiin olevan alle 50 mS/m, ja tämä täyttyi kaikkien seosten kohdalla kompostin ja taustakontrollimullan ti-lavuussuhteella 1:1. Johtoluvut ovat samaa luokkaa kuin tavallisissa peltomaissa, joissa se on yleensä alle 2,5.

TAULUKKO 7. Näyteseosten johtokyvyt ja johtoluvut

	Johtokyky (mS/m)	Johtoluku
Auma 6	22	2,2
Auma 5	20	2,0
Auma 4	27	2,7

Ensimmäisen kasvitestin tuloksia ei voitu pitää luotettavina, sillä itävyys taustakontrollimullassa oli alle 90 %. Itävyys kompostinäytteiden ja taustakontrollimullan seoksissa ja itse taustakontrollimullassa vaihteli myös todella paljon eri ruukuissa kaikkien kasvien kohdalla. Näiden seikkojen vuoksi tämän kasvitestin tulokset hylättiin kokonaan.

Kasvitestiä yritettiin uudelleen ja toisella kerralla saatiin yhtenäisempiä tuloksia ja itävyys taustakontrollimullassa oli kaikissa ruukuissa yli 90 %. Taulukossa 8 on esitetty lasketut itävyysprosentit. Kuten nähdään, kaikkien kasvien itävyys oli korkea jokaisen näytteen kohdalla. Näiden tulosten perusteella voidaan todeta, että tutkittavat kompostit eivät aiheuta estymistä itämiselle.

TAULUKKO 8. Taustakontrollimullan ja näyteseosten itävyysprosentit

	Itävyys - %			
	kontrolli	auma 6	auma 5	auma 4
krassi	97	98	94	98
retiisi	98	97	94	99
rairuoho	94	92	90	93

Kasvitestin päätyttyä laskettiin myös kasvuindeksi kasvien kuivapainoa käyttäen. Kasvua voidaan pitää alentuneena, jos kasvuindeksi jää alle 80 %. Tässä tapauksessa minkään näytteen kohdalla kasvu ei ollut alentunut ja komposteilla oli jopa kasvua edistävä vaikutus, sillä kasvuindeksi oli kaikilla kasveilla auman 5 retiisiä lukuun ottamatta yli 100 % (taulukko 9). Jokaisen näytteen kohdalla parhaiten menestyi rairuoho. Rairuohon kasvuindekseissä oli myös vähiten eroja eri kompostien välillä. Krassin ja retiisin voidaan tämän perusteella olettaa olevan rairuohoa herkempiä kasveja. Kaiken kaikkiaan näiden tulosten perusteella voidaan todeta, että kompostit eivät aiheuta haittaa myöskään kasvien kasvulle.

TAULUKKO 9. Näytteiden kasvuindeksi - % eri kasveilla

	Kasvuindeksi - %		
	krassi	retiisi	rairuoho
auma 6	112	115	132
auma 5	118	92	130
auma 4	123	106	131

Taimien tarkasteltiin myös visuaalisesti eikä niissä havaittu suuria poikkeamia, kuten esimerkiksi reikiä tai värimuutoksia. Näyteseoksissa kasvatetut taimet olivat pidempiä, kuin taustakontrollimullassa kasvatetut taimet. Kasvitestin jälkeen ja pienemmän mittakaavan kasvitestin avulla tarkasteltiin myös kasvien juuria. Alkuperäisen kasvitestin jälkeen mullasta ja näyteseoksista onnistuttiin erottelamaan retiisin juuria. Pienemmän mittakaavan kasvitestissä tarkasteltiin vain krassin juuria. Juurten pituuksia mitattiin ja näiden perusteella laskettiin juurenpituusindeksit, jotka on esitetty taulukossa 10. Kussakin kompostissa retiisin ja krassin juurenpituusindekseillä ei juuri ole eroja. Erot eivät myöskään ole kovin suuria kun vertaa eri komposteja toisiinsa. Maanparannuskompostille asetettujen kypsyyskriteerien mukaan juurenpituusindeksin täytyy olla vähintään 80 %, joten tämän testin tulosten perusteella kriteeri täyttyy ainakin yhden kompostin kohdalla, kun komposti on seostettuna toiseen materiaaliin. Mainittakoon vielä, että tässä työssä tehdyissä kasvitesteissä kompostit seostettiin taustakontrollimullan kanssa tilavuussuhteessa 1:1.



