



Laitoskompostien laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla

Arja Halinen ja Tiina Tontti



MTT:n selvityksiä 70
62 s.

Laitoskompostien laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla

Arja Halinen ja Tiina Tontti

ISBN 951-729-894-3 (Painettu)
ISBN 951-729-895-1 (Verkkajulkaisu)
ISSN 1458-509X (Painettu)
ISSN 1458-5103 (Verkkajulkaisu)
<http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts70.pdf>

Copyright

MTT

Arja Halinen ja Tiina Tontti

Julkaisija ja kustantaja

MTT, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

MTT, Tietopalvelut, 31600 Jokioinen

Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339

Sähköposti julkaisut@mtt.fi

Julkaisuvuosi

2004

Kannen kuvat

Tiina Tontti, Aaro Närvänen ja Teppo Tujula

Painopaikka

Data Com Finland Oy

Laitoskompostien laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla

Arja Halinen ja Tiina Tontti

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Ympäristötutkimus, Ekologinen tuotanto, Karilantie 2 A, 50600 Mikkeli, arja.halinen@mtt.fi, tiina.tontti@mtt.fi

Tiivistelmä

Biohajoavien jätteiden käsittelyyn kohdistuvat vaatimukset tulevat kiristymään lähivuosina tiukentuvan lainsäädännön myötä. Etenkin valmisteilla oleva EU-direktiivi ”Biohajoavan jätteen biologiset käsittelymenetelmät”, kansallinen biojätestrategia sekä jo voimaan astunut Euroopan yhteisön eläinten sivutuoteasetus vaikuttavat kompostointilaitosten toimintaan. Lähitulevaisuudessa kompostointilaitoksilta tullaan edellyttämään laatu järjestelmien käyttöönottoa sekä omavalvonnan tehostamista.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin mahdollisuuksia parantaa laitoskompostien laatua kompostien kypsytystä tehostamalla. Huomiota kiinnitettiin erityisesti kypsytysaumojen toiminnallisen rakenteen parantamiseen ja tasalaatuisen kompostin tuottamiseen. Hankkeessa kehitettiin myös kompostointilaitosten omavalvontaan soveltuvaa kompostin kypsymisen seuranta menetelmää. Kypsytettyjen kompostien laatua ja soveltuvuutta kasvualustakäyttöön selvitettiin laboratoriomittakaavan kasvatuskokeessa.

Tutkimuksessa todettiin, että hakkeen lisääminen tukiaineeksi biojätekompostien kypsytysaumoihin paransi aumojen rakennetta ja tehosti kypsymistä, mikä ilmeni tukiainelisäyksen saaneiden aumojen korkeampana lämpötilana ja tehokkaampana kaasujenvaihtona verrattuna ilman tukiainetta kypsytettyihin aumoihin. Aumojen kypsymistä seurattiin lämpötila-, happi- ja hiilidioksidimittauksien sekä alkuaan vesianalytiikkaan kehitetyn nitraattityypin pikatestin avulla. Pikatestin osoitettiin soveltuvan myös komposteista tehtäviin määrittäisiin. Kasvatuskokeessa todettiin, että tukiaineen lisääminen kypsytysaumoihin saattaisi parantaa kompostien soveltuvuutta vihannesten viljelyyn. Peltokasvien viljelyyn soveltuvan maanparannuskompostin tuottamisessa tukiainelisäyksestä saatava etu ei ole yhtä selkeä. Siksi tukiaineen lisäämisestä saatavaa hyötyä on syytä arvioida tapauskohtaisesti huomioiden kyseisen kompostointiprosessin ominaisuudet, raaka-aineet ja kompostin loppukäyttö. Tulevaisuudessa tulisi arvioida erilaisten tukiaineiden lisäämisestä kompostin kypsytysvaiheessa aiheutuvat kustannukset.

Avainsanat: laitoskompostointi, tukiaine, kypsyminen, omavalvonta, laatu

Improving quality of industrial composting by making the maturization phase more effective

Arja Halinen and Tiina Tontti

MTT Agrifood Research Finland, Environmental Research, Ecological Production, Karilantie 2A, FIN-50600 Mikkeli, Finland, arja.halinen@mtt.fi, tiina.tontti@mtt.fi

Abstract

The legislation concerning the treatment of biodegradable waste will be tightened up during the coming years. Especially the EU directive “Biological treatment of biowaste” and the national biowaste strategy which are under construction, as well as the already valid European regulation concerning animal by-products not intended for human consumption will have an effect on composting plants’ operation. In the near future the composting plants will be required to introduce quality assurance systems and strengthened process control.

The aim of this study was to investigate possibilities to improve the quality of industrial composting by making the compost maturization phase more effective. Special attention was paid to the improvement of the compost maturization windrows’ functional structure and to the production of a compost of uniform quality. A follow-up method for compost maturization suitable for composting plants’ process control was also devised during the project. The quality of matured composts and their suitability for use as a plant substrate were determined in a pot experiment.

Adding woodchips as a bulking agent to the compost maturization windrows improved the structure of the windrows and made the maturization process more effective, which became evident as higher temperatures and a more effective gas exchange of the windrows compared to the ones matured without any bulking agent. The maturization of the windrows was followed by measuring the temperature and the oxygen and carbon dioxide content of the windrows and with the help of a quick test for nitrate-nitrogen originally developed for water analyses. The quick test was showed to be suitable also for compost analyses. The pot experiment demonstrated that adding bulking agents for compost maturization windrows improves the suitability of composts for vegetable cultivation. However, in the production of composts for use as a soil enrichment in field cultivation, the advantages of the bulking agent addition seem less clear. Therefore, the advantage of using bulking agents should be assessed case-specifically, taking into account the characteristics and the raw materials of the composting process as well as the final use of the compost. In future the use of different bulking agents in compost maturization phase should be costed out.

Keywords: industrial composting, bulking agent, maturization, process control, quality

Alkusanat

Maa- ja elintarviketalouden sivutuotteiden turvalliseen kierrätykseen ja loppusijoitukseen on lähivuosina tulossa useita tiukentuvia lainsäädännön vaatimuksia. Toisaalta Maa- ja metsätalousministeriön kansallinen elintarviketuotannon laatustrategia on ehdottanut maatalouden tuotantopanosten, mukaan lukien kompostit, laadun varmistamiseksi ja tuotantopanoksia valmistavan teollisuuden toiminnan kehittämiseksi tuotantopanosteollisuudelta vaadittavaksi vuoteen 2006 mennessä kansainväliset standardit täyttävät sertifiointikelpoiset ympäristö- ja laatu järjestelmät.

Kompostin kypsymisen olosuhteet Suomen leveysasteilla vaihtelevat voimakkaasti vuodenaikojen mukaan. Biojätteen kompostointi on erityisen hidasta ja altistuminen vuodenaikojen vaihtelulle jälkikypsytyksessä onkin tavallista.

Kompostointilaitokset Suomessa tarvitsevat lähitulevaisuudessa pohjoisiin sääoloihin soveltuvan kompostoinnin jälkikypsymisen omavalvontamenetelmän, jolla paitsi varmistetaan myös dokumentoidaan kompostin kypsyminen.

Tässä raportoitavassa hankkeessa tuotetun tietotaidon avulla nostetaan kompostilaitosten valmiuksia toimia tiukentuvan lainsäädännön vaatimusten mukaisina hyväksytyinä väliasteen laitoksina maa- ja elintarviketalouden sivutuotteiden sekä yhdyskuntajätteen turvalliseen käsittelyssä.

Hankkeen tutkimuksellisten osien toteutuksesta ja tämän raportin laadinnasta ovat vastanneet tutkijat Arja Halinen ja Tiina Tontti Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT:stä. Etelä-Suomen Multaravinne Oy:stä hankkeeseen ovat osallistuneet toimitusjohtaja ja Mika Laine sekä laitospäällikkö Hannu Nyman, joka on vastannut tutkimuksen käytännön järjestelyistä kompostointilaitoksella. Näytteenotosta, kompostointilaitoksella tehdyistä mittauksista sekä kasvatuskokeen hoidosta ovat vastanneet tutkimusmestari Pekka Kivistö ja tutkimusapulainen Teppo Tujula MTT:stä. Kompostien kypsymisen seurannan laboratoriomääritykset on tehty MTT:n Ympäristöhallinnan laboratoriossa ja kasvatuskokeen määritykset Viljavuuspalvelu Oy:ssä. Hankkeen johtamisesta ja hallinnoinnista on vastannut toimialapäällikkö Juha Pirkkamaa Agropolis Oy:stä ja valvojana on toiminut ympäristöinsinööri Matti Koponen Hämeen ympäristökeskuksesta.

Kiitämme lämpimästi hankkeen toteuttajia ja kaikkia toteutuksessa avustaneita, erityisesti Hämeen ympäristökeskusta ja Etelä-Suomen Multaravinne Oy:tä hankkeen rahoituksesta.

Toivomme tämän julkaisun osaltaan edistävän maa- ja elintarviketalouden sivutuotteiden sekä yhdyskuntajätteen turvallista kierrätystä sekä parantavan ympäristöliiketoiminnan kestävää kilpailukykyä.

Jokioisilla 31.7.2004

Juha Pirkkamaa

Sisällysluettelo

1 Johdanto	8
2 Kompostointiprosessi	11
2.1 Kompostoinnin mikrobiologiset perusteet	11
2.1.1 Ympärys kompostin mikrobitoiminnan tehostamisessa	11
2.2 Kompostoinnin lähtöaineet	12
2.3 Kompostoinnin vaiheet lämpötilan ja mikrobiologian mukaan	12
2.4 Kompostin patogeeneit ja hygienisoituminen	14
2.5 Valmiin kompostituotteen laatu ja loppukäyttö	15
3 Kompostin stabiilisuus ja kypsyys	17
3.1 Stabiilisuus	17
3.2 Kypsyys	18
3.2.1 Raa'an kompostin käytön haitat	19
3.2.2 Kompostin kypsyyden arviointi	19
3.2.2.1 Kompostin lämpötila	21
3.2.2.2 Hapen ja hiilidioksidin pitoisuus kompostissa	21
3.2.2.3 Typen olomuotoihin perustuva kompostoinnin seuranta	21
3.3 Kompostin kypsymisen ja laadun seuranta kompostointilaitoksissa	21
4 Aineisto ja menetelmät	22
4.1 ESMR-laitoksen kompostointiprosessi ja kompostoinnin raaka-aineet	22
4.2 Kypsymisen seurannan osa-alueet ja tutkitut kompostiaumat	23
4.2.1 Tukiaineen määrän optimointi kypsytyksessä	23
4.2.2 Auman koon vaikutus kypsymiseen	24
4.2.3 Ympäryksen vaikutus kypsymiseen	24
4.2.4 Aumojen perustamisvuodenajan vaikutus kypsymiseen	24
4.2.5 Ammonium- ja nitraattitypen määrä kypsytyksaumoissa ja nitraattitypen pikatestin soveltuvuus kompostin kypsyyden arviointiin	25
4.3 Kompostin kypsymisen seurantamenetelmät	25
4.3.1 Lämpötila-, happi- ja hiilidioksidimittaukset	25
4.3.2 Näytteenotto kompostiaumoista ja liukoisen typen analyysit	25
4.4 Kypsytetyn kompostin laatu kasvualustakäytössä	26
5 Tulokset ja tulosten tarkastelu	28
5.1 Tukiaineen määrän optimointi jälkikypsytyksessä	28

5.3 Ympäryksen vaikutus kypsymiseen.....	32
5.4 Auman perustamisvuodenajan vaikutus kypsymiseen	34
5.5 Liukoisen typen määrä tukiaumoissa ja nitraattitypen pikatestin soveltuvuus kompostin kypsytyden arviointiin	37
5.5.1 Liukoisen typen määrä	37
5.5.2 Eri analyysimenetelmien antamien tulosten suhde	37
5.6 Kasvatuskoe.....	41
6 Yhteenveto ja johtopäätökset.....	44
6.1 Laitoskompostoinnin menetelmien kehittäminen tutkimustulosten perusteella.....	44
6.1.1 Kompostin kypsytyksen tehostaminen ja tasalaatuisen kompostin tuottaminen läpi vuoden	44
6.1.1.1 Tukiaineen lisäys jälkikypsytysvaiheessa	44
6.1.1.2 Auman koko	44
6.1.1.3 Ympäry.....	45
6.1.1.4 Auman perustamisvuodenajan vaikutus.....	45
6.1.2 Kypsymisen seuranta kompostointilaitoksessa	45
6.1.2.1 Lämpötila- ja kaasumittaukset.....	45
6.1.2.2 Nitraattitypen pikatesti	46
6.1.3 Kompostien laatu kasvualustakäytössä	46
6.1.4 Kompostointilaitosten omavalvonta.....	47
6.2 Jatkotutkimustarpeet.....	47
7 Kirjallisuus	48
8 Liitteet.....	53

1 Johdanto

Jätehuollon kehittäminen Suomessa perustuu EU:n ja Suomen jätepolitiikan tavoitteisiin, joita ovat luonnonvarojen järkevän käytön edistäminen sekä jätteiden terveydelle ja ympäristölle aiheuttamien haittojen ehkäiseminen ja torjuminen. Tavoitteiden toteuttamiseksi noudatettavia periaatteita ja niiden käytännön toteuttamista ohjaa Tarkastettu valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2005 (Ympäristöministeriö 2002). Suunnitelman täytäntöönpanoa arvioidaan vuoden 2005 aikana, jolloin myös laaditaan uusi jätesuunnitelma.

Tärkeä osa EU:n ja Suomen jätehuollon kokonaiskuvaa on erillisistä jätėjakeista muodostuvien jätevirtojen hallinta. Kuhunkin jätėjakeeseen kohdistettavia toimenpiteitä säätelevät muodostuvan jätteen määrä, haitallisuus, käsittelymahdollisuudet ja jätteestä ekosysteemille aiheutuvat riskit.

Biojätteen käsittelyä säätelevät tarkistetun valtakunnallisen jätesuunnitelman (Ympäristöministeriö 2002) ohella valtioneuvoston päätös kaatopaikoista (VNp 4.9.1997/861), jätelaki (VpL 3.12.1993/1072) ja –asetus (VpA 22.12.1993/1390), ympäristönsuojelulaki (VpL 4.2.2000/86) ja –asetus (VpA 18.2.2000/169), Euroopan yhteisön eläinten sivutuoteasetus (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 3.10.2002/1774) sekä valmisteilla olevat biojätedirektiivi Biohajoavan jätteen biologiset käsittelymenetelmät ja kansallinen biojätestrategia (Ympäristöministeriö 2003). Lisäksi biojätteen käsittelyyn kohdistuu vaatimuksia elintarviketuotannon puolelta, erityisesti kansallisen elintarviketuotannon laatustrategian (Maa- ja metsätalousministeriö 1999) edellyttäessä laatujärjestelmien käyttöönottoa koko elintarviketuotannon ketjussa. Biojätteestä maanparannuskomposteja tai lannoitteita tuotava jätehuollon osa-alue käsitetään tällöin elintarviketeollisuuden tuotantopanoksia tuottavaksi alaksi.

Valtioneuvoston kaatopaikkapäätös (VNp 4.9.1997/861) kieltää sellaisen asumisessa syntyneen sekä ominaisuuksiltaan ja koostumukseltaan siihen rinnastettavan jätteen sijoittamisen kaatopaikalle, josta suurinta osaa biohajoavasta jätteestä ei ole erilliskerätty hyödynnettäväksi. Määräys astuu voimaan 1.1.2005. Sen noudattamiseksi on kehitetty biohajoavan jätteen erilliskeräilyä, käsittelyä ja hyödyntämistä. Riittävän käsittely- ja hyödyntämiskapasiteetin turvaamiseksi biohajoavan jätteen hyödyntämislaitosten määrää on edelleen lisättävä (Ympäristöministeriö 2002). EU:n kaatopaikkadirektiivin (Euroopan neuvoston direktiivi 26.4.1999/31/EY) mukaan biohajoavan yhdyskuntajätteen käsittelyä on asteittain tehostettava niin, että biohajoavaa yhdyskuntajätettä saa sijoittaa kaatopaikalle vuonna 2006 enintään 75 %, vuonna 2009 enintään 50 % ja vuonna 2016 enintään 35 % vuonna 1994 tuotetun biohajoavan jätteen kokonaismäärästä (1,7 milj.t). Valmisteltavan biojätestrategian tavoitteena on nimenomaan biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoituksen vähentäminen. Tarkistetussa valtakunnallisessa jätesuunnitelmassa vuoteen 2005 esitetyn aikataulun mukaan vuonna 2010 kaatopaikoille saisi sijoittaa enintään 20 % silloin syntyvästä biohajoavasta yhdyskuntajättemäärästä (Ympäristöministeriö 2002).

EU:n komission biojätteen biologista käsittelyä koskevassa muistiossa (Euroopan komissio 2001) biohajoavaksi jätteeksi määritellään kaikki jäte, joka voi hajota aerobisesti tai anaerobisesti. Muistion mukaan biojätteen käsittelyn tilaa tulee parantaa mm. erilliskerätyn biojätteen kompostoinnilla ja kompostin hyödyntämisellä joko lannoitteena tai maanparannusaineena. Yli 250 t käsiteltyä biojätettä vuodessa tuottaville laitoksille esitetään muistiossa tiettyjä vaatimuksia koskien kompostointiprosessia ja lopputuotteen laatua. Hygienesyyden indikaattoriorganismina on käytettävä ainakin *Salmonella senftenberg* W775 –

mikrobia, jota ei saa esiintyä käsitellyssä materiaalissa. Kyseinen testi on tehtävä 12 kk:n kuluessa laitoksen toiminnan käynnistymisestä ja tarvittaessa uudelleen, mikäli esim. käsiteltävän biojätteen koostumus tai laitoksen prosessi muuttuvat. Kompostoinnin tulee tapahtua termofiilisellä lämpötila-alueella siten, että kompostin kosteus, ravinteet, rakenne ja ilmastus voidaan pitää prosessille suotuisina useiden viikkojen ajan. Yli 50 t käsiteltyä biojätettä vuodessa tuottavien laitosten tulee muistion mukaan seurata prosessin kannalta tärkeitä parametreja, joita ovat lämpötila, kosteus ja kääntöjen määrä, ja tallentaa tarkkailun tulokset. Valmiin kompostituotteen hygieenisuus määritetään *Salmonella* spp – ja *Clostridium perfringens* –organismien sekä rikkakasvien siementen esiintymisen mukaan.

Biojätedirektiivin myötä biohajoavien jätteiden käsittely EU:n alueella yhdenmukaistuu ja myös kompostointilaitoksille ja valmiille kompostituotteille asetettavat vaatimukset kiristyvät edelleen. Ennen yhteisötason säädösten voimaantuloa noudatetaan kansallisia standardeja ja määräyksiä. Suomalaisten kompostointilaitosten toimintaa säätelevät mm. laitosten ympäristölupaehdot ja –määräykset. Käytettyjen lupaehtojen ja laatuarvojen hajanaisuus kuitenkin aiheuttaa ongelmia kompostointilaitosten suunnittelussa. Olisikin tarpeen saada käyttöön yhtenäiset arviointikriteerit kompostin kypsyydelle, varastoinnille, levitykselle sekä ravinnesisällölle erityisesti laajamittaisempaa maatalouskäyttöä ajatellen (Ekholm & Lehto 2001).

Jätteen laitos- tai ammattimainen käsittely, kuten laitospompostointi, on ympäristönsuojelulain (VpL 4.2.2000/86) 28 §:n mukaan ympäristölupavarasta toimintaa. Kompostituotteet ovat lannoitelain (VpL 26.2.1993/232) määrittelemiä lannoitevalmisteita, joiden valmistusta, markkinointia ja maahantuontia valvoo Kasvintuotannon tarkastuskeskus (KTTK). Kompostituotteille on asetettu laatuvaatimukset maa- ja metsätalousministeriön päätöksissä lannoitteista ja lannoitevalmisteista (MMMp 21.1.1994/45, MMMp 21.1.1994/46). Lannoitevalmisteiden valvonnasta, ml. näytteenotto- ja analyysimenetelmistä, säädetään mm. maa- ja metsätalousministeriön päätöksellä (MMMp 21.1.1994/47).

Ympäristöluvuissa edellytetään yleisesti, että kompostointi hoidetaan niin, että siitä aiheutuvat haitat, kuten haju-, pöly- ja muut päästöt, ovat mahdollisimman vähäisiä. Kompostimassan riittävään ilmastukseen on kiinnitetty huomiota useissa ympäristöluvuissa. Tukiaineen määrästä ja laadusta annetut määräykset ovat kuitenkin hyvin vaihtelevia. Jälkikypsytyksen hajuhaittojen ehkäisemiseksi voidaan mm. tarvittaessa muuttaa käytettävää tukiainemäärää tai –laatua, peittää aumat tai käyttää aumoissa hajunpoistoaineita (Ekholm & Lehto 2001). Vaikka jälkikypsytykseltä edellytetään hajuhaittojen välttämistä, ei erillistä tukiainelisäystä jälkikypsytyksaumoihin ole edellytetty.

Kompostointi on paitsi jätteenkäsittelymenetelmä, myös keino tuottaa maaperän orgaanista ainesta ja ravinteita korvaavia lannoitteita ja maanparannusaineita (Gallardo-Lara & Nogales 1987). Suomalaisten kompostituotteiden laatua koskevat ympäristölupamääräykset ovat Ekholmin & Lehdon (2001) mukaan kuitenkin varsin yleisluontoisia. Toiminnanharjoittaja on yleisesti velvoitettu esittämään ympäristöviranomaisille erillinen tarkkailusuunnitelma, jossa määritellään, millä tavalla kompostin kypsytys ja mahdollinen haitallisuus ja myrkyllisyys määritetään. Tutkimusten tiheydestä on annettu joitakin määräyksiä, jotka on yleensä suhteutettu laitokselta toimitettavan kompostituotteen määrään. Kompostin laadun seurantamenetelmiä ja prosessilta ja kompostituotteelta edellytettäviä ohjearvoja ei yleensä ole määritelty viranomaislähtöisesti.

Jälkikompostoinnin onnistumiseen vaikuttavat ratkaisevasti kompostoitavan massan esikäsitteily ja esikompostoinnin (kompostoinnin aktiivivaihe, yleensä reaktorikompostointi) toteutus. Lähes kaikilla Ekholmin & Lehdon (2001) tutkimilla laitoksilla todettiin, että

kompostoinnin aktiivivaiheen pidentäminen parantaa kompostimassan laatua ja vähentää jälkikypsytyksen ongelmia. Tämänkaltaisessa menettelyssä pyritään kompostimassan stabiilimiseen ennen siirtoa jälkikypsytykseen. Suomessa nykyisin käytössä olevat ns. ensimmäisen sukupolven kompostointilaitokset on kuitenkin mitoitettu siten, että viipymä reaktorissa on varsin lyhyt, yleensä yhdestä neljään viikkoa. Suomalaiset kompostointilaitokset tarvitsevatkin käyttöönsä menetelmiä, joilla voidaan parantaa jälkikypsytysvaiheen olosuhteita ja varmistaa kompostin riittävä kypsyminen.

Osana Jätelaitosyhdistyksen teettämää selvitystä (Ekholm & Lehto 2001) oli myös saksalaisen asiantuntijan arvio kolmen suomalaisen kompostointilaitoksen toiminnasta. Arviossa todettiin, että kaikissa kolmessa laitoksessa ilmastuksen teho oli riittämätön ja kompostimassassa vallitsi siksi hapenpuute. Selvityksessä kehoitettiin kiinnittämään huomiota koko kompostointiprosessiin sekä aktiivi- että jälkikypsytysvaiheiden aikana ja suositeltiin, että massan laatua seurattaisiin tarkemmin koko prosessin ajan eikä pelkästään reaktorikäsitteilyn aikana.

Tässä tutkimuksessa on selvitetty laitospompostin jälkikypsytyksen tehostamista ja jälkikypsytyksen merkitystä kasvualustaksi seostettavan kompostituotteen laadun kannalta. Lisäksi on kehitetty edelleen kompostin lämpötilan ja kaasujen mittaukseen ja nitraattitypen pikatestiin perustuvaa kompostin kypsymisen seurantamenetelmää.

2 Kompostointiprosessi

Kompostoinnin biologiset perusteet tunnetaan hyvin ja aihetta on tutkittu jo useiden vuosikymmenien ajan sekä jätteidenkäsittelyn että lannoitteiden ja maanparannusaineiden tuottamisen näkökulmista. Varhaisimmat teokset käsitelivät lähinnä kotitalouksien pienkompostointia. Jättemäärien kasvu ja jätelainsäädännön kiristyminen ovat kiihdyttäneet erityisesti suuren mittakaavan kompostointiprosessien tutkimusta ja kehitystä, ja 1980-luvulta alkaen onkin julkaistu useita kompostointia käsitteleviä teoksia ja tutkimusraportteja (Ekholm & Lehto 2001, Epstein 1997, Haug 1993, Hänninen et al. 1992, Paatero et al. 1984, The Staff of BioCycle 1991, Tontti & Mäkelä-Kurto 1999, Ympäristöministeriö 1992) sekä runsaasti kompostointiin liittyviä tutkimustuloksia esitteleviä tieteellisiä artikkeleja.

2.1 Kompostoinnin mikrobiologiset perusteet

Kompostoituminen on prosessi, jossa orgaaninen aines hajoaa kosteissa ja aerobisissa eli hapekkaissa olosuhteissa mikrobitoiminnan vaikutuksesta. Mikrobit siis käyttävät orgaanista ainesta ravintonaan. Prosessin lopputuotteina muodostuu hiilidioksidia, vettä ja stabiloituvaa humusainesta. Lisäksi muodostuu uutta mikrobibiomassaa. Mikrobitoiminnan vaikutuksesta lämpötila kompostissa kohoaa usein huomattavasti ulkoilman lämpötilaa korkeammaksi. Kohonnut lämpötila nopeuttaa kemiallisia ja biologisia reaktioita massassa ja siten orgaanisen aineksen hajoaminen kompostissa on nopeampaa kuin Suomen luononoloissa tapahtuva hidas maatumisen (Biddlestone & Gray 1985, Paatero et al. 1984).

Orgaanisen aineksen kokoaminen yhteen kompostiksi eristää kompostin sisäosat ympäristöstä. Näin massassa tapahtuvan mikrobitoiminnan seurauksena vapautuva lämpö jää massaan ja kompostin lämpötila kohoaa. Orgaanisen aineksen hajotessa muodostuvien hajoamistuotteiden ominaisuudet vaikuttavat myös osaltaan kompostin olosuhteisiin, esimerkiksi massan happamuuteen. Kompostoinnin aikana massan mikrobilajisto ja eri lajien yksilömäärät muuttuvat kompostin muuttuvien olosuhteiden, erityisesti lämpötilan ja pH:n myötä (Biddlestone & Gray 1985).

2.1.1 Ymppäys kompostin mikrobitoiminnan tehostamisessa

Ymppäyksellä tarkoitetaan mikrobien tai entsyymien lisäystä tiettyyn kasvualustaan (kompostia voidaan pitää mikrobien kasvualustana). Ymppäyksen avulla pyritään lyhentämään biologisen prosessin alun viivettä, joka aiheutuu mikrobiston sopeutumisesta uusiin olosuhteisiin ja lisääntymisestä. Viivettä voi kuitenkin aiheuttaa myös hapen vajaus, alhainen lämpötila tai syötteiden laatu, jolloin ymppäys ei välttämättä nopeuta kompostointiprosessin alkua. Ymppäyksellä voidaan myös yleisesti parantaa biologisen prosessin toimintaedellytyksiä tuomalla sopivia mikrobeja tai entsyymejä prosessiin (Golueke & Diaz 1991, Haug 1993).

Golueke & Diaz (1991) erottavat kaksi ymppäysmenetelmää. Mikrobisiirrosteella tarkoitetaan yleensä pienen mikrobimäärän siirtämistä kohteeseen, kun taas massasiirrosteella tarkoitetaan kohteeseen verrattuna suurehkoa siirrostetta. Kompostoinnin yhteydessä tyypillinen ymppäystapa on kierrättää osittain kompostoitunutta massaa tai valmista kompostia prosessin alkuun massasiirrosteena.

Jotta ymppäyksestä olisi hyötyä kompostoinnissa, tulisi siirrosteen sisältää kompostoitumisen kannalta olennaisia mikrobeja, täydentää kompostimassassa jo olevaa mikrobipopulaa-

tiota tai tuoda massaan tehokkaampia mikrobeja kuin siellä jo olevat. Useimmiten kompostoitavassa materiaalissa kuitenkin on jo riittävästi orgaanista ainesta hajottavia mikrobeja, eikä siirrostte ole siten tarpeellinen. Poikkeuksena voivat olla tietyt erittäin homogeeniset materiaalit tai kokonaan steriloitu jäte. Normaalitylanteessa siirrosteen sisältämät mikrobit ovat lukumääräisesti vähäisempiä kuin massassa jo olevat mikrobit, jotka myös ovat paremmin sopeutuneet massan olosuhteisiin ja siten paremmassa kilpailuasemassa. Käytettäessä ympäristönä osittain kompostoitua massaa tai valmista kompostia voi ongelmana olla myös, että siirrostettavan massan mikrobit ovat sopeutuneet myöhempään prosessin vaiheeseen kuin mikä on käynnissä, jolloin niistä ei ole mainittavaa hyötyä kompostoitumisen kannalta (Golueke & Diaz 1991).

2.2 Kompostoinnin lähtöaineet

Kompostoinnin lähtöaineita ovat kompostoitavat jätemateriaalit sekä käytetyt tukiaineet. Tukiaineiden käytön tarkoituksena on massan rakenteen parantaminen siten, että hapen ja muiden kaasujen kulku massassa helpottuu. Lisäksi tukiaineiden käytöllä voidaan säätää massan kosteutta ja ravinnekoostumusta. Tukiaineina voidaan käyttää esim. puuhaketta, puunkuorta, sahanpurua, olkea, puutarhajätettä, turvetta tai valmista kompostia, jotka ovat hitaasti biohajoavaa materiaalia ja kompostoituvat siten jätteen mukana. Biologisesti hajomattomien tukiaineiden, kuten autonrengassilpun, muovinpalasten tai tuhkan käyttö tukiaineena on myös mahdollista. Tukiaineita voidaan osittain kierrättää, mikä voi alentaa kompostoinnin kustannuksia. Tukiaineiden kierrätystä haittaavat kuitenkin massan epäpuhtaudet, biohajoavien tukiaineiden asteittainen hajoaminen prosessissa ja massan vähittäisen tiivistymisen myötä mahdollisesti lisääntyvät hajuhaitat (Biddlestone & Gray 1985, Ekholm & Lehto 2001, Hänninen et al. 1992).

2.3 Kompostoinnin vaiheet lämpötilan ja mikrobiologian mukaan

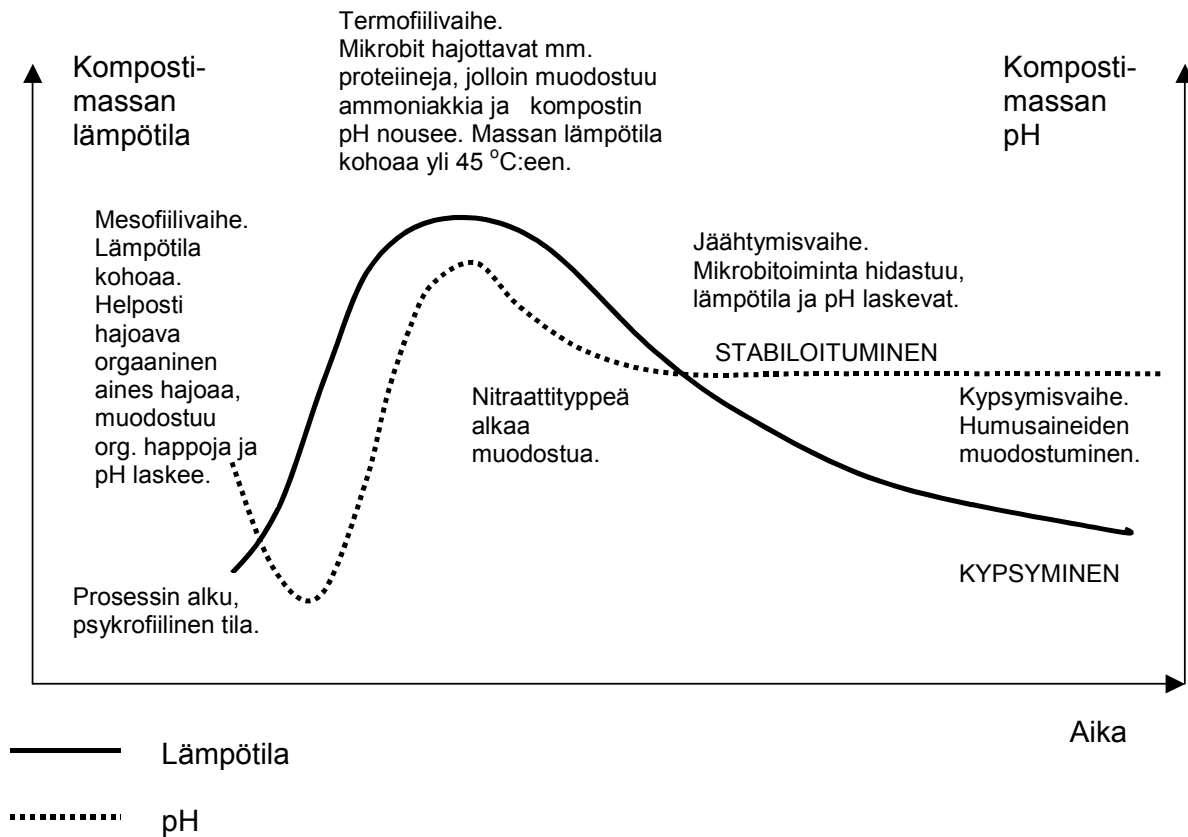
Kompostointiprosessi voidaan jakaa massan lämpötilan perusteella eri vaiheisiin, joissa hajotustoiminnasta vastaavat eri mikrobit. Mikrobit voidaan jakaa lämmönsietokykynsä mukaan kolmeen ryhmään:

- psykoofiiliset mikrobit (0-25 °C)
- mesofiiliset mikrobit (25-45 °C)
- termofiiliset mikrobit (yli 45 °C)

Prosessin alussa kompostin lämpötila on samaa luokkaa kuin ympäristön lämpötila. Suomen olosuhteissa voidaan puhua psykoofiilisestä tilasta. Kompostoinnin alkaessa ensimmäisenä on mesofiilinen vaihe, jossa mikrobit hajottavat sokereita, tärkkelystä ja rasvoja, jotka ovat helpoimmin hajoavaa orgaanista ainesta. Voimistuva mikrobitoiminta kohottaa kompostin lämpötilaa n. 40 °C:een. Mikrobitoiminnan tuloksena muodostuu mm. orgaanisia happoja ja kompostin pH laskee (de Bertoldi et al. 1983, Biddlestone & Gray 1985).

Termofiilisessä vaiheessa kompostin lämpötila kohoaa yli 45 °C:een. Mikrobit alkavat hajottaa mm. proteiineja, joiden hajotessa muodostuva ammoniakki kohottaa kompostin pH:ta. Jäähdytysvaihe alkaa, kun mikrobit ovat hyödyntäneet helpoimmin hajoavan orgaanisen aineksen. Mikrobitoiminta hidastuu, massan lämpötila alkaa laskea ja komposti stabiloituu. Ammoniakin vapauduttua massan pH laskee vähitellen lähelle neutraalia pH-aluetta. Jäähdytysvaiheen lopussa massan lämpötila on jälleen samaa luokkaa kuin ympäristön lämpötila. Viimeisessä eli kypsytysvaiheessa kompostissa on jäljellä vain hyvin hitaasti hajoavaa orgaanista ainesta, mikrobitoiminnan aktiivisuus on vähäistä, eikä kompostin lämpötila enää juurikaan kohoaa. Orgaanisesta aineksesta jäljelle jääneiden ligniinien

sekä muiden pitkäketjuisten hiilihydraattien ja kuolleesta mikrobimassasta peräisin olevien proteiinien välillä tapahtuu kemiallisia reaktioita, joiden tuloksena vähitellen muodostuu humusaineita. Kypsyminen voi kestää useita kuukausia. Lopputuloksena muodostuu kypsää kompostia, jota voidaan hyödyntää maataloudessa ja viherrakentamisessa lannoitteena ja maanparannusaineena (de Bertoldi et al. 1983, Biddlestone & Gray 1985). Kompostin mikrobien, lämpötilan ja pH:n kehitys kompostoitumisen aikana on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Lämpötilan, pH:n ja vallitsevien mikrobityyppien vaihtelu kompostissa kompostoitumisen edetessä (mukaiillen Biddlestone & Gray 1985, Paatero et al. 1984, Venelampi et al. 2002).

2.4 Kompostin patogeenit ja hygienisoituminen

Patogeenit ovat mikrobeja, jotka voivat aiheuttaa sairauksia. Primaariset patogeenit voivat aiheuttaa sairauksia terveillekin yksilöille, kun taas sekundaariset patogeenit ovat haitallisia vain yksilöille, joiden vastustuskyky on tavanomaista heikompi esimerkiksi iän tai terveydentilan vuoksi. Lähinnä ruokajätteestä muodostuvassa erilliskerätyssä biojätteessä on yleensä vain pieniä määriä ihmiselle patogeenisia mikrobeja, jotka ovat peräisin kotieläinten ulosteista ja biojätteen joukossa olevista epäpuhtauksista (Epstein 1997). Kompostointilaitoksissa käsitellään usein myös jätevesilietettä, joka sisältää runsaasti patogeeneja, etenkin jos lietettä ei ole mädätetty ennen kompostointia. Jätevesiliete voi sisältää paitsi ihmisen ja eläinten suolistobakteereita, myös muita patogeeneja, joita voi kulkeutua lietteeseen esimerkiksi teurastamoista, elintarviketeollisuudesta ja sairaaloista. Lietteen sisältämien patogeenien määrään vaikuttavat myös mm. ihmisten terveydentila, puhdistamon tyyppi sekä sääolosuhteet (Hänninen et al. 1993, Dumontet et al. 1999). Jätevesilietteen ja biojätteiden ihmispatogeeneista merkittävimpiä ovat enterokokit, *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Ascaris* ja *Aspergillus* (Lepeuple et al. 2004).

Kompostin hygienisoimisella tarkoitetaan kasveille, eläimille ja ihmisille patogeenisten organismien määrän vähentämistä tasolle, jolla niistä ei aiheudu riskejä kompostin käsittelyn ja käytön yhteydessä. Hygienisoituminen tapahtuu pääosin kompostoinnin aktiivivaiheessa, jolloin suurin osa haitallisista mikrobeista tuhoutuu korkean lämpötilan vaikutuksesta. Korkean lämpötilan ohella hygienisoitumista aikaansaa myös kompostin olosuhteiden muuttuminen: lämpötilan muutokset tekevät kompostista useille patogeeneille epäsovikasvualueen. Myös mikrobien välinen kilpailu, saalistus ja tiettyjen mikrobien erittämät antibioottiset aineet heikentävät patogeenien elinmahdollisuuksia (Dumontet et al. 1999, Epstein 1997, Euroopan Komissio 2001).

Kompostointi on tehokas menetelmä jätteiden hygienisoimiseksi. Useimmat patogeenit ovat sopeutuneet elämään alle 40 °C:n lämpötiloissa ja lämpötilan nousu termofiiliselle alueelle tuhoaa ne. Tosin eräät mikrobit muodostavat itiöitä, jotka kestävät myös erittäin korkeita lämpötiloja ja voivat aktivoitua uudelleen olosuhteiden muuttuessa jälleen suotuisiksi (Pereira Neto et al. 1987). Hygienisoitumisen asteen määrittämiseen käytettävät menetelmät perustuvat yleensä joko tiettyjen patogeenien, kuten *Salmonellan*, häviämiseen tai indikaattorimikrobien määrien selvittämiseen. Indikaattorimikrobien läsnäolo näytteessä kertoo myös muiden samantyyppisissä olosuhteissa viihtyvien patogeenisten mikrobien mahdollisesta läsnäolosta. Kompostien hygienisoitumisen seurannassa käytettyjä suolistoperäisiä indikaattorimikrobeja ovat mm. enterokokit, fekaaliset koliformit, enterobakteerit ja fekaaliset streptokokit sekä eräät virukset. Ongelmana on, millä menetelmällä mikrobimääritykset pitäisi tehdä ja mille asteelle hygienisoitumisen tulisi edetä, eli kuinka suuret mikrobimäärät voidaan sallia. Kompostien hygienisoitumisen seurantaan soveltuvien indikaattorimikrobien määrittäminen on myös osoittautunut ongelmalliseksi (de Bertoldi et al. 1991).

Dumontet et al. (1999) toteavat, että kirjallisuuden perusteella komposti hygienisoituu tehokkaasti, kun sen lämpötila on kolmen peräkkäisen päivän ajan yli 55 °C. Yli 60 °C lämpötilan on havaittu vähentävän huomattavasti kompostin mikrobipopulaation monimuotoisuutta ja siten mahdollisesti hidastavan orgaanisen aineksen hajoamista. EU:n eläinten sivutuoteasetus (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 3.10.2002/1774) vaatii kuitenkin kompostin hygienisoimiseksi massan lämpötilan nostamista 70 °C:een vähintään tunnin ajaksi. Maa- ja metsätalousministeriön ja Kasvintuotannon tarkastuskeskuksen julkaiseman sivutuoteasetuksen soveltamisoppaan (2004) mukaan alhaisemmatkin lämpötilat ovat riit-

täviä, mutta viipymä niissä on oltava huomattavasti pidempi. Toistaiseksi on epäselvää, millaisia vaatimuksia kompostin hygienisoimiseen kohdistuu tulevan biojätedirektiivin myötä.

2.5 Valmiin kompostituotteen laatu ja loppukäyttö

Ympäristöministeriön (1992) Kompostityöryhmän mietinnön mukaan kompostituotteella tarkoitetaan kompostoinnin lopputuotetta joko sellaisenaan tai jälkikäsiteltynä, esimerkiksi seulottuna tai seostettuna muihin materiaaleihin. Kompostituotteet ovat yleensä joko maanparannusaineita tai kasvualustoja, mutta ne voivat olla myös lannoitteita.

Maanparannusaineet ovat valmisteita, joita käyttämällä parannetaan maan tai kasvualustan ominaisuuksia kasvien kasvun edistämiseksi tai sadon laadun parantamiseksi. Maanparannusaineiden vaikutus perustuu pääasiassa muuhun kuin niiden sisältämiin kasvinravinteisiin. Kasvualustat ovat teknisesti käsiteltyjä, kiinteitä, kasvien kasvupohjana käytettyjä aineita. Lannoitteet ovat valmisteita, jotka sisältämiensä kasvinravinteiden tai muiden hyödyllisten aineiden johdosta parantavat kasvien kasvua tai sadon laatua (Ympäristöministeriö 1992).

Kompostituotteita käytetään maanviljelyssä lähinnä maanparannusaineina, joiden avulla pyritään tehostamaan maan mikrobitoimintaa ja parantamaan maan rakennetta ja vedenpidätyskykyä. Kompostituotteiden maanparannusvaikutus perustuu niiden sisältämään eloperäiseen ainekseen, jonka avulla voidaan korvata maaperästä sadon myötä poistuvaa orgaanista ainesta. Kompostituotteiden sisältämän erittäin hitaasti hajoavan orgaanisen aineksen hajoamisen myötä maaperässä muodostuu humusaineita, jotka vaikuttavat edullisesti mm. maaperän kationinvaihtokapasiteettiin estäen siten ravinteiden huuhtoutumista, sekä maaperän puskurikykyyn torjuen siten happamoitumista. Kompostituotteiden maanparannusvaikutus riippuu kompostin ominaisuuksista ja vaihtelee mm. kompostoinnin raaka-aineiden mukaan, eikä yksityiskohtaisia laatuvaatimuksia ole toistaiseksi määritelty Suomessa (Gallardo-Lara & Nogales 1987, Tontti & Mäkelä-Kurto 1999).

Kompostituotteiden suorat ravinnevaikutukset ovat usein varsin pieniä ja ravinteet vapautuvat kompostituotteista pitkän ajan kuluessa. Vaikka kompostien kokonaisravinnepitoisuudet ovat usein korkeita, on kasveille käyttökelpoisessa muodossa ensimmäisen vuoden kuluessa levityksestä useimmiten alle 15 % ravinteiden kokonaismäärästä (Tontti & Mäkelä-Kurto 1999).

Suomessa pääosa tuotetusta kompostista käytetään kaatopaikka-alueiden peittämiseen ja maisemointiin. Pienempiä määriä kompostituotteita käytetään maataloudessa, viherrakentamisessa, puutarhoilla ja öljyllä pilaantuneiden maiden kompostoinnissa. Muodostuvan kompostituotteen määrä on kompostointilaitosten henkilökunnan arvioiden mukaan noin puolet prosessiin syötettävän jätteen määrästä tilavuutena mitattuna. Valmiiden kompostituotteiden laatua valvoo Kasvintuotannon tarkastuskeskus (KTTK). Myyntiin menevästä kompostituotteesta on ilmoitettava mm. raaka-aineet, humuspitoisuus, pH, johtokyky, pääravinteiden kokonaispitoisuudet, haitallisten raskasmetallien pitoisuudet ja karkeusaste. Kompostien hygieenisyyttä ja kypsyyttä seurataan yleensä laitoksille asetettujen ympäristölupaehtojen mukaisesti (Ekholm & Lehto 2001).

Toistaiseksi kompostointi nähdään lähinnä jätteenkäsittelymenetelmänä, eikä kompostituotteiden markkinointiin panosteta merkittävästi. Tulevaisuudessa kompostointilaitosten tulisi toimia ensisijaisesti maanparannusaineiden tuotantolaitoksina, joiden tuotteille on määriteltävä standardisoidut laatuksiteerit. Kompostituotteiden tuotekehittelyä tulisi edistää

esimerkiksi kehittämällä kuluttajille erilaisia kompostituotteita eri käyttökohteisiin. Avainasemassa kompostituotteiden markkinoinnissa on laadunvalvonta, ja kompostointilaitosten tulisikin pyrkiä tasalaatuisten kompostituotteiden tuottamiseen valvottujen laatujärjestelmien mukaisesti (Barth 2004). Kompostien laatua ja soveltuvuutta kasvintuotantoon on pyritty arvioimaan erityisesti arvioimalla kompostien stabiilisuutta ja kypsyyttä (Rynk 2003).

3 Kompostin stabiilisuus ja kypsyy

Kompostin stabiilisuus ja kypsyy ovat kompostimassan tilaa kuvaavia suureita, joiden avulla kuvataan paitsi kompostin laatua, myös kompostointiprosessin toimivuutta ja kompostointilaitoksen toimintatehoa. Käsitteiden käytössä on tiettyjä epäselvyyksiä: stabiilisuus kuvaa lähinnä mikrobitoiminnan määrää, mutta eräissä lähteissä sillä tarkoitetaan myös kompostin ominaisuuksia kasvintuotannon kannalta. Oikeampi tapa mitata kompostin soveltuvuutta kasvintuotantoon on kuitenkin kompostin kypsyyden arviointi, sillä kypsyy-käsite sisältää paitsi mikrobitoiminnan myös mm. fytotoksisuuden eli haitallisuuden kasveille. Seuraavissa kappaleissa on selvennetty stabiilisuuden ja kypsyyden käsitteitä.

3.1 Stabiilisuus

Eurooppalaisten lietettä, maata ja käsiteltyä biojätettä koskevien standardien yhdenmukaistamista käsittelevän Horizontal –projektin tuloksena on esitetty myös yhteistä standardia stabiilisuudelle. Stabiilisuutta käsittelevässä standardiluonnoksessa (Cooper 2004) todetaan, että stabiilisuudelle on löydettävissä kirjallisuudesta useita osin ristiriitaisia määritelmiä. Luonnoksessa esitetäänkin, että termi ”stabiilisuus” tulisi korvata termillä ”biohajoamisen aste”, koska stabiilisuus käsitteenä on harhaanjohtava ja stabiilisuutta mitattaessa viitataan useimmissa lähteissä biohajoamisen asteen mittaamiseen. Toisaalta todetaan myös, että ”biohajoamisen aste” tarkoittaa eri asiaa kuin käsite ”biohajoavuus”.