TAULUKKO 10. Juurenpituusindeksit näyteseoksissa

	Juurenpituusindeksi - %	
	retiisi	krassi
auma 6	71	72
auma 5	86	86
auma 4	78	78

## 6.6 CO<sub>2</sub>-tuotto

Taulukosta 11 nähdään näytteille saadut CO<sub>2</sub>-tuotot yksikössä CO<sub>2</sub>-C/g VS/vrk. Koska koejärjestelyt poikkesivat hieman Itävaaran ym. (2006, 25 - 26) ohjeesta, haluttiin testi tehdä yhdelle ylimääräiselle näytteelle tämän työn koejärjestelyjen lisäksi ulkopuolisessa laboratoriossa vertailutuloksen saamiseksi. Tälle näytteelle hiilidioksidin tuotoksi saatiin 5,8 mg CO<sub>2</sub>-C/g VS/vrk ja ulkopuolisella laboratoriolta vastaava saatu tulos oli 7,1 mg CO<sub>2</sub>-C/g VS/vrk. Tulokset eivät poikkea kovin paljon ja ovat samansuuntaisia, mutta tästä voidaan kuitenkin päätellä, että tässä työssä erilaisella koejärjestelyllä toteutettu testi antaa mahdollisesti hieman todellista pienempiä tuloksia. Tähän on voinut vaikuttaa erilaisen koejärjestelyn (mm. eri kaasuanalysointori ja venttiilit pullojen korkeissa) lisäksi mm. näytteiden kosteuspitoisuus ja näytteiden pidempi aikainen säilytys kylmiössä ennen testin suorittamista. Testiä kokeiltiin myös huoneenlämmössä kuivatetulla näytteellä, jotta kosteuspitoisuus olisi hieman matalampi, mutta tällä ei ollut vaikutusta tuloksiin.

Eviran ylläpitämässä lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelossa maanparannuskompostille asetettujen kypsyyssuhteiden mukaan CO<sub>2</sub>-tuoton täytyy olla alle 3 mg CO<sub>2</sub>-C/g VS/vrk. Taulukon 11 tuloksien mukaan kaikki tutkittavat kompostinäytteet täyttävät tämän kriteerin, mutta kuitenkin vertailutuloksen perusteella näiden tulosten on syytä olettaa olevan todellista pienempiä. Jos ero todelliseen tulokseen on samaa luokkaa kuin ylimääräiselle näytteelle saaduissa tuloksissa (5,8 mg CO<sub>2</sub>-C/g VS/vrk ja 7,1 mg CO<sub>2</sub>-C/g VS/vrk), mahdollisesti vain auman 6 CO<sub>2</sub>-tuotto jää alle 3 mg CO<sub>2</sub>-C/g VS/vrk. Auman 6 komposti oli näytteenottohetkellä yli 12 kk:n ikäinen, eli tämän perusteella voi olettaa, että yli vuoden ikäinen komposti täyttää kriteerit CO<sub>2</sub>-tuoton osalta.

TAULUKKO 11. Näytteiden CO<sub>2</sub>-tuotto

	CO <sub>2</sub> -tuotto (CO <sub>2</sub> -C/g VS/vrk)
auma 6	1,40
auma 5	2,94
auma 4	2,88
auma 2	2,35

## 6.7 Typpisuhde

Kun nitraatin ja ammoniumin suhde on suurempi kuin 1, voidaan komposti katsoa kypsäksi. Jos tämä suhdeluku jää alle yhden, voidaan kompostin sanoa olevan vielä kypsymisvaiheessa. Taulukosta 12 nähdään kompostinäytteistä määritetyt nitraatti- ja ammoniumpitoisuudet. Kaikissa komposteissa nitraattia oli ammoniumtyyppä vähemmän, joten näiden tulosten perusteella minkään kompostin typpisuhde ei ylitä arvoa 1. Komposteja ei siis voida näiden tulosten perusteella määrittellä kypsiksi. Kuitenkin on loogista, että vanhimmassa kompostissa (auma 6) on näiden tulosten mukaan eniten nitraattityyppä. Nitraatti- ja ammoniumtyypen määrittelyä tehtiin useamman kerran ja nitraatin määrässä oli havaittavissa todella suurta vaihtelua jokaisen näytteen kohdalla. Tähän on voinut vaikuttaa mm. epätasaisesti kypsynyt komposti tai eroavaisuudet valmistetuissa kompostiuutteissa. Nitraattityypen määrät olivat kuitenkin jokaisella määrittelykerralla vähäisiä.

TAULUKKO 12. Näytteiden nitraatin ja ammoniakkin pitoisuudet

	auma 6	auma 5	auma 4	auma 2
nitraatti, NO <sub>3</sub> (mg/l)	21,2	0,3	0,5	0,4
ammoniakki, NH <sub>4</sub> (mg/l)	38,9	49	50,3	13

## 6.8 C/N-suhde

Taulukosta 13 nähdään näytteille määritellyt C/N-suhteet. Kompostointia aloittaessa optimaalinen C/N-suhde on teoriassa 30 ja kompostoinnin päättyessä 10. Tuloksista nähdään (taulukko 13), että näytteiden C/N-suhteet ovat melko korkeita verrattaessa kompostoitumiseen kuluneeseen aikaan ja tämä on voinut jopa hidastaa kompostoitumista. Näytteiden C/N-suhteet kuitenkin kasvavat loogisesti vanhimmasta kompostista nuorempaan, eli hiiltä on kompostoitumisen edetessä haihtunut pois hiilidioksidina. Ainoastaan auman 4 C/N-suhde on poikkeavasti jopa vanhimman kompostiauman C/N-suhdetta pienempi.

C/N-suhteeseen vaikuttaa paljon kompostin lähtömateriaalit, jotka tässä tapauksessa olivat metsäteollisuuden jätevedenpuhdistamolta syntyvät kuitu- ja bioliete. Ojasen (2001, 11) mukaan kuitulietteen tyypillinen C/N suhde on 32 - 930 ja biolietteen vastaavasti 16 - 115. Nämä arvot kuitenkin vaihtelevat riippuen metsäteollisuuden tehtaasta. Tämän perusteella on jo siis tiedossa, että näillä materiaaleilla voi jo alun perin ennen kompostoinnin aloittamista olla hyvin korkea C/N-suhde, sillä metsäteollisuuden lietteet sisältävät paljon puusta peräisin olevia hiilipitoisia yhdisteitä.