Kompostoinnin yhteydessä stabiilisuudella tarkoitetaan nimenomaan massassa tapahtuvan orgaanisten aineiden hajoamisen vakiintumista tietylle tasolle. Lasaridi & Stentiford (1996) ovatkin määritelleet biologisen stabiilisuuden tarkoittavan helposti biohajoavan orgaanisen aineksen tiettyä hajoamisen astetta. Määritelmän mukaan biologinen stabiilisuus kuvaa hajotusprosessin vaihetta tunnetulla asteikolla, jonka mukaisesti eri hajoamisprosesseja voidaan vertailla keskenään.

Kompostissa orgaaninen aines hajoaa mikrobitoiminnan vaikutuksesta, joten stabiloituminen tarkoittaa lähinnä tiettyä mikrobitoiminnan vaihetta (Epstein 1997). Kompostin stabiilisuuden arviointi perustuuakin ensisijaisesti kompostin mikrobitoiminnan aktiivisuutta kuvaaviin menetelmiin. Mikrobitoiminnan aktiivisuutta voidaan mitata mikrobien hengitystä mittaavin menetelmin, jotka keskittyvät mikrobien hapenottoon, hiilidioksidin ja lämmön tuottoon. Näistä nk. respirometrisista menetelmistä on kehitetty lukuisia muunnoksia, joiden avulla kompostin mikrobitoiminnan tilaa voidaan arvioida sekä laboratoriossa että laajemmassa mittakaavassa (Frost et al. 1992, Scaglia et al. 2000, Willson & Dalmat 1986). Cooper (2004) on arvioinut Horizontal –standardiluonnoksen laatimisen yhteydessä stabiilisuuden eli biohajoamisen tilan arviointiin käytettävistä menetelmistä hiilidioksidin tuottoa, hapen kulutusta, lämmön tuottoa sekä kaupallisen Solvita® -testipakkauksen käyttöä. Standardiluonnoksessa esitetään, että biohajoamisen tilaa mittaava standardi perustuisi hiilidioksidin tuottoa mittaavaan menetelmään, jota pidetään yksinkertaisimpana ja edullisimpana arvioiduista vaihtoehdoista. Hiilidioksidin tuoton mittaamiseen perustuville menetelmille on jo olemassa kaksi ISO-standardia, jotka on tarkoitettu muovien biohajoavuuden mittaamiseen vesipitoisessa väliaineessa (ISO 14852:1999) ja kompostointiolosuhteissa (ISO 14855:1999).

Kompostoitumisen alussa mikrobitoiminta on hyvin kiivasta ja kompostimassan orgaaninen aines muuttuu nopeasti. Prosessin edetessä mikrobitoiminta ja siten orgaanisen aineksen hajoaminen hidastuvat ja massan olomuoto vakiintuu, koska mikrobien käytettävissä ei

enää ole helposti ja nopeasti hajoavaa ainesta. Stabiilissa kompostissa tapahtuu edelleen mikrobitoimintaa, jossa orgaaninen aines hajoaa ja muuttuu toiseen muotoon, mutta muutos on hyvin hidasta. Stabiiloituminen ei kuitenkaan voi olla täydellistä, sillä täydellisen stabiili tilanne tarkoittaisi sitä, että kaikki orgaaninen aines olisi hajonnut ja lopputuotteena olisi vain hiilidioksidia ja vettä (Haug 1993).

Stabiiloitumisen myötä myös hapen määrä kompostissa vakiintuu, eikä stabiiloitunut komposti vaadi enää aktiivista ilmastusta tai kääntämistä hapellisten olosuhteiden ylläpitämiseksi. Mikrobien saatavilla olevan hapen määrän lisääntyminen esimerkiksi kompostin levityksen yhteydessä ei siis enää kiihdytä mikrobitoimintaa merkittävästi. Toisaalta varastointi suurissa kasoissa ei enää johda hapen loppumiseen massasta ja anaerobisiin olosuhteisiin. Ympäristöministeriön (1992) Kompostityöryhmä määrittelikin mietinnössään, että kompostituote on stabiiloitunutta, jos sitä voidaan varastoida suurissa kasoissa ja levittää ilman mainittavaa anaerobisuudesta johtuvaa hajuhaittaa.

3.2 Kypsyys

Kompostin stabiilisuus liittyy mikrobitoimintaan ja orgaanisen aineksen hajoamiseen, kun taas kompostin kypsyys kuvaa tilaa, jossa komposti on paitsi stabiilia myös soveliaista käytettäväksi kasvinviljelyssä. Kypsä komposti ei sisällä merkittäviä määriä kasveille haitallisia eli fytotoksisia yhdisteitä. Kypsyys kuvaa kompostin soveltuvuutta käyttöön ja liittyy olennaisesti kompostointiprosessiin. Kompostin käytön kannalta olennaisia tekijöitä ovat mm. korkea hajoamisaste ja fytotoksisten yhdisteiden kuten orgaanisten happojen ja ammoniakkin alhainen määrä (Cooperband et al. 2003, Itävaara et al. 1998).

Kypsä komposti on ulkonäöltään tummanruskeaa tai mustaa, multamaista massaa, josta ei enää voi tunnistaa kompostin alkuperäisiä lähtöaineita. Kypsan kompostin haju muistuttaa lähinnä mullan hajua, ja hajun lähteenä ovat pääosin sädesienet. Kompostin kypsyyttä voidaan jossain määrin arvioida massan ulkonäön ja aistinvaraisten ominaisuuksien perusteella, mutta etenkin yhdyskuntajätekompostien kohdalla ulkonäkö voi helposti pettää: murskattu, lyhyen aikaa kompostoitu massa voi ulkoisilta ominaisuuksiltaan muistuttaa multaa, vaikka se ei olisikaan kasvintuotannon kannalta riittävästi kypsyyntä (Keller 1960).

Ympäristöministeriön kompostityöryhmä jaotteli mietinnössään (1992) kompostin kypsyyden kahteen luokkaan. Kypsyneessä kompostissa fytotoksisten aineiden pitoisuus on laskeutunut sellaiselle tasolle, ettei niistä aiheudu haittaa siementen peltoviljelylle. Hyvin kypsyyneessä kompostissa fytotoksisten aineiden pitoisuudet ovat niin alhaisia, etteivät ne aiheuta haittoja herkkienkään kasvien juuriston kehitykselle. Hyvin kypsyyneen kompostin tunnusmerkkejä ovat Kompostityöryhmän mukaan myös korkea humusaineiden pitoisuus ja optimitasolle parantuneet fysikaalis-kemialliset ominaisuudet, kuten ioninvaihtokyky, vedenpidätyskyky ja rakenne. Hyvin kypsyyntä komposti onkin näin ollen soveliaista jopa vaati-vaan viherrakentamiseen ja kasvualustakäyttöön.

Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että kompostien käytöllä maataloudessa on myönteisiä vaikutuksia sekä ympäristön että maataloustuotannon kannalta. Jättemateriaalien ravinteiden kierrättäminen ja luonnonvarojen käytön vähentäminen ovat kestävän kehityksen periaatteen mukaisia toimia ja siten olennainen osa ekologisesti, taloudellisesti ja sosiaalisesti kestävästä jätehuollosta ja maataloudesta. Jättemateriaalien kierrätys maataloudessa on kuitenkin aina toteutettava niin, että ei aiheuteta maataloustuotteiden tai ympäristön saastumista (Mäkelä-Kurto & Sippola 1994, Yli-Viikari et al. 2000).

Kompostien käyttöä maataloudessa puoltavat monet seikat, kuten maaperästä sadon mukana poistuvan orgaanisen aineksen korvaaminen, jättemateriaalin ravinteiden kierrättäminen kasveille sekä maaperän fysikaalis-kemiallisten ja biologisten ominaisuuksien parantaminen. Kompostoidun materiaalin käyttö maataloudessa onkin useimmiten parempi vaihtoehto kuin käsittlemättömien jättemateriaalien käyttö, huolimatta kompostoinnista aiheutuvista käsittelykuluista. Maataloudessa kompostia käytetään ensisijaisesti maanparannusaineena. Kompostin käytöllä voidaan parantaa maan mururakennetta ja vedenpidätyskykyä sekä tehostaa maaperän mikrobitoimintaa. Kompostin sisältämät humusaineet nostavat maan kationinvaihtokapasiteettia ja siten ehkäisevät ravinteiden huuhtoutumista maasta. Humusaineet myös parantavat maaperän puskurikykyä ja ehkäisevät siten maaperän happamoitumista. Kypsien kompostien ravinteet ovat niukkaliukoisia ja vapautuvat hitaasti kasvien käyttöön, joten kompostien suora ravinnevaikutus on usein pieni. Kompostien käyttö voi myös vähentää kasvitauteja (Barker 1997, Gallardo-Lara & Nogales 1987, Lehtonen et al. 2003, Tontti & Mäkelä-Kurto 1999).

3.2.1 Raa'an kompostin käytön haitat

Raa'alla kompostilla on useita epäedullisia vaikutuksia maaperään ja kasveihin. Siksi kompostin kypsyys on erittäin tärkeää kompostin käytön kannalta, erityisesti mikäli kompostia levitetään pellolle juuri ennen siementen kylvöä tai sitä käytetään kasvualustana (Inbar et al. 1991, Itävaara et al. 1998).

Mikäli komposti ei ole vielä riittävästi stabiloitunutta, mikrobit jatkavat kompostin orgaanisen aineksen hajotusta edelleen maaperässä. Raa'an kompostin C/N –suhde on tyypillisesti korkea, eli se sisältää runsaasti hiiltä suhteessa typen määrään. Kompostin hiiliyhdisteitä hajottavat mikrobit tarvitsevat kuitenkin myös typpeä, jota ne ottavat maaperästä. Lisääntynyt mikrobitoiminta voi johtaa typen immobilisaatioon, jolloin maaperän typpeä sitoutuu mikrobitoimintaan ja kasvien käytettävissä olevan typen määrä pienenee. Siten raa'an kompostin levittäminen voi johtaa kasvien typenpuutteeseen (Bernal et al. 1998).

Typen immobilisaation ohella raa'an kompostin levityksestä voi aiheutua muitakin haittoja. Mikrobimäärän lisääntyessä myös mahdollisesti haitallisten mikrobien määrä kasvaa (Inbar et al. 1990). Lisääntynyt mikrobitoiminta kuluttaa maaperän happea. Hapettomissa tai vähähappisissa, pelkistävissä olosuhteissa useimpien metallien liukoisuus kasvaa, jolloin ne kulkeutuvat helpommin kasveihin niiden ottaessa maasta vettä ja ravinteita. Tämä voi lisätä erityisesti raskasmetallien kasveille aiheuttamia vaurioita. Hapen puute voi myös suoraan häiritä kasvien juuriston kehittymistä. Mikrobien aineenvaihdunnan tuloksena muodostuu useita kasveille myrkyllisiä eli fytotoksisia yhdisteitä, mm. ammoniakkia ja orgaanisia happoja, jotka haittaavat kasvin itämistä, kasvua ja juuriston toimintaa (Itävaara et al. 1998). Raa'an kompostin käyttö voi johtaa myös hajuhaittoihin, ravinteiden huuhtoutumiseen ja patogeenien määrän kasvuun (Inbar et al. 1990).

3.2.2 Kompostin kypsyyden arviointi

Kompostin kypsyyden arvioinnilla pyritään paitsi varmistamaan kompostin laatu loppukäyttöä ajatellen, myös kehittämään kompostointiprosessin hallintaa ja seurantaa sekä tehostamaan kompostointilaitosten toimivuutta. Luotettavan menetelmän löytäminen kompostin kypsyyden arviointiin on keskeisessä asemassa myös kehitettäessä lainsäädännön, erityisesti tulevan biojätedirektiivin kompostointilaitoksilta edellyttämiä omavalvonta- ja laadunarviointimenetelmiä (Barth 2004, Euroopan komissio 2001, Inbar et al. 1990).

Kompostin kypsyyden määrittämistä ja kypsän kompostin ominaisuuksia on tutkittu jo useiden vuosikymmenien ajan. Yhden ensimmäisistä aihetta käsittelevistä tutkimuksista julkaisi Keller (1960), joka arvioi yhdyskuntajätekompostin ja jätevesilietteen kypsyyden määrittämiseen käytettyjä menetelmiä. Hän myös totesi, että raan kompostin käyttö maataloudessa voi aiheuttaa satotappioita. Pitkään jatkuneesta, aktiivisesta tutkimuksesta huolimatta ei ole onnistuttu löytämään yleispätevää menetelmää kompostin kypsyyden arvioimiseksi. Ongelmana on kompostoitavien materiaalien epäyhtenäisyys ja monimuotoisuus. Kompostin laatu vaihtelee riippuen kompostoiduista jätteistä ja käytetyistä tuki- ja lisäaineista, eikä lähtömateriaaleista riippumattomia, yhtäpitäviä laatuarvoja komposteista mitatuille suureille ole pystytty löytämään (Iglesias Jimenez & Perez Garcia 1989, Inbar et al. 1990, Itävaara et al. 1998, Rynk 2003).

Kompostin kypsyyden arvioinnissa käytettävän menetelmän tulisi olla toistettava, tarkka ja herkkä havaitsemaan mitattavien suureiden muutokset. Mitattujen suureiden tulisi kuvata kompostoinnin ja kompostin kypsyyden kannalta olennaisia tekijöitä. Menetelmän tulisi myös olla helppo käyttää ja sen käytön tulisi olla taloudellisesti kannattavaa (Itävaara et al. 1998). Ihanteellisen menetelmän tulisi kuvata hyvin kompostoitumisprosessia ja mitattavien suureiden tulisi muuttua tietyn, tunnetun kaavan mukaisesti. Tulosten tulisi myös olla vertailtavissa riippumatta kompostoitavista jätteistä ja käytetyistä tukiaineista (Namkoong et al. 1999).

Chen (2003) on jaotellut kompostin stabiilisuuden ja kypsyyden arvioinnissa käytetyt menetelmät seuraavasti:

- 1) fysikaaliset menetelmät (lämpötila, haju, väri, partikkelikoko, kosteus, happipitoisuus)
- 2) kemialliset menetelmät (C/N –suhde massassa ja sen vesiuutteissa, kationinvaihtokapasiteetti, alkuaineanalyysit, orgaanisen aineksen pitoisuus, tuhkapitoisuus, vesiliukoinen orgaaninen aines, humustumisindeksit)
- 3) spektroskooppiset analyysit (NMR-, FTIR- ja DRIFT-spektrit)
- 4) biokemialliset parametrit (hapen ja hiilidioksidin respirometria, muut mikrobiaktiivisuuden määrittämismenetelmät)
- 5) biologiset menetelmät (kasvinsiementen itävyys, kasvien kasvun havainnointi joko kompostikasvualustoilla tai kasvualustoilla, joihin lisätään kompostiuutteita)

Vastaavan jaottelun ovat esittäneet myös Iglesias Jimenez & Perez Garcia (1989), jotka esittivät lisäksi taulukoituna yhteenvedon kypsää kompostia kuvaavista arvoista.

Useimmat edellä esitetyistä menetelmistä antavat tutkimustulosten perusteella suhteellisen luotettavaa tietoa kompostointiprosessin kulusta ja kompostimassan kypsyyden asteesta. Aistinvarainen havainnointi on yksinkertaista, mutta myös hyvin epätarkkaa. Fysikaaliset ja kemialliset menetelmät sekä spektroskooppiset analyysit ovat usein varsin riippuvaisia kompostoitavan materiaalin ominaisuuksista eivätkä siten mahdollista yleispätevien raja-arvojen määrittelyä kompostien laatuokituksen perusteeksi. Mikrobiaktiivisuutta mittaavat menetelmät eivät ole yhtä riippuvaisia kompostin materiaaleista, mutta mikrobiaktiivisuutta säätelevät ulkoiset tekijät, kuten lämpötila ja kosteus, vaikuttavat tuloksiin voimakkaasti. Siten esimerkiksi kompostin liiallinen kuivuminen tai voimakas myrkyvaikutus voi häiritä mikrobiaktiivisuuteen perustuvan kypsyystestin toimivuutta. Kasvien kasvuskokeet kuvaavat todenmukaisesti kompostin käyttöarvoa maataloudessa, mutta ovat hitaita toteuttaa. Lisäksi kasvien kasvuun vaikuttavat useat tekijät, joten kasvukokeiden standardointi on vaikeaa. Suurimmalle osalle kompostin kypsyystesteistä on yhteistä, että luotettavan tuloksen saaminen vaatii runsaasti aikaa, erikoisosaamista kuten tietoa kompostin kemiasta, sekä hyvin varustellun laboratorion. Siten kypsyystestit muodostuvat varsin kalliiksi, eikä kompostointiprosessin reaaliaikainen kuvaus ole mahdollista (Itävaara et al. 1998, Venelampi et al. 2002).

3.2.2.1 Kompostin lämpötila

Lämpötilan mittaus on käytetyin kompostin tilan seurantamenetelmä. Lämpötilan aleneminen kuvaa mikrobitoiminnan vähenemistä helposti hajoavien yhdisteiden ehtyessä. Mikrobitoiminnan määrää ja siten kompostin lämpötilaa voi alentaa kuitenkin myös hapenpuute tai massan kuivuus, mikä voi vääristää mittaustuloksia (Itävaara et al. 1997).

3.2.2.2 Hapen ja hiilidioksidin pitoisuus kompostissa

Tehokkaan aerobisen mikrobitoiminnan varmistamiseksi kompostin happipitoisuus ei saisi alittaa 18 %:ia (de Bertoldi et al. 1983). Mikäli hapen kulku kompostissa estyy, voi massaan muodostua vähähappisia tai hapettomia vyöhykkeitä. Hapen puute massassa ei kuitenkaan yleensä pysäytä mikrobitoimintaa: monet kompostin mikrobeista ovat fakultatiivisesti anaerobisia eli ne kykenevät tarvittaessa toimimaan myös hapettomissa olosuhteissa. Tällöin muodostuu useita pahanhajuisia yhdisteitä, kuten lyhytketjuisia rasvahappoja, ammoniakkia ja rikkiyhdisteitä, jotka ovat pääosin syynä kompostoinnin hajuhaittoihin (Epstein 1997, Haug 1993).

Seuraamalla kompostin sisältämän hapen määrää voidaan arvioida prosessin kulkua ja tarvittaessa muuttaa kompostointiolosuhteita esimerkiksi kääntämällä kompostia. Hiilidioksidin tuotto kompostissa riippuu mikrobitoiminnan voimakkuudesta ja kuvaa siten myös kompostin kypsyysastetta. Suuri hiilidioksidintuotto voi merkitä, että komposti on raakaa ja sisältää runsaasti hajoavaa ainesta. Näin alhainen hiilidioksidintuotto merkitsisi kypsää kompostia. Hiilidioksidintuotto voi kuitenkin olla alhainen myös tilanteessa, jossa mikrobitoiminta on vähentynyt esimerkiksi kuivuuden vuoksi (Venelampi et al. 2002).

3.2.2.3 Typen olomuotoihin perustuva kompostoinnin seuranta

Typen olomuoto kompostissa muuttuu prosessin aikana. Raaka-ainassa kompostissa suurin osa typestä esiintyy yleensä ammoniakkina (NH_3) tai ammoniumtyyppinä (NH_4). Kompostin kypsyessä nitraatti- ja nitriittitypen (NO_3 ja NO_2 , vastaavasti) osuus kasvaa. Nitraattityypen määrää ja ammonium- ja nitraattityypen suhdetta onkin esitetty kompostin kypsyymisen mittareiksi (Iglesias Jimenez & Perez Garcia, 1989, Itävaara et al. 1998).

3.3 Kompostin kypsymisen ja laadun seuranta kompostointilaitoksissa

Tulevaisuuden biojätehuolto edellyttää kompostointilaitoksilta entistä tehokkaampaa oma-valvontaa ja toimimista kehitettävän laatujärjestelmän mukaisesti. Yksittäisen, luotettavan kompostin kypsyyttä kuvaavan menetelmän puuttuessa kompostoinnin kypsyymisen arvioinnin on nojauduttava useampaan menetelmään (Venelampi et al. 2002, Rynk 2003). Kompostointiprosessin hallinnan ja lopputuotteen laadun parantamiseksi tulisi kehittää mittausmenetelmiä, joilla seurataan kompostin kypsymistä ja parannetaan kompostituotteiden käyttökelpoisuutta ja laatua (Anhava et al. 2001).

4 Aineisto ja menetelmät

4.1 ESMR-laitoksen kompostointiprosessi ja kompostoinnin raaka-aineet

Etelä-Suomen Multaravinne Oy:n (jatkossa ESMR) kompostointilaitos sijaitsee Forssassa Kiimassuon Envitech-alueella. Kompostointilaitoksessa käsitellään erilliskerättyjä kiinteitä biojätteitä, joiden kuiva-ainepitoisuus on yli 15 %, sekä märkiä lietteitä, joista erotetaan kiintoaines. Kiinteän biojätteen vuosittainen käsittelykapasiteetti on nykyisellä prosessilla n. 10 000 tonnia vuodessa. Laitoksella kompostoitavia jätteitä ovat kotitalouksien ja kauppan erilliskerätty biojäte, sian karva ja elintarviketeollisuuden jätevesilietteen kuiva-aine. Ennen rumpu- ja kaukalokäsittelyä biojätteeseen lisätään tukiaineeksi turvetta. Turpeen osuus kompostoitavasta massasta on keskimäärin 30 %.

Kompostointilaitteisto koostuu murskaus- ja sekoitusyksiköstä, joka on varustettu leikkaavilla terillä, neljästä 120 m³ kompostointirummusta ja viidestä 120 m³ ilmastuskaukalosta sekä näihin liittyvistä kuljettimista, ilmastusputkistoista ja puhaltimista. Jätekuormat puretaan kuljetusautoista ulos, tarvittava määrä turvetta sekoitetaan jätteeseen ja seos siirretään vastaanottohalliin. Hallissa kompostoitava massa siirretään pyöräkuormaajalla murskaimeen, joka murskaa massan 40 mm palakokoon. Murskaimelta kompostoitava massa siirtyy ruuvikuljettimelle, joka vie sen kompostirumpuun.

ESMR-kompostointilaitoksen aktiiviprosessi on kaksivaiheinen. Ensiksi jätettä kompostoidaan pyörivässä rummussa, jotta kompostoitavaan massaun saadaan varmasti ja tasaisesti hapetta. Rummun jälkeen esikompostoitunut massa siirretään kuljettimella rummuista aumamuotoon kompostointikaukaloon ja kaukalosta edelleen ulkokentälle jälkikypsytykseen. Prosessiin syötettyjen jätteiden laatu ja tilavuusmäärä kirjataan laitoksen ajopäiväkirjaan.

Rumpujen syöttökapasiteetti noin 60 % täyttöasteella on keskimäärin 80 m³/vrk eli n. 20 m³/rumpu/päivä. Massan viipymä rummussa on neljästä viiteen vuorokautta. Rummun pyörintäaika on noin 25 min/kierros ja rumpuja pyöritetään 40 minuutin jaksoissa, joiden välillä on 20 minuutin tauko. Tällöin massaun kulkeutuu ilmaa n. 1 m³/m³ kompostimassaa tunnissa. Massan lämpötila rummussa on 30-50 °C. Lämpötilan kehitys riippuu kompostoitavan materiaalin ominaisuuksista, kuten kosteudesta, pH:sta ja ammoniumtyyppipitoisuudesta. Rumpujen lämpötilan seuranta on suunniteltu toteutettavaksi automaattisesti infrapunalämpömittareilla, jotka mittaavat kompostimassan lämpötilaa rummun vaipan läpi. Tutkimuksen aikana automatisoitu lämpötilaseuranta ei kuitenkaan ollut käytössä.

Kaukalon täyttö tapahtuu jatkuvatoimisesti aina rummun pyöriessä. Rumpujen läpi kulkenut komposti siirretään kuljettimilla kaukaloihin siten, että yhteen kaukaloon ohjataan massaa kahdesta rummusta. Kahdesta rummusta poistuvan massan määrä on yhteensä noin 28 –36 m³/vrk ja kaukalon kapasiteetti on 120 m³ eli kaukalon täyttöaika on keskimäärin neljä vuorokautta. Kaukalon täytyttyä kuljetin siirtyy täyttämään seuraavaa kaukaloa ja täysi kaukalo siirtyy odottamaan tyhjennystä, joka tapahtuu seuraavan kaukalon täytyttyessä. Yhteensä kompostin viipymä kaukalovaiheessa on 8-10 vuorokautta. Kussakin kompostointikaukalossa on oma, erikseen ohjattava ilmastuspuhallin. Puhallin puhaltaa kaukalon pohjarakenteen kautta ilmaa kompostin läpi. Ilmastusmäärät ovat massan vastapaineesta riippuen noin 5 – 20 m³/m³ kompostia tunnissa. Ilmastusilmana käytetään rumpuhallin sisäilmaa. Puhaltimien toimintaa ohjataan ajastimella ja lämpötilaan perustuvalla takaisinkytkennällä. Kompostimassan lämpötila kaukalossa on noin 40-50 °C. Lämpötilan seuranta täytyneistä kaukaloista on suunniteltu toteutettavaksi sauvalämpömittareilla ja mittaustu-

loksen on suunniteltu tallentuvan jatkuvana trendinä valvomoon. Tutkimuksen aikana lämpötilaseuranta ei kuitenkaan ollut käytössä.

Kompostoitavan massan viipymä laitoksen aktiiviprosessissa on yhteensä 12 – 14 vuorokautta. Kaukaloista komposti siirretään pyöräkuormaajalla ulos asfaltoidulle kentälle jälkikypsyysaumoihin, joiden korkeus on n. 4 m, leveys n. 9 m ja pituus n. 80 m. Laitoksen normaalikäytännön mukaan aumoihin ei lisätä tukiainetta. Kaikki aumat käännetään neljän kuukauden välein. Jälkikypsytyksen kesto vaihtelee lopputuotteen kysynnän mukaan puolesta vuodesta vuoteen. Suurin osa valmiista kompostista seulotaan 40 mm seulalla muovin ja muiden epäpuhtauksien poistamiseksi ja toimitetaan maatalouskäyttöön. Viherrakentamiseen markkinoitava komposti seulotaan 40 mm seulalla ja siihen sekoitetaan hiekkaa. Seostettu massa seulotaan 20 mm seulalla. Valmis kompostituote sisältää 40 % kompostia ja 60 % hiekkaa.

ESMR-kompostointilaitokselle on vuonna 2002 laadittu ISO 9000 -standardin mukainen laatujärjestelmä toimintojen yleistä ohjausta varten. Vuoden 2004 aikana laitokselle haetaan Euroopan yhteisön eläinten sivutuoteasetuksen (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 3.10.2002/1774) mukaista laitoshyväksyntää. Osana hakuprosessia laitoksella myös valmistellaan omavalvontajärjestelmää.

4.2 Kypsymisen seurannan osa-alueet ja tutkitut kompostiaumat

Tutkimuksessa seurattiin yhteensä 16 kompostiauman kypsymistä. Aumojen raaka-aineena oli laitoksen aktiivivaiheesta purettu komposti, joka oli käsitelty laitoksen rumpu- ja kaukaloreaktoreissa. Kompostin biojätteestä 95 % oli kotitalouksien ja kaupan erilliskerättyä biojätettä, 5 % sian karvaa ja alle 1 % elintarviketeollisuuden jätevesilietteen kuiva-ainetta. Turpeen osuus aktiivivaiheeseen syötetystä kompostista oli noin 30 %. Osaan koeaumoista lisättiin tukiaineeksi lehtipuuperäistä metsätähdehaketta. Massan siirtämisessä kaukalosta jälkikypsytyksentälle sekä hakkeen sekoituksessa kompostiin käytettiin pyöräkuormaajaa. Tutkimusta varten perustettujen kypsyysaumojen koko oli n. 20-40 m³.

Aumat on esitelty seuraavassa jaoteltuna tutkittujen muuttujien mukaan. Joitakin aumoja on hyödynnetty useammassa kuin yhdessä tutkimuksen osassa. Esimerkiksi tukiaineen optimimäärän selvittämiseksi perustetuista aumoista on määritetty myös liukoisen typen olomuotoja nitraattitypen pikatestin arvioinnin yhteydessä. Tutkimuksen yhteydessä ESMR-laitoksen normaalikäytäntöjen mukaan perustetulla aumalla tarkoitetaan n. 4 m korkeaa aumaa, johon ei ole lisätty tukiainetta. Yhteenveto seuratuista aumoista on esitetty myös liitteessä 1. Tutkimus toteutettiin vuosien 2003-2004 aikana.

4.2.1 Tukiaineen määrän optimointi kypsytyksessä

Aumat 1-4 ("tukiaumat") perustettiin 26.6.2003 lisäämällä haketta laitoksen reaktorikäsitelystä purettavaan kompostimassaan. Aumojen koko oli n. 30 m³. Tavoitteena oli selvittää, mikä seossuhde olisi paras kompostimassan kypsymisen kannalta.

Aumojen 1-4 koostumukset (tilavuussuhteet, aktiivivaiheesta purettava komposti:hake) olivat

- auma 1) komposti : hake 1:1
- auma 2) komposti : hake 1:1,5
- auma 3) komposti : hake 1:2
- auma 4) komposti : hake 2:1

Aumat käännettiin ensimmäisen kerran 17.9.2003 niiden ollessa 12 viikon ikäisiä. 24.9.2004 aumat siirrettiin toiseen paikkaan. Siirron jälkeen aumojen pituus oli n. 7 m ja korkeus n. 2,1 m, mikä on noin puolet ESMR-laitoksella normaalisti käytettävästä 4 m aumakorkeudesta. Aumat käännettiin myös 24.11.2003 ja 28.4.2004 niiden ollessa 22 ja 44 viikon ikäisiä.

4.2.2 Auman koon vaikutus kypsymiseen

Aumat 5-7 ("kokoaumat") perustettiin 17.9.2003 lisäämällä puuhaketta laitoksen reaktori-käsittelystä purettavaan kompostimassaan. Auma 8 oli ESMR-laitoksen normaalien käytäntöjen mukaan perustama vertailuauma, johon ei lisätty tukiainetta auman perustamisvaiheessa. Tavoitteena oli selvittää auman koon vaikutusta jälkikypsytyksen onnistumiseen perustamalla eri korkuisia aumoja ja tarkkailemalla niiden kypsymistä, sekä arvioida ESMR-laitoksen normaalin toimintakäytännön toimivuutta massan jälkikypsytyksessä.

Aumojen 5-8 koot ja koostumukset olivat

- auma 5) korkeus 2 m, koko n. 20 m³, komposti:hake 1:1
- auma 6) korkeus 3 m, koko n. 30 m³, komposti:hake 1:1
- auma 7) korkeus 4 m, koko n. 35 m³, komposti:hake 1:1
- auma 8) korkeus 4m, koko n. 40 m³, normaalikoostumus (ei lisätty haketta)

Aumat käännettiin 24.11.2003 ja 28.4.2004 (poikkeuksena auma 5, jonka seuraaminen lopetettiin jo tammikuussa 2004), niiden ollessa 10 ja 32 viikon ikäisiä.

4.2.3 Ympäryksen vaikutus kypsymiseen

Aumat 9-12 ("ympäryaumat") perustettiin 1.10.2003 lisäämällä eri suhteissa haketta ja ympäryä käytettyä valmista kompostia. Ympäryksellä pyrittiin tuomaan kompostiaumaan kompostoitumista edistäviä mikrobeja. Tavoitteena oli selvittää ympäryksen vaikutusta jälkikypsytyksen onnistumiseen vertaamalla keskenään ympärymätöntä kontrolliaumaa ja aumoja, joihin lisättiin eri määriä ympäryä. Ympäryaumojen koko oli 30 m³ ja korkeus 4 m.

Aumojen koostumukset olivat

- auma 9) ympäry 10 % : komposti 90 %
- auma 10) ei ympäryä, vain kompostia
- auma 11) ympäry 10 % : hake 20 % : komposti 70 %
- auma 12) ympäry 20 % : komposti 80 %

Aumat käännettiin 24.11.2003 niiden ollessa 8 viikon ikäisiä.

Kun ympäryaumat mitattiin ensimmäisen kerran 2.10.2003, komposti oli erittäin märkää. Kaasumittarin letkuun noussut vesi, joka oli väriltään ruskeaa eikä siis ollut kondenssivettä, häiritsi mittauksia. Talvella 25.2.2004 mittauksen yhteydessä havaittiin, että ympäryaumojen pinta oli 1-5 cm paksuudelta jäässä. Mittaus onnistui, kun auman jääkuoreen ensin puhkaistiin reikiä maaperäkairalla.

4.2.4 Aumojen perustamisvuodenajan vaikutus kypsymiseen

ESMR-laitoksella, kuten muillakin suomalaisilla kompostointilaitoksilla, jälkikompostointi tapahtuu ulkona avoimella kompostointikentällä, jolloin sääolot ja erityisesti vuodenaikojen vaihtelu vaikuttavat merkittävästi kompostointiolosuhteisiin. Tutkimuksessa selvitettiin, miten eri vuodenaikoina perustetut jälkikypsytyksaumat kypsyvät. Osa tutkituista aumoista perustettiin seostamalla laitoksen aktiivivaiheesta kompostia ja haketta suhteessa 1:1 (tilavuussuhteena) ja osa aumoista oli ESMR-laitoksen normaalikäytäntöjen mukaan

perustettuja vertailuaumoja, joihin ei lisätty tukiainetta aumaa perustettaessa. Auman 1 korkeus oli n. 2 m ja muiden aumojen korkeus oli n. 4 m.

Tutkittavat aumat olivat

- auma 1) kesä, perustettu 26.6.2003, komposti:hake 1:1
- auma 7) syksy, perustettu 17.9.2003, komposti:hake 1:1
- auma 8) syksy, perustettu 17.9.2003, laitoksen normaaliauma, ei tukiainelisäystä
- auma 13) talvi, perustettu 28.1.2004, komposti:hake 1:1
- auma 14) talvi, perustettu 28.1.2004, laitoksen normaaliauma, ei tukiainelisäystä
- auma 15) kevät, perustettu 28.4.2004, komposti:hake 1:1
- auma 16) kevät, perustettu 28.4.2004, laitoksen normaaliauma, ei tukiainelisäystä

Aumat käännettiin 17.9.2003, 24.11.2003 ja 28.4.2004.

4.2.5 Ammonium- ja nitraattitypen määrä kypsytyksaumoissa ja nitraattitypen pikatestin soveltuvuus kompostin kypsyyden arviointiin

Raa'assa kompostissa liukoinen tyyppi esiintyy lähinnä ammoniumtyyppinä ($\text{NH}_4\text{-N}$), kun taas nitraattitypen ($\text{NO}_3\text{-N}$) esiintyminen kompostissa on merkki kompostin kypsymisestä (Itävaara et al. 1998). Liukoisen typen olomuodot määritettiin aumoista 1-4 ("tukiaumat") kuukausittain otetuista näytteistä. Ensimmäiset näytteet otettiin aumojen ollessa kahden kuukauden ikäisiä. Laboratoriomääritysten lisäksi aumoista määritettiin nitraattityppi myös kaupallisella vesianalytiikkaan tarkoitettulla Merckoquant® Nitrate Test Method – pikatestillä. Testi suoritetaan sekoittamalla 60 ml kompostia 60 ml:aan vettä ja upottamalla testiliuska seokseen. Tulos saadaan vertaamalla liuskan värinmuutosta vertailuasteikkoon, jossa on esitetty liuskan väri pitoisuuksissa 0, 10, 25, 50, 100, 250 ja 500 mg NO_3 litrassa. Pikatestin soveltuvuutta kompostiuutteista tehtäviin mittauksiin selvitettiin vertaamalla testin tuloksia laboratorioanalyysien tuloksiin.

4.3 Kompostin kypsymisen seurantamenetelmät

4.3.1 Lämpötila-, happi- ja hiilidioksidimittaukset

Tutkituista jälkikypsytyksaumoista mitattiin massan lämpötila sekä hapen ja hiilidioksidin prosenttiosuus massassa. Lämpötilamittaukset tehtiin Stelznerin Kompotherm – kompostilämpömittarilla, johon oli kiinnitetty metrin mittainen anturi. Happi- ja hiilidioksidimittaukset tehtiin Environmental Instrumentsin Anagas CD98 Plus – kaasuanalysointorilla, joka liitettiin MTT:llä valmistettuun metrin mittaiseen kaasunmittausanturiin. Lämpötila- ja kaasumittaukset tehtiin kustakin aumasta kymmenestä kohdasta. Mittauksia tehtiin kypsytyksen alkuvaiheessa tiheämmin ja mittaustiheyttä harvennettiin vähitellen kypsymisen edetessä, kun aumoissa tapahtuvat muutokset hidastuivat. Tuloksia ei analysoitu tilastollisesti.

4.3.2 Näytteenotto kompostiaumoista ja liukoisen typen analyysit

Aumoista 1-4 ("tukiaumat") otettiin kompostinäytteitä, joista määritettiin ammonium- ja nitraattityppi. Näytteet otettiin kerran kuukaudessa, ensimmäinen näytteenotto oli elokuussa 2003 noin kahden kuukauden kypsytyksen jälkeen. Näytteenottopäivinä aumojen lämpötilat ja kaasupitoisuudet mitattiin ennen näytteenottoa. Kustakin aumasta otettiin viisi osanäytettä, joista yksi otettiin auman päältä ja neljä sivuilta. Poikkeuksena oli ensimmäinen mittauskerta, jolloin osanäytteistä kolme otettiin auman päältä ja yksi kummastakin päästä. Tämän jälkeen aumat siirrettiin toiseen paikkaan, ja siirron yhteydessä niiden muo-

to muuttui, joten näytteenottomenetelmää oli muutettava. Osanäytteet otettiin n. 50 cm syvyydestä kaivamalla kuoppa, jonka pohjalla kompostia sekoitettiin ja sekoitetusta massasta otettiin n. 2 litran osanäyte. Kokoomanäytteen määrä oli siten 10 litraa. Kokoomanäyte sekoitettiin hyvin ja seulottiin 22 mm seulalla. Seulotusta massasta otettiin 3 litran näyte analyysijä varten. Näytteet viilennettiin kylmälaukuissa heti näytteenoton jälkeen ja toimitettiin laboratorioon, jossa ne säilytettiin kylmiössä yön yli ennen uuttoja.

Näytteistä tehtiin KCl-uutto ja standardin EN 13652 mukainen vesi-uutto. Uutteista määritettiin ammonium- ja nitraattityypen pitoisuudet spektrofotometrisesti Skalar – autoanalysaattorilla. Nitraatti- ja nitriittityypen pitoisuudet määritettiin myös ns. pikatestillä, Merckoquant ® Nitrate Test Method –testiliuskalla. Lisäksi komposteista määritettiin tilavuuspaino standardin EN 13040 liitteen A mukaan, 60 ml:n massa standardin EN 13652 mukaan, 40 ml:n massa sekä tuoreen näytteen kuiva-ainepitoisuus ilma-kuivaamalla näytettä 14 vrk 37 °C:ssa. Analyysit tehtiin kolmella rinnakkaisnäytteellä (poikkeuksena elokuun 2003 KCl-uutto, joka tehtiin kahdella rinnakkaisnäytteellä). Analyysimenetelmät on esitetty tarkemmin liitteessä 2.

Eri analyysimenetelmillä saatujen liukoisen typen tulosten vastaavuutta tutkittiin käyttäen varianssianalyysiä. Valittu tilastollinen malli huomioi mm. havaintojen keruutavan ja analyysit tehtiin SAS-ohjelmiston Mixed –proseduuria käyttäen. Tarkoituksena oli erityisesti selvittää, miten nitraattityypen pikatestin antama tulos korreloi laboratorioanalyysien tulosten kanssa, sekä kuinka hyvin KCl- ja vesi-uuttojen antamat ammonium- ja nitraattityypen tulokset korreloivat keskenään. Tilastollisen mallin ja aineiston yhteensopiavuus tarkastettiin tutkimalla jäännösvirheiden tilastollista riippumattomuutta ja normaaliisuutta käyttäen SAS-ohjelmiston Univariate –proseduuria.

4.4 Kypsytetyn kompostin laatu kasvualustakäytössä

Kypsytettyjen kompostien laatua ja soveltuvuutta kasvualustakäyttöön selvitettiin tekemällä kesällä 2004 kasvatuskoe, jossa komposteista valmistetulla kasvualustalla kasvatettiin koekasveina ohraa (*Hordeum vulgare*, lajike Saana, itävyys 92 %) ja kiinankaalia (*Brassica rapa* var. *pekinensis*, lajike Granaat, itävyys 75 %). Koekasvit valittiin biojätteitä, lietteitä ja maata koskevien standardien yhtenäistämiseen pyrkivän Horizontal –projektin fyto toksisuutta käsittelevän standardiluonnoksen (Baumgarten & Spiegel 2004) mukaan. Kyseisessä standardiluonnoksessa esitetään, että fyto toksisuuden tutkimiseen tulisi käyttää ainakin yhtä yksisirkkaista ja yhtä kaksisirkkaista kasvilajia. Kokeeseen valittiin neljä hankkeen aikana tutkittua jälkikypsytyssaumaa, aumat 1, 2, 7 ja 13.

Astiakokeen kasvualustojen valmistukseen käytetyt kypsytyssaumat olivat:

- auma 1) komposti : hake 1:1, perustettu 26.6.2003, kypsytyksen kesto 51 viikkoa
- auma 2) komposti : hake 1:1,5, perustettu 26.6.2003, kypsytyksen kesto 51 viikkoa
- auma 7) komposti : hake 1:1, perustettu 17.9.2003, kypsytyksen kesto 39 viikkoa
- auma 13) komposti:hake 1:1, perustettu 28.1.2004, kypsytyksen kesto 20 viikkoa

Valituista aumoista seulottiin 2 mm seulalla n. 20 l otos, joka seostettiin mullaksi ESMR-laitoksen normaalisti käyttämän seossuhteen mukaisesti, siten että massasta 40 % oli seulottua kompostia ja 60 % hiekkaa. Valmistetun mullan kokonaismäärä oli kaikkiaan n. 30 l/kompostierä. Kontrollikäsitteilyinä olivat lannoittamaton muokkauskerroksen hietamaa (0-kontrolli), kemiallisesti lannoitettu muokkauskerroksen hietamaa (optimikontrolli) sekä ESMR-laitoksen normaalin kypsytyssauman (ei tutkimusauma) massasta seostettu multa. ESMR-laitoksen normaaliauman massa oli tuotu käsiteltäväksi laitokselle syys-lokakuun vaihteessa 2003, ja se oli käynyt läpi käsittelyn rumpu- ja kaukaloreaktoreissa sekä jälki-

kypsytyksen ulkokentällä. Massan seulominen ja seostaminen mullaksi tehtiin samalla tavoin kuin koeaumojen massojen seulonta ja seostus. Normaaliauman kypsytyksen kesto oli 37 viikkoa.

Aumoista seostetusta mullasta ja lannoittamattomasta hietamaasta otettiin näytteet, joista määritettiin pH, johtoluku, kuiva-aine-%, tilavuuspaino, kokonaistyyppi, liukoinen typpi ja liukoiset Mg, K, Ca, B ja P liitteen 2 mukaisesti.

Koe toteutettiin kummallakin koekasvilla neljällä kerranteella 3 l vetoisissa ruukuissa. 0-kontrollissa ja optimikontrollissa käytetty hietamaa oli lannoittamatonta muokkauskerroksen maata, joka oli lievästi hapanta (pH 5,6), joten se kalkittiin ennen koetta lisäämällä $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 2,4 g/ruukku (573 kg Ca/ha). Optimikontrolli lannoitettiin (N, P, K, Mg) kemikaaleilla lisäämällä NH_4NO_3 1,3 g/ruukku, KCl 0,9 g/ruukku, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0,7 g/ruukku ja $\text{MgSO}_4 \cdot (\text{H}_2\text{O})_7$ 1,2 g/ruukku. Lannoitemäärät hehtaaria kohti olivat 200 kg N/ha, 208 kg K/ha, 76 kg P/ha ja 52 kg Mg/ha.

Ruukkuihin kylvetty siemenmäärä oli 20 kpl/ruukku kummallakin koekasvilla. Ensimmäiset kolme vuorokautta kasveja idätettiin sisätiloissa, minkä jälkeen ruukut siirrettiin kasvihuoneeseen. Ruukut peitettiin harsolla, joka poistettiin taimien noustua ruukun laidan tasolle. Myöhemmin ohra tuettiin verkolla lakoontumisen estämiseksi. Molempien koekasvien itävyys oli niin suuri, että taimia oli harvennettava. Ohraa jätettiin 17 tainta/ruukku, mikä oli heikoimmin itäneen koejäsenen taimimäärä. Kiinankaalia jätettiin 5 tainta/ruukku. Harventaminen tehtiin 13. koepäivänä. Kokeen kesto oli 31 vrk.

Kasveista määritettiin itävyys ja kokeen päätyttyä biomassan tuotto punnitsemalla tuoresato, kuivaamalla se kuivauskaapissa 105 °C:ssa 3 vrk ja punnitsemalla kuivapaino. Tuloksia ei analysoitu tilastollisesti.