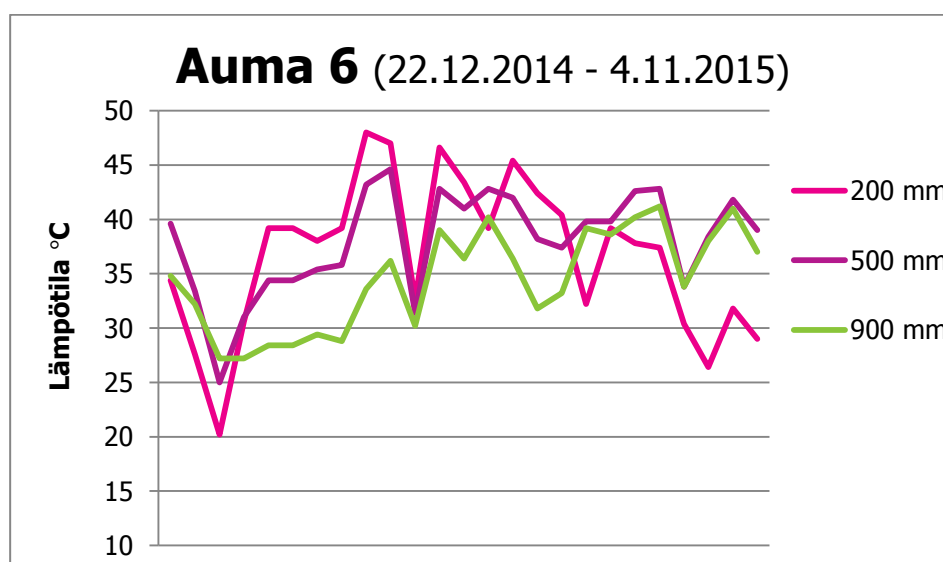
TAULUKKO 13. Näytteiden C/N-suhde

	C/N-suhde
auma 6	31
auma 5	59
auma 4	27
auma 2	62

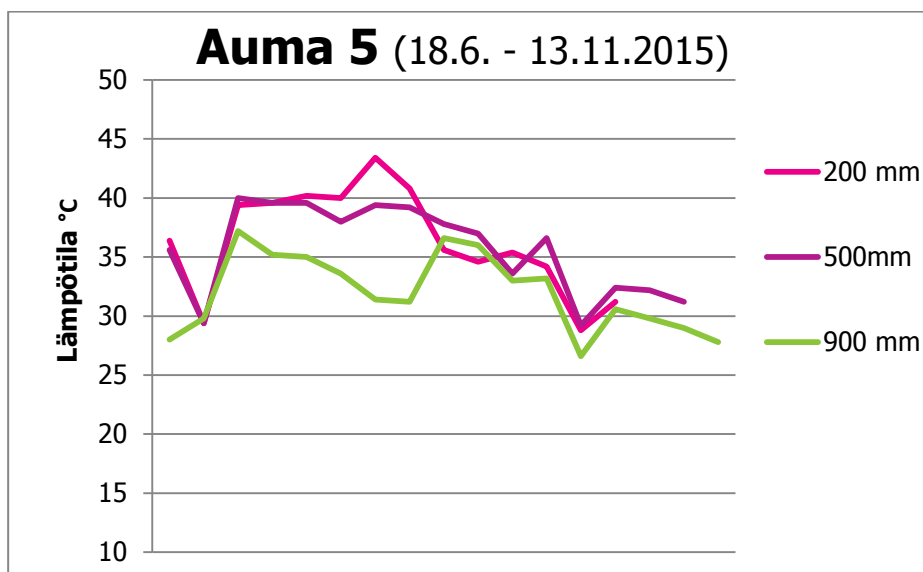
## 6.9 Laboratorioanalyysit kompostointiprosessin aikana ja aumojen lämpötilan seuranta