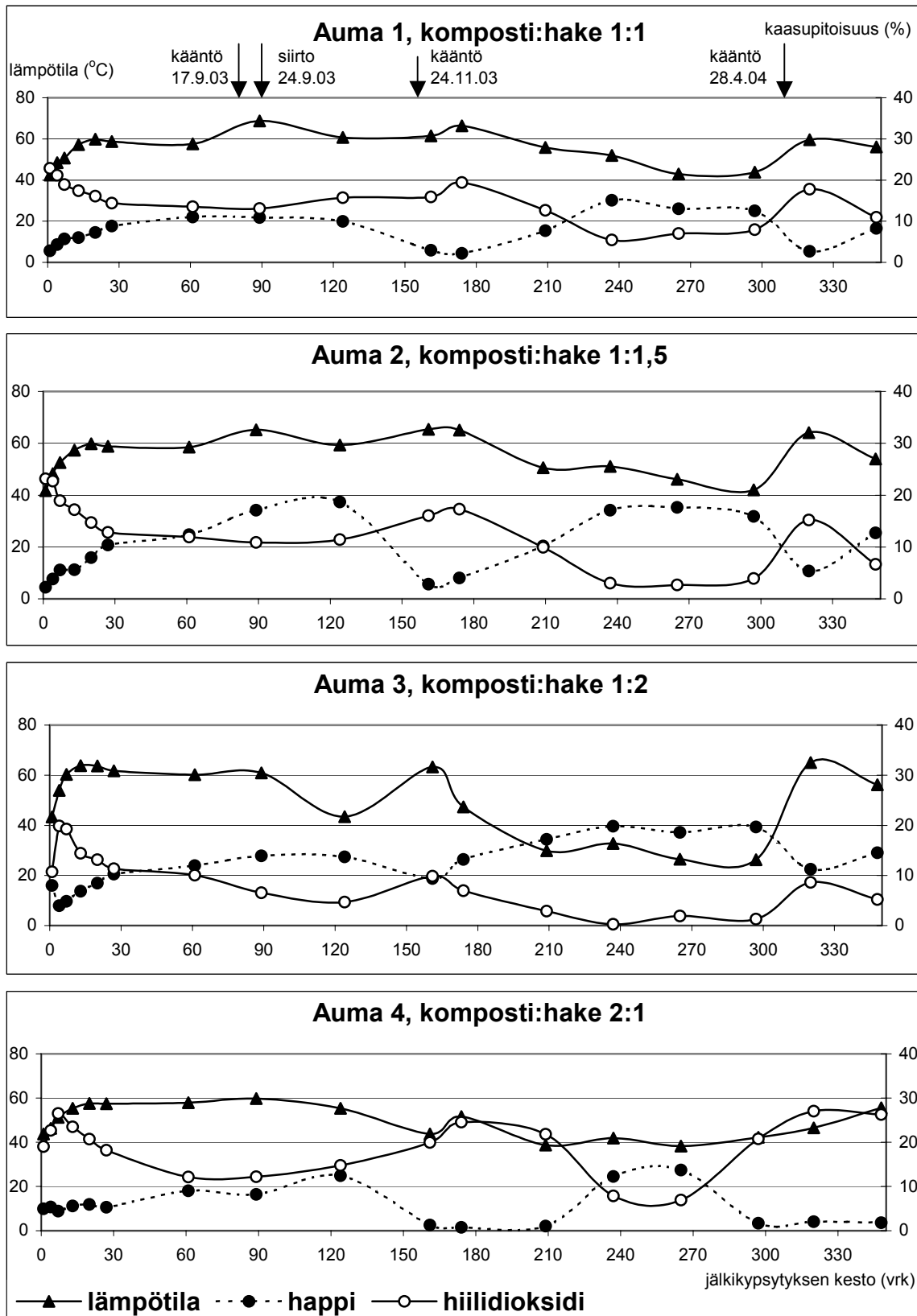
5 Tulokset ja tulosten tarkastelu

5.1 Tukiaineen määrän optimointi jälkikypsytyksessä

Kypsytysaumat 1-4 perustettiin 26.6.2003 ja kompostoituminen niissä jatkui massan lämpötilan kohoamisen perusteella nopeasti. Aumojen käynnön vaikutus lämpötilaan oli melko vähäinen sekä syys- että marraskuussa, mutta huhtikuussa aumojen lämpötilat kohosivat käyntöjen jälkeen selvästi (kuva 2). Tämä saattoi kuitenkin johtua myös samaan aikaan sattuneesta lämpimästä säästä. Aumoissa 1-3 lämpötila pysyi yli 60 °C:ssa huomattavan pitkään. Kuitenkin aumassa 3 (komposti:hake 1:2) lämpötila laski selvästi aikaisemmin ja nopeammin kuin muissa aumoissa, mikä voisi johtua suuresta tukiainemäärästä ja siitä aiheutuvasta helposti hajoavan orgaanisen aineksen määrän niukkuudesta. Aumassa 4 (komposti:hake 2:1) lämpötila pysytteli tasaisesti ensin 60 °C:een tuntumassa ja laski sitten talvella 40 °C:een vaiheille.

Tehokkaan kompostoitumisen aikaansaamiseksi kompostin happipitoisuuden tulisi olla yli 18 % (de Bertoldi et al. 1993). Hapen määrä tukiaumoissa oli kuitenkin useimmiten alhaisempi (kuva 2). Aumoissa 1, 2 ja 4 hapen määrä massassa kääntyi voimakkaaseen laskuun noin neljän kuukauden kypsytyksen jälkeen. Myös aumassa 3, jossa hakkeen määrä oli kaksinkertainen kompostin määrään nähden, happipitoisuus aleni tässä vaiheessa hieman, mutta oli kuitenkin jatkuvasti yli 20 %.

Hiilidioksidin määrän perusteella voidaan arvioida mikrobitoiminnan ja siten orgaanisen aineksen hajoamisen määrää massassa. Hiilidioksidin osuus oli suurin aumassa 4, jossa toisaalta happipitoisuus oli melko alhainen. Korkea hiilidioksidipitoisuus ja alhainen happipitoisuus kertovat kompostin liian tiiviistä rakenteesta ja tehottomasta kaasujenvaihdosta. Aumoissa 1 ja 2 hiilidioksidipitoisuuksien kehitys oli samankaltaista ja helmi-maaliskuuta 2004 lukuunottamatta hiilidioksidin määrä oli yli 10 %. Aumassa 3 hiilidioksidipitoisuus oli melko alhainen. Toisaalta auman 3 happipitoisuus oli melko korkea ja massan lämpötila oli alhainen. Hakkeen osuus aumassa 3 oli kaksinkertainen kompostin osuuteen nähden, ja oletettavasti auman alhainen lämpötila ja hiilidioksidipitoisuus kuvaavat helposti hajoavan orgaanisen aineksen vähäistä määrää verrattuna muihin tukiaumoihin (kuva 2).

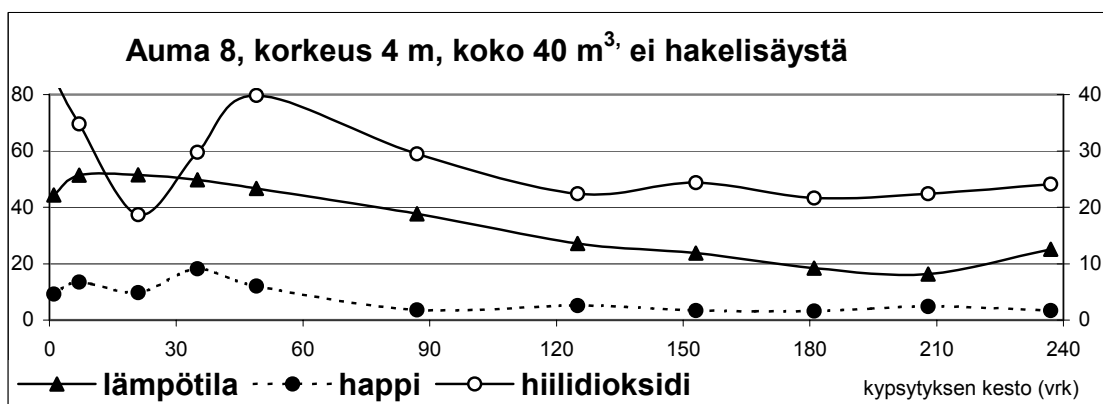
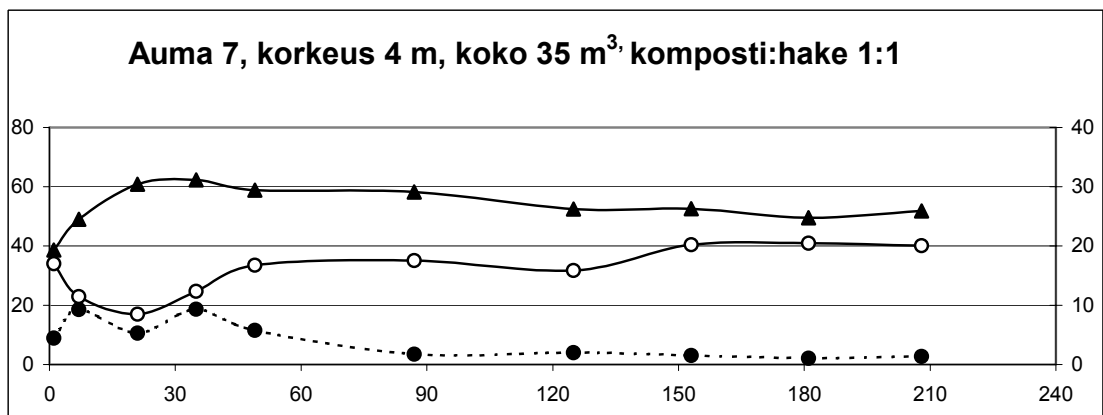
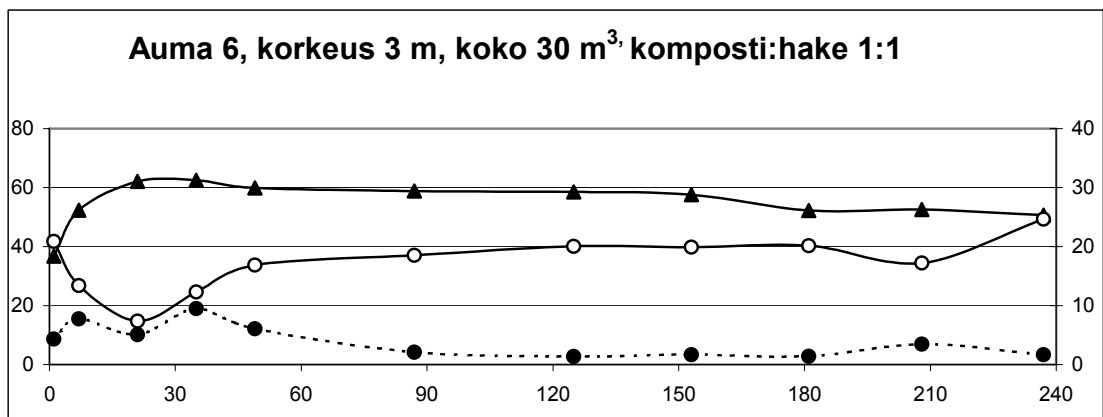
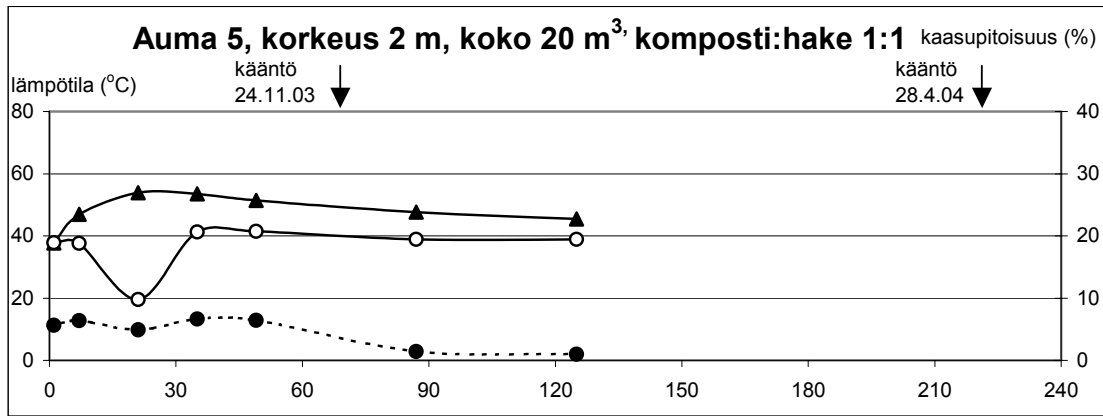


Kuva 2. Lämpötila, happi- ja hiilidioksidipitoisuus aumoissa 1-4 ("tukiaumat"). Aumojen käännöt ja siirto on tehty kaikille aumoille samoina päivinä, jotka on merkitty auman 1 kaavioon.

5.2 Auman koon vaikutus kypsymiseen

Lämpötila aumoissa 5-8 kohosi nopeasti aumojen perustamisen (17.9.2003) jälkeen (kuva 3). Aumoissa 6 (korkeus 3 m, komposti:hake 1:1) ja 7 (korkeus 4m, komposti:hake 1:1) lämpötila ylitti lokakuussa 60 °C ja pysytteli koko talven ajan 50-60 °C:ssa. Aumassa 5 (korkeus 2 m, komposti:hake 1:1) korkein lämpötila, 50 °C, saavutettiin lokakuun alussa, minkä jälkeen lämpötila alkoi laskea. Auman koko ei ehkä ollut riittävä lämmön tehokkaan varastoinnin kannalta. Auman 5 seuraaminen lopetettiin tammikuussa 2004. Auma 8 oli ESMR-laitoksen normaalikäytäntöjen mukaan perustettu 4 m korkea auma, johon ei lisätty tukiainetta. Tässä aumassa lämpötila jäi selvästi muita alhaisemmaksi ja oli tammikuussa laskenut jo alle 20 °C:een. Aumojen 7 ja 8 kesken erona oli ainoastaan tukiaineen lisäys, ja verrattaessa näitä aumoja keskenään näyttäisi siltä, että tukiaineen lisäys kypsytyksaumaan on tehostanut massan kompostoitumista.

Hapen määrä aumoissa 5-8 oli melko alhainen eikä missään vaiheessa ylittänyt 10 %:ia (kuva 3). Aumojen 5-7 hiilidioksidipitoisuus oli seurannan aikana n. 20 %. Aumassa 8 (ei hakelisäystä) hiilidioksidin määrä oli heti perustamisen jälkeen yli 40 %, laski sitten hieman alle 20 %:iin ja kohosi puolentoista kuukauden kypsytyksen jälkeen uudelleen yli 40 %:n. Tämän jälkeen hiilidioksidipitoisuus kääntyi laskuun, kunnes vakiintui hieman yli 20 % tasolle kypsytyksen kestätyä neljä kuukautta. Auman 8 lämpötila ei kuitenkaan juuri kohonnut hiilidioksidipitoisuuden kohotessa. On mahdollista, että auman 8 erittäin korkeat hiilidioksidipitoisuudet vaikuttivat haitallisesti kompostin aerobisten mikrobin toimintaan ja siten hidastivat massan kypsymistä. Myös aumojen 5-7 korkea hiilidioksidi- ja alhainen happipitoisuus kuvaavat tilannetta, jossa kaasujenvaihto massassa on melko tehotonta. Koska etenkin aumoissa 6 ja 7 lämpötila oli kuitenkin melko korkea, on todennäköistä, että kaasujenvaihdon puutteet eivät ole merkittävästi haitanneet mikrobitoimintaa.



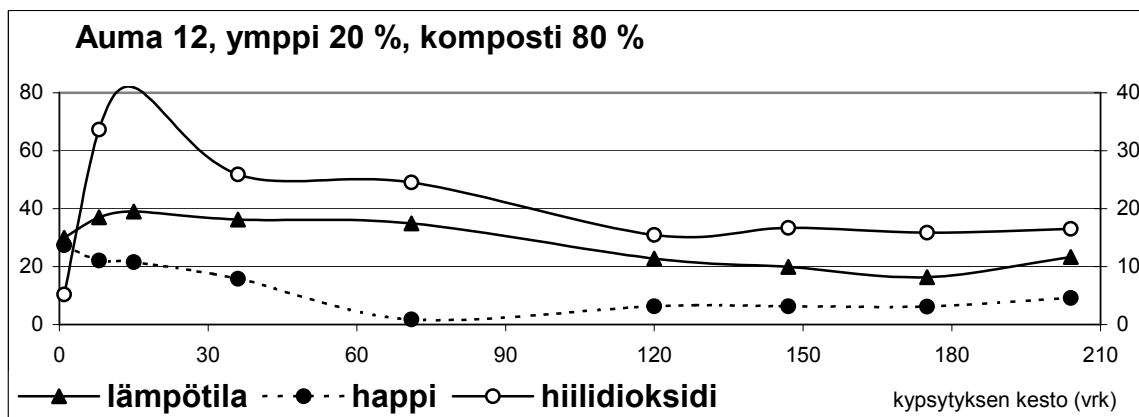
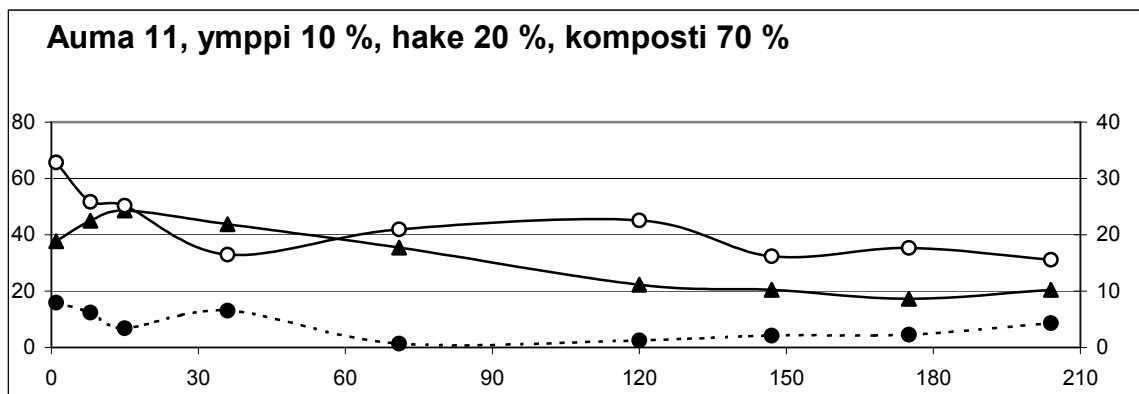
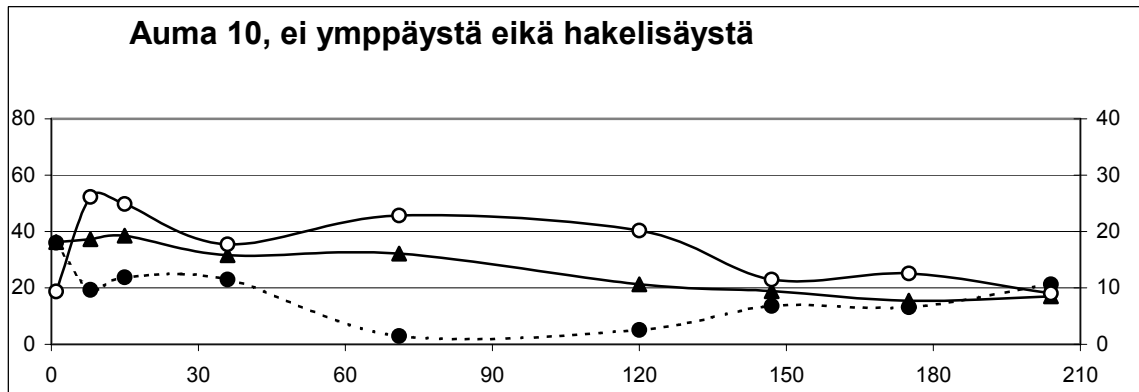
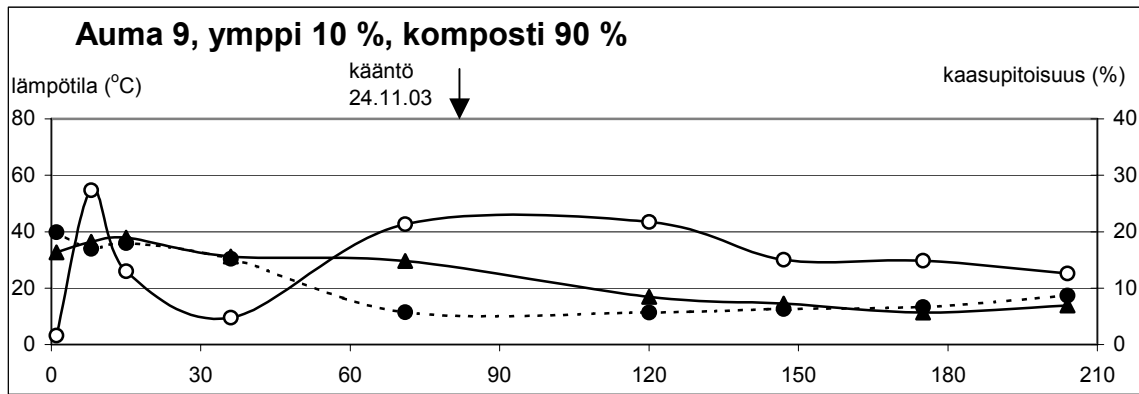
Kuva 3. Lämpötila, happi- ja hiilidioksidipitoisuus aumoissa 5-8 ("kokoamat"). Aumojen käännöt on tehty kaikille aumoille samoina päivinä, jotka on merkitty auman 5 kaavioon.

5.3 Ymppäyksen vaikutus kypsymiseen

Aumoissa 9 (ymppi 10 %, komposti 90 %), 10 (ei ymppäystä) ja 12 (ymppi 20 %, komposti 80 %) lämpötila oli jatkuvasti alle 40 °C. Aumassa 11 (ymppi 10 %, hake 20 %, komposti 70 %) lämpötila kohosi pian aumojen perustamisen jälkeen lähelle 50 °C:ta ja alkoi sitten laskea. Joulukuun alusta lähtien aumojen 9-12 lämpötilat ovat olleet lähes yhtäläisiä laskien n. 35 °C:sta alle 20 °C:een (kuva 4).

Aumojen 9-12 happipitoisuus oli melko alhainen (kuva 4). Kompostoitumisen kannalta suotuisa vähintään 18 % happipitoisuus saavutettiin vain aumoissa 9 ja 10 kypsymisen ensimmäisen kuukauden aikana.

Hiilidioksidipitoisuus oli melko korkea kaikissa ymppiaumoissa (kuva 4). Aumassa 12 hiilidioksidipitoisuus jopa ylitti 40 % kahden viikon kuluttua auman perustamisesta. Korkea hiilidioksidin pitoisuus ja alhainen happipitoisuus kertovat kuitenkin enemmän kaasujenvaihdon tehottomuudesta aumoissa kuin voimakkaasta biohajoamisesta, sillä aumojen lämpötilan perusteella mikrobitoiminta aumoissa ei ole kovin voimakasta.



Kuva 4. Lämpötila, happi- ja hiilidioksidipitoisuus aumoissa 9-12 ("ymppiaumat"). Aumojen kääntö on tehty kaikille aumoille samana päivänä, joka on merkitty auman 9 kaavioon.

5.4 Auman perustamisvuodenajan vaikutus kypsymiseen

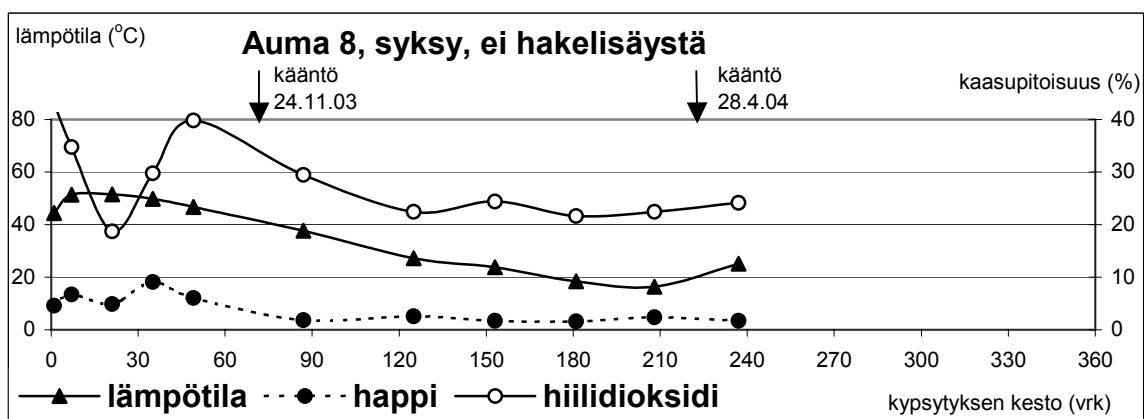
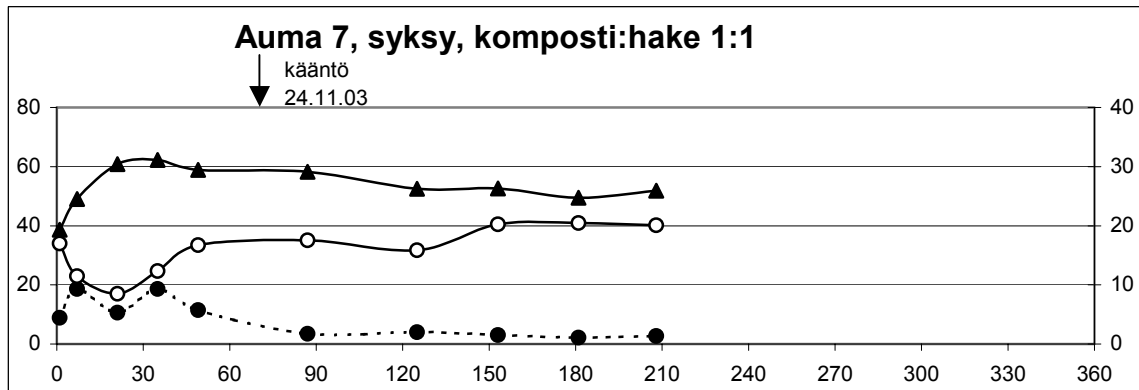
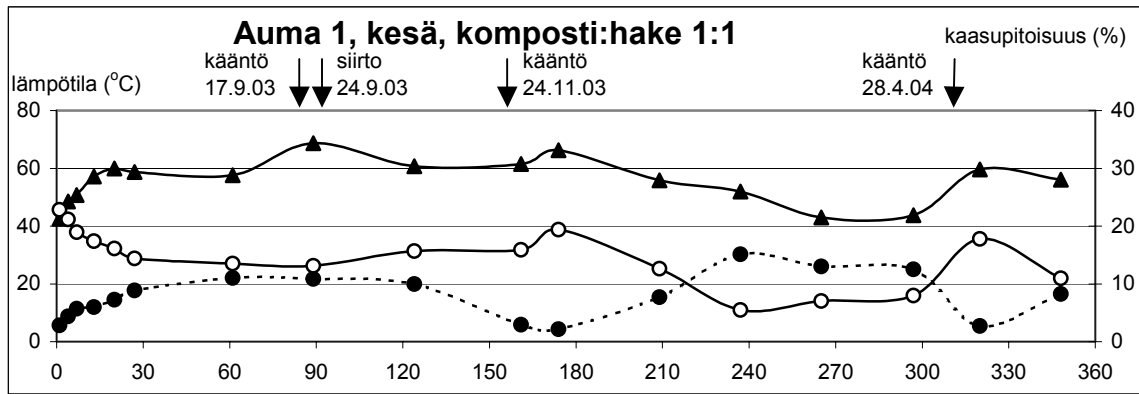
Kypsymisen seurannassa tarkasteltiin myös auman perustamisvuodenajan vaikutusta kompostin kypsymiseen. Seuranta varten perustettiin aumoja, joihin lisättiin tukiainetta (aumamat 1, 7, 13 ja 15, komposti:hake 1:1) sekä vertailuaumoja, joihin ei lisätty tukiainetta (aumamat 8, 14 ja 16, kesäaumalla (auma 1) ei ollut tukiaineetonta vertailuaumaa).

Kesä-, syksy- ja kevätaumoissa, joihin oli lisätty haketta (aumamat 1, 7 ja 15), kompostin lämpötila nousi 60 °C:een kolmen viikon kuluttua auman perustamisesta (kuvat 5 ja 6). Vastaavassa talviaumassa (auma 13) 60 °C:n lämpötila saavutettiin vasta lähes kolmen kuukauden kuluttua auman perustamisesta. Vertailuaumoissa, joihin ei lisätty haketta (aumamat 8, 14 ja 16) lämpötila ei missään vaiheessa yltänyt 60 °C:een asti. Lämpötilan perusteella arvioituna tukiaineen lisäys aumoihin tehosti kypsymistä. Merkittävin ero hakkeeseen seostetun auman ja normaalikoostumuksen välillä oli talvella perustetuissa aumoissa (aumamat 13 ja 14), joten tukiaineen lisääminen kypsymisaumaan voisi parantaa kypsymisauman olosuhteita erityisesti talvella ja vähentää eri vuodenaikoina perustettujen kypsymisaumojen välisiä eroja.

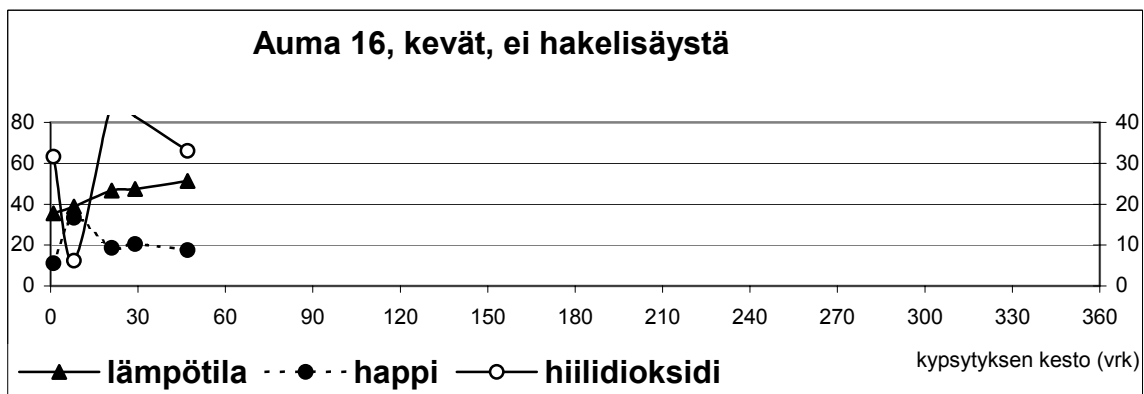
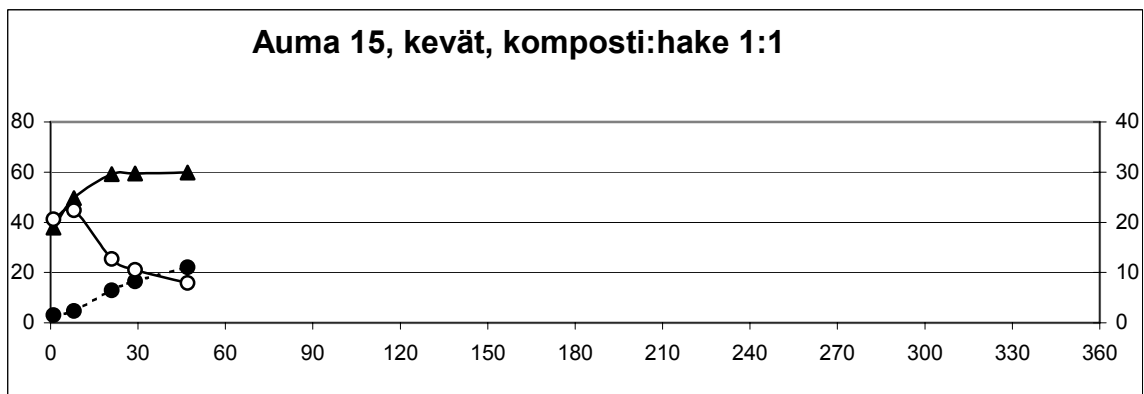
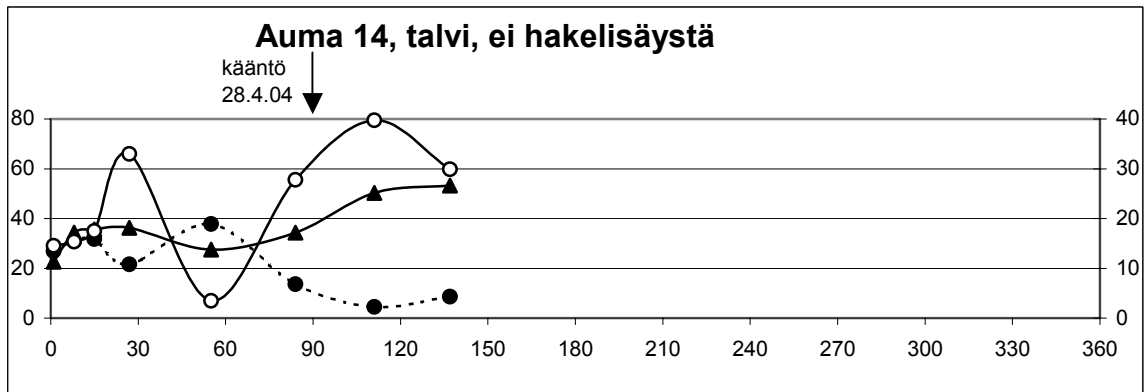
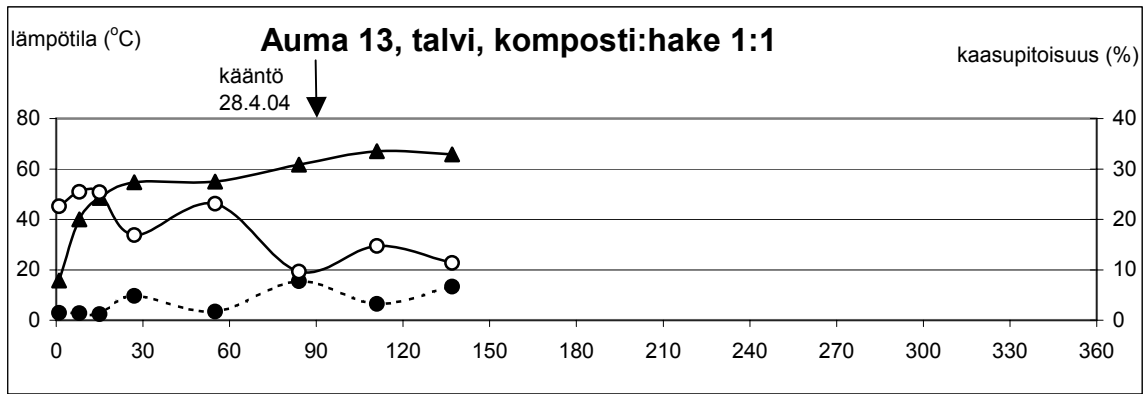
Kaasumittausten tuloksissa ei ole havaittavissa yhtä selkeitä trendejä eri vuodenaikojen tai auman koostumuksen suhteen. Hapen määrä oli melko alhainen kaikissa vuodenaikaisseurannan aumoissa, ja niissä tilanteissa, joissa hapen määrä lähestyi 20 %:ia (aumamat 1, 14 ja 16), mikrobitoiminnan määrä ei lämpötilan perusteella ollut kovin korkea (kuvat 5 ja 6).

Korkeita, yli 30 % hiilidioksidiarvoja esiintyi vain aumoissa, joihin ei lisätty tukiainetta. Aumoissa 14 ja 16 kohonnutta hiilidioksidipitoisuutta edelsi lähes 20 %:iin kohonnuttu happipitoisuus, mikä viittaisi siihen, että runsas hapen määrä kiihdyttää mikrobitoimintaa ja tämä puolestaan aiheuttaa jyrkän nousun hiilidioksidipitoisuudessa. Samaan aikaan myös aumojen lämpötila kohosi hieman yli 10 astetta. Aumassa 8 vastaavaa ei kuitenkaan havaittu, vaan hiilidioksidin pitoisuus aumassa ylitti 40 °C heti auman perustamista seuranneena päivänä. On kuitenkin mahdollista, että juuri kompostimassan siirto kaukalosta kentälle aumaan on tuonut auman 8 massaan runsaasti happea ja siten voimistanut mikrobitoimintaa. Oletettavasti aumojen 8, 14 ja 16 massan tiiviys esti tehokkaan kaasujenvaihdon ja siten hiilidioksidin pitoisuus pääsi nousemaan mahdollisesti jopa mikrobitoimintaa häiritsevälle tasolle (kuvat 5 ja 6).

Aumoissa, joihin oli lisätty haketta, hiilidioksidin määrä oli yleisesti ottaen alhaisempi ja sen pitoisuus vaihteli vähemmän. Oletettavasti hakkeen lisääminen massaansa tasoittaa olosuhteita aumassa mm. kaasujenvaihdon osalta, eikä aerobista mikrobitoimintaa häiritseviä, huomattavan korkeita hiilidioksidipitoisuuksia esiinny. Kaasupitoisuuksia tarkasteltaessa tulee kuitenkin aina huomioida myös auman lämpötila, sillä kaasupitoisuuksien ja lämpötilan välillä ei näytä olevan selkeitä riippuvuussuhteita.



Kuva 5. Lämpötila, happi- ja hiilidioksidipitoisuus aumoissa 1, 7 ja 8 ("vuodenaika-aumat, kesä ja syksy"). Aumojen käännöt ja auman 1 siirto on merkitty kuvaan.



Kuva 6. Lämpötila, happi- ja hiilidioksidipitoisuus aumoissa 13-16 ("vuodenaika-aumat, talvi ja kevät"). Aumojen käännöt on merkitty kuvaan.

5.5 Liukoisen typen määrä tukiaumoissa ja nitraattitypen pikates- tin soveltuvuus kompostin kypsytyden arviointiin

5.5.1 Liukoisen typen määrä

Liukoisen typen määritykset kypsytyksaumoista 1-4 ("tukiaumat") aloitettiin kahden kuukauden kypsytyksen jälkeen, elokuussa 2003. Suurin osa kompostien liukoisesta tyyppistä oli kypsytyksen alkuvaiheessa ammoniumtyppimuodossa ja nitraatin määrä aumoissa oli alhainen, mikä on tyypillistä raakalle kompostille. Nitraatin määrä aumoissa alkoi kohota, kun aumoja oli kypsytetty seitsemän kuukautta, ja vastaavasti ammoniumtypen määrä kääntyi laskuun (kuvat 7 ja 8). Ammoniumtyppi siis muuttui mikrobialisessa nitrifikaatiossa nitraatiksi. Mikrobitoiminnan voimistuessa myös hapen määrä aumoissa väheni (kuva 2). Ammoniumtypen haihtuminen voimistuu hapettomissa tai vähähappisissa olosuhteissa, joten oletettavasti osa aumoihin talven aikana kertyneestä ammoniumtyypistä poistui kompostista haihtumalla ilmaan.

Nitraatin määrä oli kaikissa aumoissa korkeimmillaan huhtikuussa 2004, kun aumoja oli kypsytetty 10 kuukautta. Vastaavasti ammoniumtypen määrä oli tällöin alhaisin. Touku-kuussa, 11 kuukauden kypsytyksen jälkeen, nitraatin määrä oli kuitenkin huomattavasti edellistä kuukautta alhaisempi ja vastaavasti ammoniumtyyppeä oli edellisen kuukauden määrää enemmän. Oletettavasti osa nitraattityypistä huuhtoutui aumoista kevään sade- ja sulamisvesien mukana, ja toisaalta mikrobitoiminnan voimistuminen lisäsi myös orgaanisesta aineksesta vapautuvan ammoniumtypen määrää. Kesäkuussa trendi jälleen kääntyi ja nitraatin määrä kohosi ammoniumtypen vähetessä (kuvat 7 ja 8).

Nitraattitypen esiintymisen ja ammonium- ja nitraattitypen suhteen perusteella tarkasteltuna aumat 1-4 alkoivat jo helmikuussa 2004, kahdeksan kuukauden kypsytyksen jälkeen, olla melko kypsiä. Toisaalta aumojen lämpötilan voimakas kohoaminen huhtikuussa jopa yli 60 °C lukemiin kertoo, että mikrobitoiminta aumoissa oli voimistunut uudelleen ja siten massassa oli edelleen runsaasti hajoavaa orgaanista ainesta.

Ammonium- ja nitraattitypen määrien kehitys oli hyvin samankaltaista kaikissa tutkituissa aumoissa (kuvat 7 ja 8). Määrissä näkyi kompostin osuus auman massasta, siten että aumassa 4 (komposti:hake 2:1) oli eniten ammoniumtyyppeä, koska helposti hajoavan orgaanisen aineksen määrä oli suurin. Aumassa 3 (komposti:hake 1:2) puolestaan ammoniumtyppipitoisuudet olivat selkeästi muita alhaisempia. Myös nitraatin määrä oli aumoissa 3 ja 4 pienempi kuin aumoissa 1 (komposti:hake 1:1) ja 2 (komposti:hake 1:1,5). Vielä kesäkuussa 2004, 12 kuukauden kypsytyksen jälkeen, aumassa 4 oli huomattavan korkea ammoniumtyppipitoisuus ja vastaavasti nitraatin määrä oli pieni. Syynä oli todennäköisesti massan tiivistyminen ja siitä aiheutunut hapenpuute. Auman 4 happitilanne oli kesäkuussa 2004 selkeästi muita tukiaumia heikompi (kuva 2).

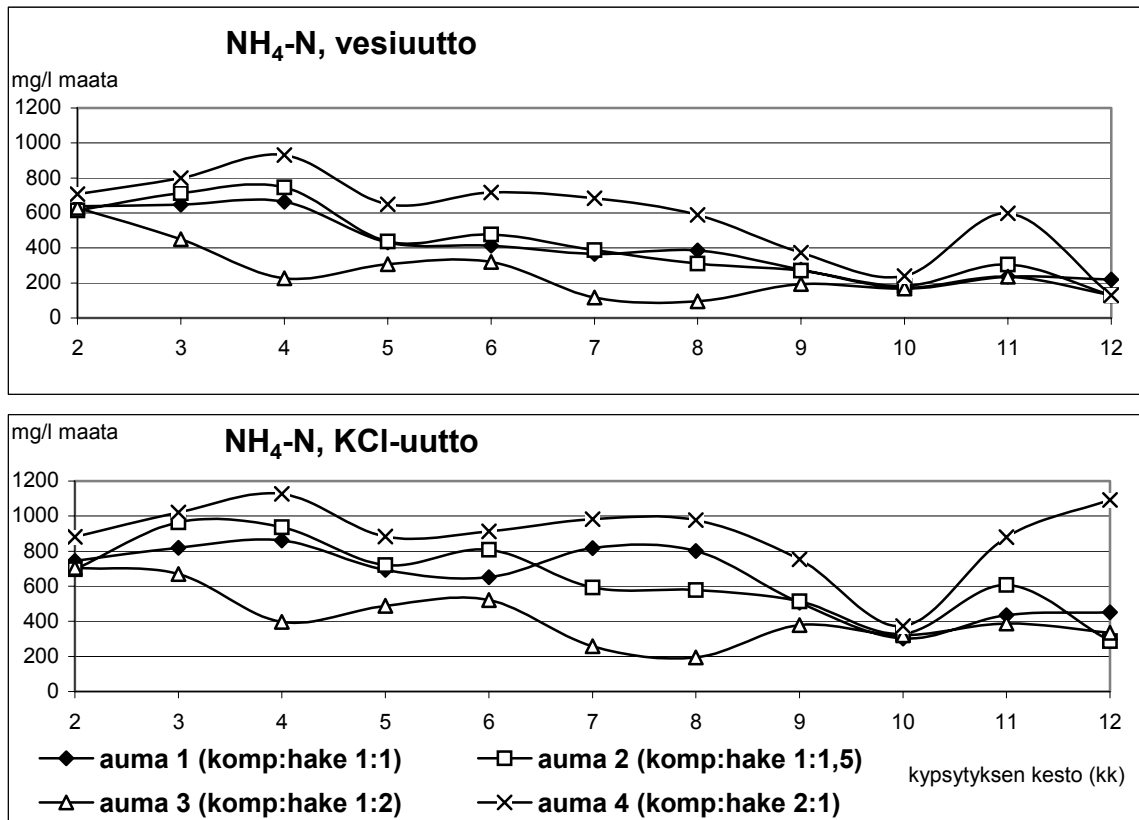
5.5.2 Eri analyysimenetelmien antamien tulosten suhde

Nitraattityppituloksille tehtiin logaritmimuunnos ennen tilastollisia analyysijä, koska satunnaisvaihtelu kasvoi alkuperäisellä asteikolla nitraattityppiarvojen kasvaessa. Nitraattitypen tulosten osalta KCl- ja vesiuttojen välinen korrelaatio oli korkea (0.90), eikä menetelmien välillä ollut tilastollisesti merkitseviä tasoeroja ($p = 0.17$). Liuskatestin korrelaatio KCl- ja vesiuttojen kanssa oli 0.41 ja 0.58, vastaavasti. Liuskatesti tuotti hieman muita menetelmiä korkeampia arvoja. Menetelmien välinen ero vaihteli kuukausittain ($p = 0.04$),

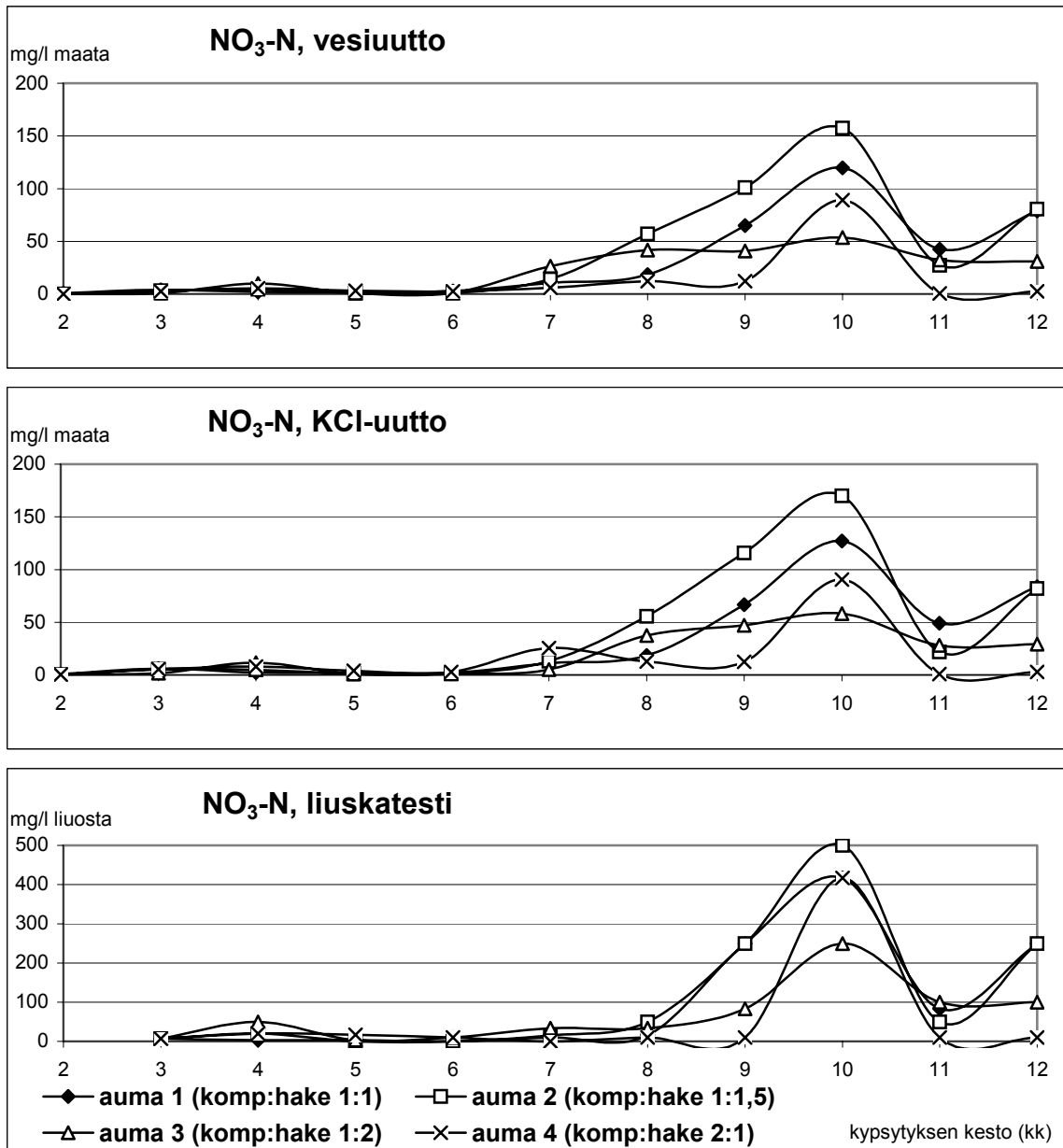
mikä aiheutui lähinnä siitä, että liuskatestin tulosten ero muiden analyysien tuloksiin vaihteli kuukausittain. KCl- ja vesiuttojen tuloksissa ei ollut vaihtelua kuukausittain ($p = 0.48$). Liuskatestin tulokset olivat epätarkimpia (satunnaisvaihtelun varianssit log-skaalassa liuskalle, vesiutolle ja KCl-uutolle 2.37, 0.84 ja 0.79). Tämä aiheutui lähinnä liuskatestin karkeasta asteikosta (10-25-50-100-250-500 mg $\text{NO}_3\text{-N/l}$ liuosta). Koska liuskatesti kuitenkin antoi tuloksen samassa suuruusluokassa kuin laboratorioanalyysit, eikä eri menetelmillä saatujen tulosten välillä ollut tilastollisesti merkitseviä tasoeroja ($p = 0.07$), soveltuu liuskatesti nitraatin määrän mittaamiseen kompostista.