### 6.9.1 Lämpötilan seuranta

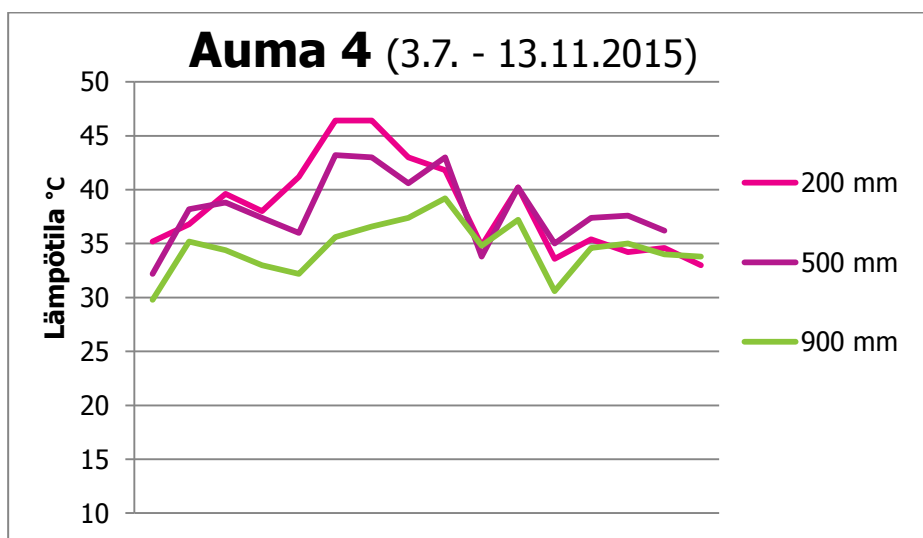
Lämpötilamittauksia oli tehty jokaisesta aumasta viidestä eri mittauspisteestä kolmesta eri syvyydestä (200 mm, 500 mm ja 900 mm) noin viikon välein. Ensimmäinen mittaus aumoista on suoritettu noin 1 - 2 viikkoa kompostoinnin aloittamisesta. Alla on esitetty käyrät (kuviot 2 - 5), joista nähdään kunkin auman lämpötilamuutokset ja joiden perusteella voidaan saada viitteitä kompostoitumisprosessin etenemisestä. Kaikista käyristä voi jokseenkin nähdä, että lämpötila ensin kompostointiprosessin alussa nousee ja lopulta laskee loivasti, mutta kuitenkin lämpötilan vaihtelut ovat suuria. Lämpötilassa oli havaittavissa eroavaisuuksia eri mittaussyvyyksissä ja lisäksi eroavaisuuksia oli saman syvyyden eri mittauspisteiden välillä. Käyristä on myös havaittavissa, että syvimältä eli 900 mm:n syvyydeltä mitatut lämpötilat ovat kaikkien aumojen kohdalla lähes koko ajan matalampia kuin 500 mm:n ja 200:n syvyydeltä mitatut lämpötilat. Tästä voi päätellä, että kompostin sisin osa ei saavuta yhtä korkeaa lämpötilaa, kuin auman pintakerrokset. Tähän yhtenä syynä voi olla liian suuri kosteuspitoisuus, jonka vuoksi aumat ovat paikoittain liian tiiviitä. Kosteus voi kertyä auman alimpiin kerroksiin, jonka vuoksi kosteuspitoisuus on pintakerroksia suurempi. Tämä voi aiheuttaa aumaan vähähappisia kohtia, joka puolestaan voi johtaa kompostin epätasaiseen kypsymiseen, sillä mikrobien aktiivisuus on voinut joissain auman kohdissa hiipua.



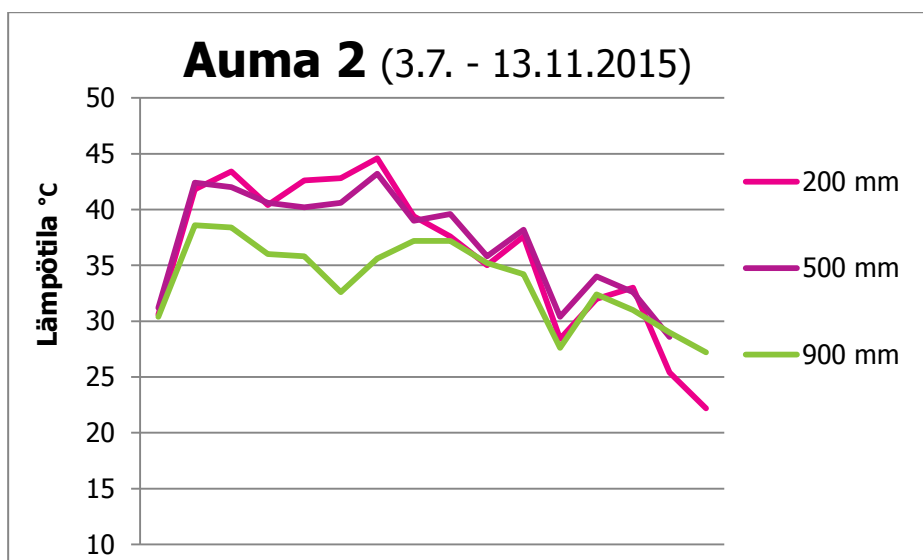
KUVIO 2. Auman 6 lämpötilakäyrät



KUVIO 3. Auman 5 lämpötiläkäyrät



KUVIO 4. Auman 4 lämpötiläkäyrät



KUVIO 5. Auman 2 lämpötiläkäyrät

## 6.9.2 Laboratorioanalyysit

Taulukoissa 14, 15 ja 16 on esitetty Ekokem-Palvelu Oy:n tilaamien laboratorioanalyysien tuloksia. Analyysijä oli teetetty kompostiaumojen aloitusnäytteille, seurantanäytteille ja valmiille tuorekomposteille. Aloitusnäytteet on otettu kompostointiprosessin alkupuolella ja seurantanäytteillä on valvottu kompostoinnin etenemistä. Valmiille komposteille tarkoitettu analyysipaketti on tilattu aumoille silloin, kun tuorekompostille vaadittu CO<sub>2</sub>-tuotto on ollut seurantanäytteiden perusteella vaaditulla tasolla.

Aloitusnäytteistä (taulukko 14) mitatut pH:n arvot ovat hieman happamia, mikä on tyypillistä kompostoinnin alussa, sillä tällöin kompostissa esiintyy pH:ta laskevia orgaanisia happoja. pH:n arvot nousevat kaikkien kompostiaumojen kohdalla, mutta valmiista tuorekomposteista otetuista näytteistä (taulukko 16) vain auman 6 pH on tyypillinen valmiille kompostille eli neutraali tai hieman emäksinen. Kuitenkin tätä työtä varten otettujen näytteiden pH:n arvot olivat jo kaikki nousseet neutraalin tasolle tai olivat hieman emäksisiä. Aumojen kosteuspitoisuudet eivät muutu merkittävästi aloitusnäytteille, seurantanäytteille tai valmiille tuorekomposteille tehtyjen määritysten perusteella ja myös tässä työssä tutkittaville näytteille saadut kompostien kosteuspitoisuudet ovat samansuuntaisia. Orgaanisen aineksen määrä vähenee kompostoinnin edetessä ja näin on käynyt aumojen 5, 4 ja 2 kohdalla verrattaessa aloitusnäytteiden tuloksia seurantanäytteiden tuloksiin.

TAULUKKO 14. Aloitusnäytteistä tehdyt analyysit

	Aloitusnäytteet			
	Auma 6	Auma 5	Auma 4	Auma 2
pH	6,0	5,1	5,1	5,9
kosteus, %	77,6	75,8	75,0	75,4
Orgaaninen aines, % ka	80,0	93,9	94,9	94,2

Seurantanäytteitä (taulukko 15) oli otettu aumoista kahtena eri ajankohtana noin 1 - 2 kk:n välein. Tuloksista nähdään, että jälkimmäisen seurantanäytteen kohdalla hiilidioksidintuotto on laskenut kaikkien aumojen kohdalla tuorekompostille vaaditulle tasolle eli alle 6 mg CO<sub>2</sub>-C/g VS/vrk. Tällöin auma 5 on ollut noin 5,5 kk:n ikäinen, aumat 4 ja 2 noin 5 kk:n ikäisiä ja auma 6 noin 9 kk:n ikäinen. Tässä työssä tutkitut näytteet aumoista 5, 4 ja 2 olivat näytteenottohetkellä yli 6 kk:n ikäisiä ja aumasta 6 otettu näyte yli 12 kk. Näille näytteille tehtyjen CO<sub>2</sub>-tuottokokeiden perusteella voitiin todeta, että ainakin yli vuoden ikäisen kompostin CO<sub>2</sub>-tuotto on laskenut MMM:n asetuksessa maanparruskompostille vaaditulle tasolle eli alle 3 mg CO<sub>2</sub>-C/g VS/vrk.

TAULUKKO 15. Seurantanäytteistä tehtyjä analyyssejä

	Seurantanäytteet							
	Auma 6		Auma 5		Auma 4		Auma 2	
CO <sub>2</sub> -tuotto, mg CO <sub>2</sub> -C/g VS/vrk	9,9	5,3	12,5	4,3	12,9	5,1	8,0	5,8
pH	7,0	7,7	7,1	5,7	5,4	5,9	7,1	6,3
Kosteus, %	74,2	74,2	73,3	77,9	73,2	74,4	74,4	75,9
Kuiva-aine, %	25,8	25,8	26,7	22,1	26,8	22,1	25,6	24,1
Orgaaninen aines, % ka	92,0	88,5	91,4	90,0	93,3	85,6	90,2	80,8

Taulukossa 16 nähdään valmiille tuorekomposteille tehtyjen analyysien tuloksia. Maanparannuskompostille on MMM:n asetuksessa yhdeksi kypsyyden arviointikriteeriksi määritetty juurenpituusindeksi, kun taas tuorekompostilla ainoana kriteerinä CO<sub>2</sub>-tuotto. Taulukosta 16 nähdään että, aumojen juurenpituusindekseillä on suuriakin eroja ja kaikki jää alle maanparannuskompostille vaaditun eli 80 %. Tässä työssä tutkituille aumoista otetuille näytteille määritetyt juurenpituusindeksit olivat lähellä vaadittua. Kuitenkin tässä työssä juurenpituusindeksien määrittämisessä käytettiin eri menetelmää ja kompostit oli seostettuna toiseen materiaaliin.

TAULUKKO 16. Valmiista tuorekomposteista tehtyjä analyyssejä

	Valmiit tuorekompostit			
	Auma 6	Auma 5	Auma 4	Auma 2
Juurenpituusindeksi, %	1	29	50	48
pH	8,2	5,7	5,9	6,3
Kosteus, %	74,7	77,9	74,4	75,9
Orgaaninen aines, % ka	88,0	90,0	87,4	80,8

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tehdä kompostin kypsyyden määritysmenetelmien vertailututkimusta. Tutkittavat kompostinäytteet ovat Ekokem-Palvelu Oy:n Sorsasalossa sijaitsevalla toimipisteellä avoaimoissa kompostoimaa metsäteollisuudesta syntyvien kuitu- ja biolietteiden seoksia. Tutkittavien kompostien ongelmana oli ollut korkea hiilidioksidin tuotto ja tarkoituksena oli tutkia kompostien kypsyyttä muilla analyyseillä ja testeillä. Tehdyt analyysit ja testit olivat pH, johtokyky, kosteus, kuiva-aine ja hehkutusjäännös, Rottegrad-testi, Solvita-testi, Kasvitesti, CO<sub>2</sub>-tuottokoe, typpisuhde ja C/N-suhde. Saaduissa tuloksissa oli jonkin verran ristiriitaisuutta kompostien kypsyyden osoituksessa, koska esimerkiksi kasvitestin ja Rottegrad-testin mukaan kompostit pystyttiin luokittelemaan kypsiksi, kun taas toisaalta typpisuhde ja Solvita-testi kertoivat kompostien olevan vielä kypsymisvaiheessa. Kompostinäytteistä tehtiin myös aistinvaraisia havaintoja.