Ammoniumtyypen kohdalla KCl- ja vesiuttojen tulosten välinen korrelaatio oli 0.76, eli menetelmät korreloivat suhteellisen hyvin. KCl-uutto liuottaa kuitenkin enemmän ammoniumtyyppiä ja antaa siten suurempia tuloksia, mikä aiheutti menetelmien välille tasoeron ($p < 0.005$).

Ammonium- ja nitraattityypen suhdetta tarkasteltaessa KCl- ja vesiuton tulosten välinen suhde ei ollut lineaarinen, vaan vesiuton tulokset kasvavat selvästi enemmän raa'assa kompostissa ammoniumtyppi/nitraattityppi -suhteen noustessa tuhansien tasoon. Siksi myös tälle aineistolle tehtiin logaritmuunnos ennen tilastollisia analyysejä. Korrelaatio eri uuttomenetelmien välillä oli korkea (0.91), mutta menetelmien välillä oli tasoero ($p = 0.06$), joka vaihteli kuukaudesta toiseen ($p < 0.01$). Tasoeron syynä oli, että KCl-uutto liuottaa enemmän liukoista tyyppiä ja antaa siten suurempia tuloksia. KCl-uuton tulokset olivat tarkempia, sillä niissä oli vähemmän satunnaisvaihtelua kuin vesiutossa, mutta ero ei ollut kovin suuri.



Kuva 7. Ammoniumtyypen pitoisuus vesi- ja KCl-uitoissa aumoissa 1-4.



Kuva 8. Nitraattitypen pitoisuus vesi- ja KCl-uutoissa sekä liuskatestin tuloksena aumoissa 1-4.

5.6 Kasvatuskoe

Kasvatuskokeessa käytettyjen 0-kontrollin hietamaan sekä komposteista valmistettujen kasvualustojen fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia kokeen alussa on esitetty taulukossa 1. Optimikontrollissa käytettiin samaa maata kuin 0-kontrollissa. Kontrollimaiden pH oli 5,3 eli melko alhainen, joten maat kalkittiin ennen koetta. ESMR-laitoksen normaaliaumasta valmistetun kasvualustan pH oli korkeahko, 7,7. Koeaumojen pH:t olivat hieman alhaisempia, välillä 6,5-6,9, oletettavasti johtuen niihin kypsytyksen alussa lisätystä hakeesta. Kontrollien johtoluku oli $2,5 \cdot 10$ mS/cm. Kompostikasvualustojen johtoluvut olivat selkeästi korkeampia. Fysikaalisilta ominaisuuksiltaan massat olivat varsin samankaltaisia.

Taulukko 1. Kasvatuskokeessa käytettyjen kasvualustojen fysikaalisia ja kemiallisia ominaisuuksia. Optimikontrollia ei analysoitu erikseen, vaan siihen käytettiin samaa maata kuin 0-kontrollissa.

Näyte	pH	johtoluku ($10 \cdot \text{mS/cm}$)	kuiva-aine %	kosteus %	tilav.paino (kg/m^3)
0-kontrolli	5,3	2,5	84,3	15,7	1200
ESMR-laitoksen norm.auma (ei haketta)	7,7	11	87,3	12,7	1300
auma 1 (kesä, komp:hake 1:1)	6,7	10	87,0	13,0	1300
auma 2 (kesä, komp:hake 1:1,5)	6,9	16	86,0	14,0	1100
auma 7 (syksy, komp:hake 1:1)	6,9	9,5	82,1	17,9	1200
auma 13 (talvi, komp:hake 1:1)	6,5	16	86,8	13,2	1200

Taulukossa 2 on esitetty kokeessa käytettyjen kasvualustojen ravinnepitoisuudet kokeen alussa. Kaikkien kompostikasvualustojen ravinnepitoisuudet olivat korkeampia kuin 0-kontrollin, mutta erot eivät olleet suuria eikä kompostikasvualustojen välillä ollut merkittäviä eroja ravinnepitoisuuksissa.

Taulukko 2. Kasvatuskokeessa käytettyjen kasvualustojen ravinnepitoisuudet. Optimikontrollia ei analysoitu erikseen, vaan siihen käytettiin samaa maata kuin 0-kontrollissa ja ravinteita lisättiin tunnetut määrät. 0-kontrolli ja optimikontrolli myös kalkittiin ennen koetta (näytteenoton jälkeen) (kts. s. 27).

Näyte	N (liuk.) ¹⁾	N (tot.) ¹⁾	P (liuk.) ¹⁾	K (liuk.) ¹⁾	Ca (liuk.) ¹⁾	Mg (liuk.) ¹⁾	B (liuk.) ²⁾
0-kontrolli	< 0,12	2,1	< 0,1	0,17	0,8	< 0,1	0,25
ESMR-laitoksen norm.auma (ei haketta)	0,52	2,5	0,13	0,52	0,96	0,2	0,69
auma 1 (kesä, komp:hake 1:1)	0,26	3,1	0,2	0,7	1,8	0,29	0,67
auma 2 (kesä, komp:hake 1:1,5)	0,49	3,8	0,21	0,84	1,6	0,26	0,53
auma 7 (syksy, komp:hake 1:1)	0,3	5,1	< 0,1	0,6	1,2	0,24	0,5
auma 13 (talvi, komp:hake 1:1)	0,69	3,1	0,14	0,74	0,98	0,29	0,6

¹⁾ = g/kg kuiva-ainetta

²⁾ = mg/kg kuiva-ainetta

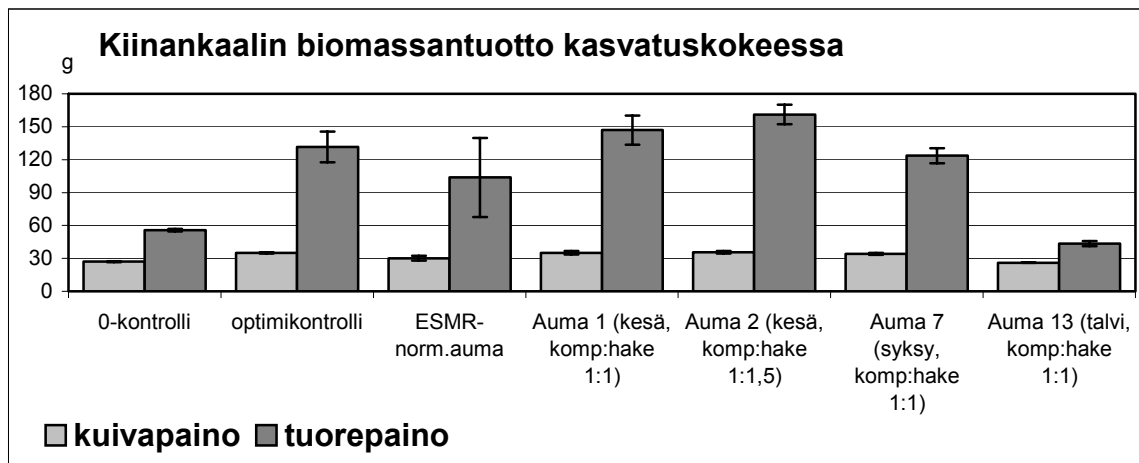
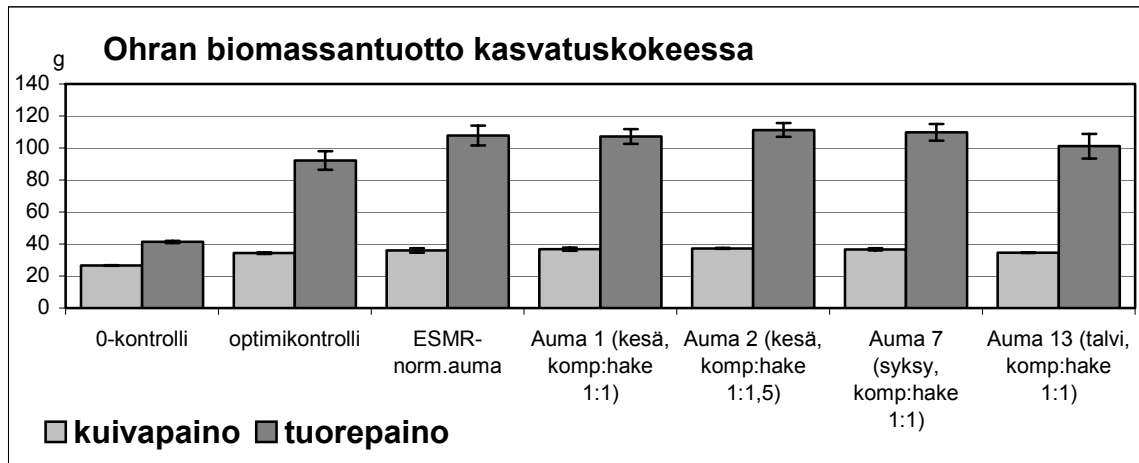
Auman 13 (ikä 20 vko, komposti:hake 1:1) massasta valmistettuun kasvualustaan ilmestyi kokeen ensimmäisellä viikolla hometta, joka poistettiin käsin. Hometta esiintyi sekä ohraetta kiinankaaliruukuissa, mutta vain kiinankaalin taimien kehitys häiriintyi. Homeella ei näyttänyt olevan vaikutusta ohran kehittymiseen.

Kolmannella koeviikolla osassa kiinankaalin taimista havaittiin reikiä, minkä vuoksi taimet ruiskutettiin Bioruiskute S –torjunta-aineella, joka sisältää vaikuttavana aineena pyretriiniä 100 g/l. Torjunta-aineen väkevyys oli 0,2 % (20 ml/10 l vettä) ja se annosteltiin sumuttamalla kasvien lehtiin. Torjunta tehtiin vain kerran. Tämän jälkeen kiinankaalin tainten vioitukset eivät enää lisääntyneet. Vioituksen aiheuttajaa ei saatu selville.

Osassa kasvatuskokeen ohraesta esiintyi joitakin vioituksia, mahdollisesti jonkinlaista laikutautia. Vioituksia havaittiin 0-kontrollissa sekä ESMR-laitoksen normaaliaumasta ja aumoista 1 (ikä 51 vko, komposti:hake 1:1) ja 2 (ikä 51 vko, komposti:hake 1:1,5) valmistetuissa kasvualustoissa. Oletettavasti vioitukset eivät merkittävästi vaikuttaneet ohran biomassantuottoon.

Kompostikasvualustat tuottivat jopa enemmän ohraa (biomassana, tuorepaino) kuin kemiallisesti lannoitettu optimikontrolli (kuva 9). Lannoittamattoman 0-kontrollin ohran biomassantuotto jäi alle puoleen optimikontrollista. Kompostikasvualustojen välillä ei ollut merkittäviä eroja ohran kasvualustana. ESMR-laitoksen normaaliauman massasta valmistettu kasvualusta ei eronnut koeaumosta, joihin oli lisätty haketta kypsytyksen alussa. 0-kontrollilla ohran kuivapaino oli 64 % tuorepainosta, optimikontrollilla vastaava arvo oli 37 % ja kompostikasvualustoilla 33-34 %.

Kiinankaalin biomassantuotto oli suurin koeaumasta 2 (ikä 51 vko, komposti:hake 1:1,5) valmistetulla kasvualustalla (kuva 9). Koeaumasta 1 (ikä 51 vko, komposti:hake 1:1) valmistettu kasvualusta tuotti lähes yhtä runsaasti biomassaa. Nämä kaksi kompostikasvualustaa tuottivat runsaammin biomassaa kuin optimikontrolli. Koeaumasta 7 (ikä 39 vko, komposti:hake 1:1) ja ESMR-laitoksen normaaliaumasta (ei hakelisäystä) valmistetut kasvualustat olivat hieman vähätuottoisampia. 0-kontrollin tuotto oli alle puolet optimikontrollista. Heikoin, 0-kontrolliakin alempi kiinankaalin biomassantuotto oli koeaumasta 13 (ikä 20 vko, komposti:hake 1:1) valmistetulla kasvualustalla, joka homehtui kokeen alussa. Koeaumasta 13 valmistetulla kasvualustalla kiinankaalin kuivapaino oli 60 % tuorepainosta, 0-kontrollilla vastaava arvo oli 49 %, optimikontrollilla 27 % ja muilla kompostikasvualustoilla 22-29 %.



Kuva 9. Ohran (*Hordeum vulgare*) ja kiinankaalin (*Brassica rapa* var. *pekinensis*) biomassantuotto kasvatuskokeessa. Kunkin käsittelyn tulosten keskihajonta on esitetty y-virhepalkein.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

6.1 Laitoskompostoinnin menetelmien kehittäminen tutkimustulosten perusteella

6.1.1 Kompostin kypsytyksen tehostaminen ja tasalaatuisen kompostin tuottaminen läpi vuoden

6.1.1.1 Tukiaineen lisäys jälkikypsytysvaiheessa

MTT:n aiemmin toteuttaman tutkimuksen (Lehtonen et al. 2003) mukaan kompostin kypsymistä on mahdollista nopeuttaa lisäämällä jälkikypsytyksaumoisiin tukiainetta. Käytettävää tukiainemäärää niin jälkikypsytyksessä kuin kompostointilaitosten aktiivivaiheessakin rajoittavat tukiaineen hankintakustannukset, lisääntyvä työmäärä sekä käytettävissä oleva tila. Jälkikypsytyksentien tilanpuute voi johtaa tilanteeseen, jossa jälkikypsytettävä komposti aumataan suuriin aumoihin, joissa massa usein tiivistyy liikaa ja mikrobien hapensaanti vaikeutuu. Tilanpuutteen vuoksi myös kypsytyisaika voi jäädä liian lyhyeksi.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, miten tukiainelisäyksen suuruus vaikuttaa kompostin kypsymiseen, ja etsittiin kypsymisen kannalta parasta komposti:tukiaine –suhdetta. Tukiaineen lisääminen kypsytyksaumaan oli tutkimuksessa mukana olleen kompostointilaitoksen prosessin kannalta hyödyllistä. Verrattaessa keskenään aumoja, joihin lisättiin tukiaineeksi haketta, ja laitoksen normaalikäytännön mukaan perustettuja, tukiaineettomia aumoja, havaittiin, että tukiaineaumojen lämpötila oli korkeampi ja kaasujenvaihto oli tehokkaampaa kuin vertailuaumoissa. Komposti:hake –suhde 1:1 (tilavuussuhde) voisi olla riittävä aumojen ilmastuksen parantamiseksi. Suurempi tukiainemäärä voi edelleen lisätä hapen määrää massassa, mutta lämpötilan perusteella arvioituna kypsyminen ei tehostunut merkittävästi, kun tukiaineen määrä oli puolitoista- tai kaksinkertainen kompostiin nähden. Toisaalta aumassa, jossa haketta oli puolet kompostin määrästä, kompostoituminen ei ollut kovin tehokasta, joskin edelleen tukiaineetonta aumaa tehokkaampaa.

Tukiaineen lisääminen kypsytyksaumoisiin lisää merkittävästi kompostointilaitosten kustannuksia, joten sen hyödyllisyyttä on arvioitava tapauskohtaisesti. Suurin hyöty tukiaineen lisäämisestä kypsytyksaumoisiin saataneen tuotettaessa korkealaatuista kompostimultaa kasvualustakäyttöön. Maatalouskäyttöön lannoitteeksi tai maanparannusaineeksi sopii myös hieman heikommin kypsynyt komposti, joten kypsytyksen tehostaminen tukiainelisäyksellä ei liene tarpeen.

Kypsytyksaumojen kääntämisen vaikutus massan lämpötilaan ja kaasupitoisuuteen oli yllättäen melko vähäinen. Toisaalta kääntöjä tehtiin suhteellisen harvoin. Vaikka myös kääntäminen aiheuttaa lisäkustannuksia, ovat sen kustannukset kuitenkin pienemmät kuin tukiainelisäyksen. Siten kypsytyksaumojen tiheämpi kääntäminen voisi ehkä riittää käsittelyksi ainakin maanparannuskomposteja tuotettaessa.

6.1.1.2 Auman koko

Kypsytyksauman koko vaikuttaa mm. auman lämpötilaan ja kaasujenvaihdon tehokkuuteen. Sopiva aumakoko riippuu mm. käsiteltävän jätteen laadusta ja kompostoinnin aktiivivaiheen tehokkuudesta. Tutkitut aumat olivat muodoltaan lähinnä kekomaisia, ts. aumojen pituus ei ollut olennaisesti niiden leveyttä suurempi. Ehkäpä tästä johtuen 2 m korkeassa

aumassa massan lämpötila ei ylittänyt 60 °C:ta ja kompostoituminen eteni hitaasti. Todennäköisesti auman koko (20 m³) oli liian pieni lämmön varastoitumista ajatellen. Aumat, joiden korkeus oli 3 m ja 4 m ja joihin oli lisätty haketta suhteessa 1:1, eivät tulosten perusteella juuri eronneet toisistaan. Ero 4 m korkeaan tukiaineettomaan vertailuaumaan oli kuitenkin selkeä ja tulokset osoittavat, ettei biojätekomposti kypsy tehokkaasti näin korkeissa aumoissa, ainakaan ilman tukiainelisäystä. Hänninen et al. (1992) suosittelevat kompostiauman korkeudeksi 2-2,5 m tehokkaan kaasujenvaihdon mahdollistamiseksi. Tällöin auman kuitenkin tulee olla riittävän pitkä, jotta auman sisäosat ovat tehokkaasti eristettyinä ulkoilmasta ja liiallinen lämmön haihtuminen aumasta estyy.

6.1.1.3 Ymppäys

Lämpötila- ja kaasumittausten perusteella ei havaittu ymppämisellä olevan mitään selkeää vaikutusta kompostin kypsymiseen. Oletettavasti ymppinä käytetyn valmiin kompostin mikrobit eivät olleet oikeanlaatuisia kyseistä kompostoinnin vaihetta ajatellen, tai ne eivät kyenneet kilpailemaan aktiivivaiheesta tulevan massan mikrobien kanssa. Valmiilla kompostilla ei kaasujenvaihdon tehostommuuden perusteella myöskään näyttänyt olevan massan rakennetta parantavaa vaikutusta. Valmiilla kompostilla ymppäyksestä ei siis ollut hyötyä biojätekompostin kypsytyksen tehostamisessa.

6.1.1.4 Auman perustamisvuodenajan vaikutus

Keväällä, kesällä ja syksyllä perustetut kypsytyksaumat eivät eronneet suuresti toisistaan. Talvella perustetut aumat kuitenkin poikkesivat muista: niissä kompostoituminen eteni lämpötilan nousun perusteella arvioituna selkeästi muita hitaammin. Kompostointilaitosten on kyettävä toimimaan tehokkaasti ympäri vuoden ja tasalaatuisen kompostin tuottaminen vaihtelevissa ilmasto-oloissa on suuri haaste jätehuollolle. Erityisesti talvella perustettavien kypsytyksaumojen seurantaan tulisi kiinnittää huomiota ja kypsytyksen hitaampaan etenemiseen ja siten pitempään kypsymisaikaan tulisi varautua jo sijoitettaessa aumoja kompostointikentälle.

Vuodenaikaisseurannassa tuli myös selkeästi ilmi hakelisäyksen vaikutus kompostoitumiseen. Hakelisäyksestä näyttäisi olevan erityisen merkittävää hyötyä talvella. Hakkeen lisääminen kypsytyksaumaan tasapainottaa auman olosuhteita erityisesti kaasujenvaihdon osalta ja parantaa siten mikrobien toimintaedellytyksiä. Hakelisäys voikin talvella olla lisäkustannuksista huolimatta kannattavaa, mikäli sen avulla voidaan merkittävästi lyhentää talvella perustettavien aumojen vaatimaa kypsytyksaika.

6.1.2 Kypsymisen seuranta kompostointilaitoksessa

6.1.2.1 Lämpötila- ja kaasumittaukset

Lämpötilan ja kaasupitoisuuksien mittaaminen on yksinkertainen ja helppo menetelmä kypsytyksaumojen seuraamiseen. Mittarien hankintakustannukset ovat kertaluonteisia, pieniä investointeja. Kaasumittarit tarvitsevat määräajoin huoltoa, mutta senkään kustannukset eivät ole merkittäviä. Siten nämä mittaukset soveltuvat hyvin osaksi kompostointilaitosten omavalvontaa. Seuraamalla kypsytyksaumojen lämpötilan kehitystä ja kaasupitoisuuksia voidaan saada lähes reaaliaikaista tietoa kypsytyksvaiheen kulusta ja aumojen tilasta, ja toimintojen suunnittelua laitoksella voidaan tehostaa. Esimerkiksi aumojen kääntäminen voidaan toteuttaa tarpeen mukaan, olettaen että kypsytykskentällä on riittävästi tilaa yksittäisten aumojen kääntämiseen.

6.1.2.2 Nitraattityypen pikatesti

Kypsytysaumojen nitraattityypipitoisuuden mittaaminen nopealla, alkuaan vesianalytiikkaan kehitetyllä pikatestillä mahdollistaa aumojen kypsymisen seurannan kompostointilaitoksella ilman kalliita ja aikaavieviä laboratoriotestejä. Tässä tutkimuksessa osoitettiin, että nitraattityypen pikatestillä saatavat tulokset ovat samaa suuruusluokkaa kuin laboratorio-määritysten tulokset, eikä eri menetelmillä saatujen tulosten välillä ollut tilastollisesti merkitseviä tasoeroja. Tutkitut kypsytysaumat olivat ammonium- ja nitraattityypipitoisuuksien perusteella suhteellisen kypsiä yhdeksän kuukauden ikäisinä, joskin aumojen lämpötilat kohosivat uudelleen vielä 10 kuukauden kypsytyksen jälkeen, mikä kertoo aumojen sisältäneen edelleen runsaasti hajoavaa orgaanista ainesta.

Nitraattityypen mittaaminen kannattaa aloittaa kuuden kuukauden kypsytyksen jälkeen ja suorittaa siitä eteenpäin kuukausittain, kunnes saavutetaan haluttu kypsytyksen aste. Pikatestin suorittaminen on yksinkertaista: tietty määrä (tilavuus) kompostia sekoitetaan samaan määrään tislattua vettä, ja testiliuska upotetaan seokseen. Tulos on luettavissa noin minuutin kuluttua. Liuskojen hinta on laboratorioanalyysiin verrattuna alhainen ja tulokset ovat käytettävissä lähes välittömästi mittauksen jälkeen. Siten nitraattityypen pikatesti soveltuu osaksi kompostointilaitosten omavalvontaa. Sen avulla voidaan seurata aumojen kypsymistä ja valikoida riittävän kypsät aumat valmiiden kompostituotteiden raaka-aineiksi.

6.1.3 Kompostien laatu kasvualustakäytössä

Ympäristöministeriön (1992) Kompostityöryhmän mietinnön mukaan valmiin kasvualustan johtoluvun tulisi olla 1-6*10 mS/cm, ja kokeessa käytetyt kompostikasvualustat ylittivät tämän arvon selkeästi. Korkean johtoluvun ei kuitenkaan voida sanoa heikentäneen koekasvien biomassantuottoa.

Kompostikasvualustat sisälsivät ohran kasvun kannalta riittävästi ravinteita, eikä niiden korkea johtoluku näyttänyt haittaavan kasvua. Kokeessa ei voitu havaita eroa ESMR-laitoksen normaaliauman (ei hakelisäystä) ja koeaumojen (hakelisäys kypsyttämisen alus) välillä.

Kiinankaalilla tulokset eivät olleet yhtä selkeitä. Eniten biomassaa tuottivat 12 kk (51 vko) kypsytyksistä koeaumoista 1 (komposti:hake 1:1) ja 2 (komposti:hake 1:1,5) valmistetut kasvualustat. ESMR-laitoksen normaaliauman (ei hakelisäystä) ja koeaumasta 7 (komposti:hake 1:1) raaka-aineina käytettyjä komposteja oli kypsytetty noin yhdeksän kuukautta, ja koeaumasta 7 valmistetun kasvualustan tuotto oli korkeampi kuin ESMR-laitoksen normaaliauman. Mahdollisesti massan kypsyminen on tehostunut hakelisäyksen ansiosta, ja tämä on parantanut myös massan ominaisuuksia kasvualustakäyttöä ajatellen. Ero biomassantuotossa ei kuitenkaan ole kovin suuri. ESMR-laitoksen normaaliaumasta valmistetun kasvualustan heikompi kiinankaalin biomassantuotto voi aiheutua myös kasvualustan korkeahkosta (7,7) pH:sta. Aumasta 13, jota oli kypsytetty noin neljä ja puoli kuukautta, valmistetun kasvualustan homehtuminen häytti selvästi kiinankaalin kasvua.