Aistinvaraisten havaintojen perusteella kaikki kompostinäytteet vaikuttivat kosteilta ja tiiviiltä. Näytteiden kosteus oli myös melko korkea esimerkiksi VWR Moisture Analyzer MB 160 -pika-analysaattorilla määritettynä. Näytteiden koostumus oli hieman vahamainen ja paakkuinen, jonka vuoksi näytteitä ei pystytty esimerkiksi seulomaan ennen testien suorittamista ja niiden sekoittaminen tasalaatuisiksi oli hieman haastavaa. Kompostit näyttivät aumoista 2, 4, ja 5 otettujen näytteiden perusteella kypsyneen epätasaisesti, sillä näytteiden joukosta saattoi löytää isompia paakkuja, joiden sisältä komposti oli selvästi vaaleampaa eli vähemmän kypsyntä. Aumasta 6 otettu näyte oli selvästi tasalaatuisin ja väriltään tummin. Epätasaiseen kypsymiseen voi yhtenä syynä olla liiallinen kosteus, joka aiheuttaa kompostin tiivistymistä ja tämän seurauksena aumoihin on voinut syntyä vähähappisia tai jopa hapettomia kohtia, sillä liian kostea kompostimassa voi suurissa kasoissa tiivistyä jo pelkästään oman painonsa vaikutuksesta. Silmämääräisesti katsottuna vain auman 6 näyte vaikutti kypsältä. Kuitenkin kaikista näytteistä pystyi vielä erottamaan mm. puukuituja. Aistin varaiset havainnot tukevat omalta osaltaan tässä työssä tehtyjen testien ja analyysien tuloksia.

Kun verrataan tehtyjen kompostin kypsyyteen ja stabiilisuuteen liittyviä testejä, voidaan havaita yhtäläisyyksiä mm. C/N-suhteen ja Solvita-testin välillä. C/N-suhde oli korkea jokaisessa kompostinäytteessä verrattaessa kompostien ikään. Solvita-testissä aumojen 6 ja 5 kypsyysindeksiksi tuli 5. Testin CO<sub>2</sub>-liuskan tuloksen tulkinta värikartasta oli hieman haastavaa pienten värierojen vuoksi ja arvojen 4 ja 5 välillä oli silmämääräisesti todella pieni ero. CO<sub>2</sub>-liuskan arvo 4 laskee myös kypsyysindeksin arvoon 4. Kypsyysindeksi 4 viittaa kappaleessa 6.4 Solvita-testi esitetyn kuvan 10 mukaan korkeahkoon C/N-suhteeseen ja tähän viittaavat myös C/N-suhteen määrittämisessä saadut tulokset. Tällä perusteella Solvita-testi ja C/N-suhteen määrittäykset tukevat toisiaan, ja kypsyysindeksi 4 on kypsyysindeksiä 5 loogisempi tulos.

Solvita-testin perusteella näytteissä (auma 6 ja 5) oli jonkin verran myös hiilidioksidin tuottoa, mikä todettiin tämän lisäksi erillisen CO<sub>2</sub>-tuottokokeen avulla. Kuitenkin Solvita-testin mukaan CO<sub>2</sub>-tuottoa

asteikolla 8 (low) - 1 (high) oli 5 ja erillisen CO<sub>2</sub>-tuottokokeen tulokset olivat omalla asteikollaan melko matalia. CO<sub>2</sub>-tuottokoe tehtiin yhdelle ylimääräiselle näytteelle Savonian lisäksi myös ulkopuolisessa laboratorioissa ja tämän perusteella kompostinäytteille saadut CO<sub>2</sub>-tuoton tulokset olisivat hieman todellista matalammat, jota toisaalta myös Solvita-testin tulokset tukevat.

Solvita-testin mukaan aumasta 6 ja 5 otettujen näytteiden ammoniakkipitoisuudet olivat matalat. Näytteiden typpisuhdetta selvitetiin määrittämällä näytteiden nitraatti- ja ammoniakkipitoisuuksia. Näytteissä ei ollut ammoniakkia valtavia määriä myöskään erillisten typpimääritysten perusteella, kuten Solvita-testikin ilmoitti, mutta ongelmaksi nousi lähinnä nitraattitypen puute. Nitraattitypen pienet pitoisuudet aiheuttivat myös sen, että typpisuhde ei ollut missään kompostissa vaaditun eli > 1. Typpisuhteeseen voi vaikuttaa epätasapainossa oleva C/N-suhde tai esimerkiksi epätasaisesti kypsynt komposti, joka aiheuttaa tuloksiin vaihtelua.

Kasvitestin tuloksista pystyi päättämään, ettei kompostinäytteissä ollut fytotoksisia eli kasveille haitallisia yhdisteitä, jotka aiheuttaisivat haittaa kasvien itämiselle tai kasvulle. Ammoniakki on yksi kasvien kasvua estävä yhdiste ja esimerkiksi Solvita-testin mukaan ammoniakkipitoisuus oli matala aumasta 6 ja 5 otetuissa näytteissä. Erillisten typpimääritysten mukaan myöskään aumasta 4 otetun näytteen ammoniakkipitoisuus ei poikennut merkittävästi aumojen 6 ja 5 ammoniakkipitoisuuksista. Näytteet seostettiin kasvitestiä varten taustakontrollimultaan, joka kuohkeutti muuten tiiviin oloisia komposteja, joten fysikaaliset ominaisuudet mm. kasvien juurten kasvua ajatellen paranivat. Myös seoksille määritetyt johtokyvyt oli alle suositellun enimmäisarvon ja johtoluvut olivat samankaltaisia kuin tavallisessa peltomaassa.

Rottegrad-testin tuloksien mukaan kompostit voitiin luokitella kypsiksi eli tulokset kertoivat, että kompostien aktiivisin vaihe on ohitse. Toisaalta muut testit kasvitestiä lukuun ottamatta kertovat jonkin tasoisen hajoamisen jatkuvan komposteissa edelleen. Liitteessä 1 on esitetty taulukko, josta nähdään, että Rottegrad-testin tulosta 5 (valmis komposti) vastaa Solvita-testin kypsyysindeksit 6 - 8. Tässä tapauksessa Solvita-testin kypsyysindeksi oli 5 eli näiden tulosten välillä on hieman ristiriitaisuutta. Komposteissa on siis havaittavissa aktiivisuutta, mutta se ei enää nosta kompostien lämpötilaa. Toisaalta on myös huomioitava, että mm. mikrobien aktiivisuuden hiipuminen ja orgaanisen aineksen hajoamisen hidastuminen voi aiheuttaa kypsyystesteillä harhaanjohtavia tuloksia.

Tutkittavat kompostinäytteet otettiin kompostiaumoista, joiden kääntelyt oli tehty noin 2 - 4 viikon välein. Kompostin kääntämisellä on yleensä positiivisia vaikutuksia prosessille, mutta väärällä hetkellä kääntäminen voi jopa hidastaa kompostoitumista. Kääntämisen avulla kompostia saadaan ilmastettua ja se edesauttaa tasaisempaa hajoamista. Kuitenkin kääntämistä kompostin termofiilisen vaiheen eli kuumavaiheen aikana on hyvä mahdollisuuksien mukaan välttää, sillä se häiritsee kompostoitumisen etenemistä ja lisää typen ja eloperäisen aineksen hävikkiä. (Hovi 1999, 24; Jätekuukko 2009). Kääntäminen on siis hyvä ajoittaa tehtäväksi kuuman vaiheen jälkeen, jolloin kompostin lämpötila on lähellä ympäristön lämpötilaa. Toisaalta kääntämisen avulla voidaan myös kontrolloida kompostin lämpötilaa, sillä yli 65 °C:n lämpötila tappaa monia mikrobeja, joka voi hidastaa kompostoitumista. (Trautmann, N, Olynciw, E, 1996.)



Tom Richardin (1995) mukaan kääntötiheyden tulisi perustua auman lämpötilaan, eli kääntäminen tulisi tehdä aina kun lämpötila ylittää 60 °C tai tippuu alle 32 °C. Tällä välillä kompostoituminen on tehokkaimpaa, sillä alle 32 °C:ssa kompostoituminen hidastuu ja yli 60 °C:ssa suurin osa mikrobeista ei selviä hengissä. Kompostin kääntäminen aina, kun se alittaa tai ylittää kompostoitumiselle optimaalisen lämpötilan vaihteluvälin, edesauttaa kompostoitumista ja lyhentää kompostointiprosessiin kuluvaa aikaa. Kuitenkin, jos kompostin lämpötila pysyy optimaalisena (32 - 60 °C) itsestään, voidaan säännöllisellä kääntämisellä edistää kompostoitumista. Kun komposti stabiloituu, säännöllinen kääntäminen ei ole enää tarpeellista. (Richard, 1995).

Eli tässä tapauksessa kompostiaumojen kääntäminen on voinut omalta osaltaan jopa hidastaa kompostoitumista ja mm. hävittää kompostin ravinteita. Tämä voi myös olla yksi selittävä tekijä CO<sub>2</sub>-tuoton sekä typpisuhteen ja C/N-suhteen tuloksille. Lähtökohtaisesti on kuitenkin huolehdittava, että kompostoinnin muut edellytykset on oltava kunnossa, kuten sopiva kosteus ja ravinteiden tasapaino (mm. C/N-suhde) eli kompostointiprosessi on otettava huomioon kokonaisvaltaisesti.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

- Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Kasvit. Viljely ja tuotanto. Lannoitevalmisteet. Lainsäädäntö. Tyyppinimiluettelo. [Viitattu: 2016-03-09]. Saatavissa: <http://www.evira.fi/portal/fi/kasvit/viljely+ja+tuotanto/lannoitevalmisteet/lainsaadanto/tyyppinimiluettelo/>
- HALINEN, Arja ja TONTTI, Tiina. 2004. Laitoskompostien laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla. MTT:n selvityksiä 70. [Viitattu 2016-03-07.] Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mmts/pdf/mmts70.pdf>
- HOVI, Antti 1999. Kompostoinnin vaiheet. Julkaisussa: JÄRVINEN, Kari (toim.) ja SUOKAS, Päivi (toim.) Eläköön komposti. Lannoittamisen olemuksesta. 2. Painos. Helsinki: Hakapaino Oy, 14 - 40.
- ITÄVAARA, Merja, VIKMAN, Minna, KAPANEN, Anu, VENELAMPI, Olli ja VUORINEN, Arja. 2006. Kompostin kypsyystestit. Menetelmäohjeet. VTT tiedotteita 2351.Helsinki: Valopaino Oy.
- LOHINIVA, Elina, MÄKINEN, Tuula ja SIIPIÄ, Kai. 2001. Lietteiden käsittely. Uudet ja käytössä olevat teknii-kat. VTT tiedotteita 2081. Espoo: Otamedia Oy.
- Maa- ja metsätalousministeriö. Vastualueet. Eläimet ja kasvit. Lannoitevalmisteet. [Viitattu:2016-03-18]. Saatavissa: <http://mmm.fi/elaimet-kasvit/lannoitevalmisteet>
- MATILAINEN, Mervi, PISTO, Sanni, RINNEPELTO, Pirjo ja KINNUNEN Niko. 2014. Ympäristöministeriön Ravinteiden kierrätyksen edistämistä ja Saaristomeren tilan parantamista koskevassa ohjelman hankkeessa: Metsäteollisuuden ravinteet – Metsäteollisuuden sivuvirtojen hyödyntäminen lannoitevalmisteina.[verkkojulkaisu]. Joensuu. Apila Group Oy Ab. [viitattu: 2016-03-21] Saatavissa: <http://www.apilagroup.fi/data/Mets%E4teollisuuden%20ravinteet%20Selvitys.pdf>
- OJANEN, Pekka. 2001. Sellu- ja paperitehtaiden lietteiden käsittely ja hyötykäyttö sekä niitä rajoittavat tekijät. Alueelliset ympäristöjulkaisut 223. Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. Lappeenranta: AalefOnline Kirjapaino
- RICHARD, Tom. 1995. Temperature. Cornell Composting. [Viitattu: 2016-04-27]. Saatavissa: <http://compost.css.cornell.edu/Factsheets/FS5.html>
- RICHARD, Tom. 1995. Turning windrows. Cornell Composting.[Viitattu: 2016-04-27]. Saatavissa: <http://compost.css.cornell.edu/Factsheets/FS7.html>
- Suomen ympäristöopas. Ympäristötietoa. Kompostointi. [Viitattu 2016-03-08]. Saatavissa: <http://www.ymparistoopas.com/kompostointi/>

TONTTI, Tiina ja MÄKELÄ-KURTTO, Ritva. 1999. Biojätekompostit kasvintuotannossa. Kirjallisuuskatsaus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja sarja A. Maatalouden tutkimuskeskus. Jokioinen. Jyväskylän yliopistopaino.

THOMPSON, Ken 2008. Komposti. Gummerus Kustannus Oy

TUOMINEN, Kirsi 2008. Kaikki kompostoinnista. Hämeenlinna: Karsito Oy:n kirjapaino

TRAUTMANN, Nancy ja OLYNCIW, Elaina. 1996. Compost Microorganisms. [Viitattu: 2016-04-27]

Saatavissa: <http://compost.css.cornell.edu/microorg.html>

## LIITE 1: SOLVITA-TESTIN KYPYSYSSASTE JA SEN VASTAAVUUS ROTTEGRAD-TESTIIN

Solvita-kypsyysaste	Kompostointiprosessin vaihe		Vastavuus Rottegrad-testiin
8	Inaktiivinen, erittäin kypsä komposti, maanomainen, kompostilla ei käyttörajoituksia	VALMIS KOMPOSTI	V
7	Kypsä komposti, kompostilla vain vähän käyttörajoituksia		
6	Kypsymisvaiheessa oleva komposti; ilmastutarve vähentynyt; komposti on valmis jälkikompostointiaumaan; kompostin hoitotarve on merkittävästi vähentynyt	kypsymisvaihe  AKTIIVINEN KOMPOSTI	
5	Komposti on ohittamassa aktiivista vaihetta ja valmis kypsyysvaiheeseen; kompostin hoitotarve on vähentynyt	erittäin aktiivinen	IV
4	Komposti on keskiaktiivisessa vaiheessa; vaatii jatkuvaa hoitoa		III
3	Aktiivinen komposti; vaatii intensiivistä tarkkailua ja hoitoa		II
2	Erittäin aktiivinen, mätänevää tuoretta kompostia; korkea soluhengitys; vaatii intensiivistä ilmastusta ja toistuvia kääntöjä	RAAKA KOMPOSTI	I
1	Tuore, raaka komposti; tyypillinen tuore seos; erittäin suuri hajumisnopeus; mätänevää ja erittäin haisevaa materiaalia		

Lähde: Itävaara Merja, Vikman Minna, Kapanen Anu, Venelampi Olli ja Vuorinen Arja. 2006. Kompostin kypsyystestit. Menetelmäohjeet. VTT tiedotteita 2351.