Komposteista valmistetut kasvualustat soveltuivat ohran viljelyyn. Tuotettaessa peltoviljelyssä hyödynnettäviä maanparannuskomposteja ei tukiaineen lisäämisestä kypsytysaumoihin kuitenkaan välttämättä saada merkittäviä hyötyjä. Tukiaineen lisääminen kypsytysaumoihin voisi parantaa kompostikasvualustojen soveltuvuutta vihannesten viljelyyn, mutta ei näytä merkittävästi lyhentävän kompostin kypsymiseltä vaadittavaa aikaa. Tukiainelisäyksen kannattavuutta onkin syytä arvioida tapauskohtaisesti käytettävän viljelykasvin tarpeet huomioon ottaen.

6.1.4 Kompostointilaitosten omavalvonta

Nitraattityypen pikatesti kertoo jo yksinään suhteellisen luotettavasti kompostin kypsyyden asteesta, mutta kompostointilaitoksen tehokkaan toiminnan varmistamiseksi on tarpeen seurata kompostointiprosessin etenemistä myös massan lämpötilan ja kaasupitoisuuksien mittauksilla. Tällöin voidaan prosessin aikana aktiivisesti vaikuttaa kompostointiolosuhteisiin mittaustulosten perusteella toteutettavien toimenpitein.

Euroopan yhteisön eläinten sivutuoteasetus (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 3.10.2002/1774) edellyttää eläinperäisiä sivutuotteita käsitteleviltä kompostointilaitoksilta viranomaishyväksyntää, jonka saadakseen laitosten on täytettävä sivutuoteasetuksen liitteen VI vaatimukset. Maa- ja metsätalousministeriön asetuksen (MMM: 18.3.2004/195) mukaan Suomessa kompostointilaitosten sivutuoteasetuksen mukaisesta valvonnasta vastaa Kasvintuotannon tarkastuskeskus (KTTK), jolta laitosten on haettava laitoshyväksyntää. Hyväksynnän saamiseksi laitosten on myös toimitettava KTTK:lle omavalvontasuunnitelma, jossa on esitettävä toimenpiteet, joilla varmistetaan sivutuoteasetuksen vaatimusten täytyminen (Maa- ja metsätalousministeriö ja Kasvintuotannon tarkastuskeskus 2004). ESMR-kompostointilaitokselle laaditaan omavalvontajärjestelmä vuoden 2004 aikana.

6.2 Jatkotutkimustarpeet

Kompostointi tulisi nähdä yhtäläisesti luotettavana jätehuollon ratkaisuna ja korkealaatuisten maanparannusaineiden ja lannoitteiden tuottamisen menetelmänä. Laitoskompostoinnin menetelmiä on kehitettävä siten, että kompostoinnista muodostuu tuotantoprosessi, jonka avulla päästään halutut ominaisuudet omaavaan lopputuotteeseen. On selvitettävä, voidaanko laitoskompostoinnin menetelmiä vakioida siten, että tietyllä menetelmällä saadaan aikaiseksi tietynlainen lopputuote. Suomen ilmasto-olosuhteet, lähinnä talven alhaiset lämpötilat, tulisi huomioida myös laitoskompostoinnin prosessien kehityksessä.

Kompostoinnin aktiivivaihetta on tutkittu jo runsaasti, mutta jälkikypsytyksen vaikutus laitoskompostien laatuun on usein jäänyt taka-alalle. Kompostien jälkikypsytykseen onkin kiinnitettävä erityistä huomiota laadukkaan lopputuotteen aikaansaamiseksi. Tutkimuksen avulla on etsittävä ratkaisuja kysymyksiin, voidaanko erilaisilla kypsytyksimenetelmillä tuottaa erilaisia kompostituotteita, ja miten erilaiset kypsytyksimenetelmät soveltuvat eri jäteladuille. Kompostituotteiden laadun arviointi on viime kädessä mahdollista vain arvioimalla tuotteiden soveltuvuutta käyttötarkoitukseensa, joten eri menetelmillä tuotettujen kompostien ominaisuuksia on selvitettävä erityisesti kasvinviljelytutkimusten avulla.

7 Kirjallisuus

Agricultural Research Centre 1986: Soil and Plant Analysis. –Jokioinen, Finland: Agricultural Research Centre, Department of Soil Science. 45 s.

Anhava, J., Ekholm, E., Ikäheimo, E., Koskela, K., Kurvi, M. & Walavaara, M. 2001: Jätehuollon ja materiaalikierrätyksen teknologiat ja niiden kehittämistarpeet. Teknologia katsaus 102/2001. – Helsinki, Suomi: Tekes. 35 s. + 2 liitettä.

Barker, A.V. 1997: Composition and uses of compost. –Teoksessa: Rechigl, J.E. & MacKinnon, H.C. (toim.) 1997: Agricultural Uses of By-Products and Wastes. ACS Symposium Series 668. Washington, DC, U.S.A: American Chemical Society. s. 140-162.

Barth, J. 2004: Biological waste treatment in Europe, technical and market developments. – Esitelmä Streams – Yhdyskuntien jätevirroista liiketoimintaa –teknologiaohjelman vuosiseminaarissa, Espoo 25.5.2004. Saatavilla internetistä: <http://akseli.tekes.fi/dman/Document.phx/~sig-streams/Julkinen/Seminaarit/25-5-2004/4?folderId=%7Esig-streams%2FJulkinen%2FSeminaarit%2F25-5-2004&cmd=download>. Viitattu: 5.7.2004.

Baumgarten, A. & Spiegel, H. 2004: Phytotoxicity (*Plant tolerance*). –Project Horizontal, Final Desk Study 8 (WP 4). 36 s. Saatavilla internetistä: http://www.ecn.nl/docs/society/horizontal/hor8_phytotoxicity.pdf. Päivitetty: 17.3.2004. Viitattu: 27.7.2004.

Bernal, M.P., Navarro, A.F, Sanchez-Monedero, M.A., Roig, A. & Cegarra, J. 1998: Influence of sewage sludge compost stability and maturity on carbon and nitrogen mineralization in soil. –Soil. Biol. Biochem 30: 305-313.

Biddlestone, A.J. & Gray, K.R. 1985: Composting. –Teoksessa: Moo-Young, M. 1985 (toim.): Comprehensive Biotechnology. The Principles, Applications and Regulations of Biotechnology in Industry, Agriculture and Medicine. Oxford, U.K.: Pergamon Press Ltd. S. 1059-1070.

Chen, Y. 2003: Nuclear magnetic resonance, infra-red and pyrolysis: Application of spectroscopic methodologies to maturity determination of compost. –Compost Sci. Util. 11 (2): 152-168.

Cooper, B.J. 2004: Stability (Biodegradability). –Project Horizontal, Final Desk Study 7 (WP4). 41 s. Saatavilla internetistä: http://www.ecn.nl/docs/society/horizontal/hor7_stability.pdf. Päivitetty: 17.3.2004. Viitattu 9.6.2004.

Cooperband, L.R., Stone, A.G., Fryda, M.R. & Ravet, J.L. 2003: Relating compost measures of stability and maturity to plant growth. –Compost Sci. Util. 11 (2): 113-124.

de Bertoldi, M., Vallini, G. & Pera, A. 1983: The biology of composting: A review. –Waste Management & Research 1: 157-176.

De Bertoldi, M., Zucconi, F. & Civilini, M. 1991: Temperature, pathogen control and product quality. –Teoksessa: The Staff of BioCycle (toim.) 1991: The BioCycle guide to the Art and Science of Composting. Emmaus, Pennsylvania, U.S.A.: The JG Press, Inc. s. 195-199.

Dumontet, S., Dinel, H. & Baloda, S.B. 1999: Pathogen reduction in sewage sludge by composting and other biological treatments: A review. –Biol. Agriculture and Horticulture 16: 409-430.

Ekholm, E. & Lehto, T. 2001: Suomalaisten kompostointilaitosten toimivuus ja tehostaminen. Helsinki: Jätelaitosyhdistys ry. Saatavilla internetistä: www.jatelaitosyhdistys.fi. Viitattu 22.6.2004.

EN 12579 (1999). Soil improvers and growing media – Sampling. –Brussels, Belgia: CEN. 11 s.

EN 12580 (1999). Soil improvers and growing media – Determination of a quantity. –Brussels, Belgia: CEN. 11 s.

EN 13040 (1999). Soil improvers and growing media – Sample preparation for chemical and physical tests, determination of dry matter content, moisture content and laboratory compacted bulk density. Brussels, Belgia: CEN. 8 s.

EN 13652 (2001). Soil improvers and growing media – Extraction of water soluble nutrients and elements. –Brussels, Belgia: CEN. 15 s.

Epstein, E. 1997: The Science of Composting. –Lancaster, Pennsylvania, U.S.A.: Technomic Publishing company, Inc. 487 s.

Euroopan komissio 2001: European Commission, Directorate-General Environment, Directorate A – Sustainable Development and Policy Support, ENV.A.2 – Sustainable Resources: Biological Treatment of Biowaste. Working document. 2nd draft. –Brysseli, 12.2.2001. Saatavana internetistä, osoite <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=5765>. Viitattu 22.6.2004.

Euroopan neuvoston direktiivi 26.4.1999/31/EY. Neuvoston direktiivi kaatopaikoista. Luxemburg 26.4.1999. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L182, 16.7.1999, s. 1-19.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus 3.10.2002/1774. Asetus muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuotteiden terveystäännöistä. Luxemburg 3.10.2002. Euroopan yhteisöjen virallinen lehti L 273, 10.10.2002, s. 1-95.

Frost, D.I., Toth, B.L. & Hoitink, H.A.J. 1992: Compost stability. –BioCycle 33 (11): 62-66.

Gallardo-Lara, F. & Nogales, R. 1987: Effect of the application of town refuse compost on the soil-plant system: A review. –Biol. Wastes 19: 35-62.

Golueke, C.G. & Diaz, L.F. 1991: Inoculums and enzymes. –Teoksessa: The Staff of BioCycle (toim. 1991): The BioCycle Guide to the Art and Science of Composting. Emmaus, Pennsylvania, U.S.A.: The JG Press, Inc. s. 31-36.

Hatcher, J.D. & Wilcox, L.V. 1950: Colorimetric method of boron determination. –Anal. Chem. 22: 567-569.

Haug, R.T. 1993: The practical handbook of compost engineering. –Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, U.S.A. 717 s.

Hänninen, K., Huotari, H. & Malinen, H. 1992: Kompostoinnin biotekniikka ja laitteet. VTT Tiedotteita 1371. –Espoo, Suomi: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 81 s.

Hänninen, K., Huvio, T., Veijanen, A., Wihersaari, M. & Lundström, Y. 1993: Aumakompostoinnin työhygieniä. VTT Julkaisuja 776. –Espoo, Suomi: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 102 s.

Iglesias Jimenez, E. & Perez Garcia, V. 1989: Evaluation of city refuse compost maturity: A review. –Biological Wastes 27: 115-142.

Inbar, Y., Chen, Y., Hadar, Y. & Hoitink, H.A.J. 1990: New approaches to compost maturity. –BioCycle 31 (12): 64-69.

--- (1991): Approaches to determining compost maturity. –Teoksessa: The Staff of BioCycle (toim. 1991): The BioCycle Guide to the Art and Science of Composting. Emmaus, Pennsylvania, U.S.A.: The JG Press, Inc. s. 183-187.

ISO 14852:1999: Determination of the ultimate biodegradability of plastic material in an aqueous medium. – Method by analysis of evolved carbon dioxide.

ISO 14855:1999: Determination of the ultimate biodegradability and disintegration of plastic materials under controlled composting conditions – Method by analysis of evolved carbon dioxide.

Itävaara, M., Vikman, M. & Venelampi, O. 1997: Windrow composting of biodegradable packaging materials. –Compost Sci. Util. 5: 84-92.

Itävaara, M., Venelampi, O., Samsøe-Petersen, L., Lystad, H., Bjarnadottir, H. & Öberg, L. 1998: Assessment of Compost Maturity and Ecotoxicity. –Nordtest technical report 404. Espoo, Suomi: Nordtest. 74 s.

Keller, P. 1960: Proper degree of stability. (Translated by the V.S. Public Health Service, 1960) – Teoksessa: The Staff of BioCycle (toim.) 1991: The BioCycle guide to the Art and Science of Composting. Emmaus, Pennsylvania, U.S.A.: The JG Press, Inc. s. 178-181.

Lasaridi, K.E. & Stentiford, E.D. 1996: Respirometric techniques in the context of compost stability assessment: principles and practise. –Teoksessa: De Bertoldi, M., Sequi, P., Lemmes, B. & Papi, T. (toim.) 1996: The Science of Composting. Part 1. Blackie Academic & Professional, Glasgow, U.K. s. 567-576.

Lehtonen, K., Tontti, T. & Kuisma, M. 2003: Biojäte- ja lietekompostien käyttömahdollisuudet kasvintuotannossa. –Maa- ja elintarviketalous 28. Jokioinen, Suomi: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 120 s, 5 liitettä.

Lepeuple, A.S., Gaval, G., Jovic, M. & de Roubin, M.R. 2004: Literature review on levels of pathogens and their abatement in sludges, soil and treated biowaste. -Project Horizontal, Final Desk Study 6 (WP3). –Saatavissa internetistä: http://www.ecn.nl/docs/society/horizontal/hor6_pathogens.pdf. Päivitetty: 17.3.2004. Viitattu: 14.7.2004.

Maa- ja metsätalousministeriö 1999: Kansallinen laatustrategia. Helsinki, Suomi: Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa internetistä: http://www.mmm.fi/maatalous_maaseudun_kehittaminen/alkupera_nimisuoja_laatu/laatu/strategia/strategia1.htm, Päivitetty 3.9.2002. Viitattu 10.6.2004.

Maa- ja metsätalousministeriö, Kasvintuotannon tarkastuskeskus 2004: Soveltamisopas V. Kompostointi- ja biokaasulaitokset sekä lantaa teknisesti käsittelevät laitokset. –Saatavissa internetistä: <http://www.mmm.fi/el/julk/pdf/biokaasukompostilaitokset.pdf>. Päivitetty 18.3.2004. Viitattu 14.7.2004.

MMM 18.3.2004/195. Maa- ja metsätalousministeriön asetus eläinperäisten sivutuotteiden käsittelystä biokaasu- ja kompostointilaitoksissa sekä lannan käsittelystä teknisissä laitoksissa. Helsinki 18.3.2004. Suomen Säädöskokoelma 195/2994.

MMMp 21.1.1994/45. Maa- ja metsätalousministeriön päätös lannoitteista. Helsinki 21.1.1994. Suomen Säädöskokoelma 45/1994: 117-163.

MMMp 21.1.1994/46. Maa- ja metsätalousministeriön päätös eräistä lannoitevalmisteista. Helsinki 21.1.1994. Suomen Säädöskokoelma 46/1994.

MMMp 21.1.1994/47: Maa- ja metsätalousministeriön päätös lannoitevalmisteiden valvonnasta. Helsinki 21.1.1994. Suomen Säädöskokoelma 47/1994.

Mulvaney, R.L. 1996: Extraction of exchangeable ammonium and nitrate. –Teoksessa: Sparks, D.L. (toim.) 1996: Methods of soil analysis: Part 3. Soil Science Society of America Book Series 5. Madison, Wisconsin, U.S.A.: Soil Science Society of America and American Society of Agronomy. S. 1129-1131.

Mäkelä-Kurtto, R. & Sippola, J. 1994: Erilliskerätyn biojättekompustin lannoitusvaikutus. –Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C 1995:18. Jokioinen, Suomi: Maatalouden tutkimuskeskus. 24 s.

Namkoong, W., Hwang, E-Y., Cheong, J-G. & Choi, J.Y. 1999: A comparative evaluation of maturity parameters for food waste composting. –Compost Sci. Util. 7 (2): 55-62.

Paatero, J., Lehtokari, M. & Kemppainen, E. 1984: Kompostointi. –Juva, Suomi: WSOY. 269 s.

Pereira Neto, J.T., Stentiford, E.I. & Mara, D.D. 1987: Comparative survival of pathogenic indicators in windrow and static pile. –Teoksessa: de Bertoldi, M., Ferranti, M.P., L'Hermite, P. & Zucconi, F. (toim.) 1987: Compost: Production, Quality and Use. U.K. & U.S.A: Elsevier Applied Science, London And New York. S. 276-295.

Rynk, R. 2003: The art in the science of compost maturity. Introduction. –Compost Sci. Util. 11 (2): 94-95.

Scaglia, B., Tambone, F., Genevini, P.L. & Adani, F. 2000: Respiration index determination: dynamic and static approaches. –Compost Sci & Util. 8 (2): 90-98.

SFS 5505:1988: Jäteveden epäorgaanisen ja orgaanisen typen määrittäminen. Modifioitu kjeldahlmenetelmä.

The Staff of BioCycle (toim.) 1991: The Biocycle Guide to the Art & Science of Composting. – Emmaus, Pennsylvania, U.S.A.: The JG Press, Inc. 270 s.

Tontti, T. & Mäkelä-Kurtti, R. 1999: Biojätekompostit kasvintuotannossa. Kirjallisuuskatsaus. –Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 64. Jokioinen, Suomi: Maatalouden tutkimuskeskus. 57 s. + 5 liitettä.

Venelampi, O., Vikman, M., Kapanen, A. & Itävaara, M. 2002: Pikatestit kompostin kypsyyden määrittämiseksi. –Loppuraportti. Raportti nro 145/2/02. Espoo, Suomi: VTT Biotekniikka. 31 s. + 1 liite.

VNp 4.9.1997/861. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista. Helsinki 4.9.1997. Suomen Säädoskoelma 861/1997: 3204-3212.

VpL 26.2.1993/232. Lannoitelaki. Helsinki 26.2.1993. Suomen Säädoskoelma 232/1993.

VpL 3.12.1993/1072. Jätelaki. Helsinki 3.12.1993. Suomen Säädoskoelma 1072/1993.

VpA 22.12.1993/1390. Jäteasetus. Helsinki 22.12.1993. Suomen Säädoskoelma 1390/1993.

VpL 4.2.2000/86. Ympäristönsuojelulaki. Helsinki 4.2.2000. Suomen Säädoskoelma 86/2000.

VpA 18.2.2000/169. Ympäristönsuojeluasetus. Helsinki 18.2.2000. Suomen Säädoskoelma 169/2000.

Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955: The method of soil testing in use in Finland. –Agrogeol. Publ. 63: 1-44.

Willson, G.B. & Dalmat, D. 1986: Measuring compost stability. –BioCycle 27: 34-37.

Yli-Viikari, A., Hietala-Koivu, R., Risku-Norja, H., Seuri, P., Soini, K. Widbom, T. & Voutilainen, P. 2000: Maatalouden kestävyden indikaattorit. –Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 74. Jokioinen, Suomi: Maatalouden tutkimuskeskus. 116 s. + 1 liite.

Ympäristöministeriö 1992: Kompostityöryhmän mietintö. –Ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosaston työryhmän mietintö 67/1992, Suomi:Ympäristöministeriö. 89 s.

Ympäristöministeriö 2002: Tarkistettu valtakunnallinen jätesuunnitelma vuoteen 2005. Helsinki. 24 s. Saatavissa internetistä: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=5016>. Päivitetty 29.1.2004. Viitattu: 22.6.2004.

Ympäristöministeriö 2003: Biojätestrategiatyöryhmän ehdotus kansalliseksi biojätestrategiaksi sekä sihteeristön muistio perusteluista. Helsinki 25.4.2003. 65 s. Saatavana internetistä: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=7346>. Viitattu: 22.6.2004.

8 Liitteet

Liite 1

Seuratut kypsytysaumat

Liite 2

Analyysimenetelmät

Liite 3.

Kypsytysaumat kompostointilaitoksella

Liite 4.

Lämpötila- ja kaasumittaukset kompostointilaitoksella

Liite 5.

Nitraattityypen pikatesti

Liite 6.

Kasvatuskoe

Liite 1. Seuratut kypsytysaumat

1. TUKIAINEEN MÄÄRÄN OPTIMOINTI

5. AMMONIUM- JA NITRAATTITYYPEN MÄÄRÄ

KYPSYTYSAUMOISSA JA NITRAATTITYYPEN PIKATESTIN

SOVELTUVUUS KOMPOSTIN KYPSYYDEN ARVIOINTIIN

Aumat 1-4 perustettu 26.6.2003

Auma 1	Auma 2	Auma 3	Auma 4
<u>komposti:hake 1:1</u> koko n. 30 m ³ korkeus n. 2,1 m	<u>komposti:hake</u> koko n. 30 m ³ korkeus n. 2,1 m	<u>komposti:hake 1:2</u> koko n. 30 m ³ korkeus n. 2,1 m	<u>komposti:hake 2:1</u> koko n. 30 m ³ korkeus n. 2,1 m

auma 1 myös

kesäauma

2. AUMAN KOON VAIKUTUS KYPSYMISEEN

Aumat 5-8 perustettu 17.9.2003

Auma 5	Auma 6	Auma 7	Auma 8
<u>komposti:hake 1:1</u> koko n. 20 m ³ korkeus 2 m	<u>komposti:hake 1:1</u> koko n. 30 m ³ korkeus 3 m	<u>komposti:hake 1:1</u> koko n. 35 m ³ korkeus 4 m	<u>ei hakelisäystä</u> koko n. 40 m ³ korkeus 4 m

auma 7 myös

syksyauma

auma 8 myös

syksyauma

3. YMPPÄYKSEN VAIKUTUS KYPSYMISEEN

Aumat 9-12 perustettu 1.10.2003

Auma 9	Auma 10	Auma 11	Auma 12
<u>ymppi 10%, komposti 90%</u> koko n. 40 m ³ korkeus 4 m	<u>ei ymppäystä, komposti 100%</u> koko n. 40 m ³ korkeus 4 m	<u>ymppi 10%, hake 20%, komposti</u> koko n. 40 m ³ korkeus 4 m	<u>ymppi 20%, komposti 80%</u> koko n. 40 m ³ korkeus 4 m

4. AUMAN PERUSTAMISVUODENAJAN VAIKUTUS

Aumat 13-14 perustettu 28.1.2004

Aumat 15-16 perustettu 28.4.2004

Auma 13	Auma 14	Auma 15	Auma 16
<u>komposti:hake 1:1</u> talvi korkeus 4 m	<u>ei hakelisäystä</u> talvi korkeus 4 m	<u>komposti:hake 1:1</u> kevät korkeus 4 m	<u>ei hakelisäystä</u> kevät korkeus 4 m

*) Auman perustamisvuodenajan vaikutuksen seurannassa olivat mukana myös auma 1 (kesä) ja aumat 7 ja 8 (syksy).

Liite 2 (1/2). Analyysimenetelmät

Kompostien kypsymisen seuranta, kompostianalyysit, MTT

Tuoreesta tai pakasteesta sulatetusta näytteestä määritettiin tuorepaino, liukoinen typpi ja kuiva-ainepitoisuus. Loppuosa näytteestä kuivattiin mahdollisimman nopeasti 37 °C ilmastovirrassa, jauhettiin, seulottiin 2 mm:n seulalla ja säilytettiin muita määrittämyksiä varten huoneenlämmössä kuivassa paikassa pahvirasioissa.

Kompostianalyysi 1: tuorepaino

EN 12580.

Kompostianalyysi 2: tilavuuspaino

EN 13040.

Kompostianalyysi 3: liukoinen typpi

a) Liukoinen typpi eli nitraattityppi (NO₃-N) ja ammoniumtyppi (NH₄-N) uutettiin tuoreesta tai pakasteesta sulatetusta näytteestä 2 M kaliumkloridilla tilavuussuhteessa 1:2,5 16 tuntia. Suodoksesta mitattiin NO₃-N ja NH₄-N spektrofotometrisesti Skalar –autoanalysaattorilla (Mulvaney 1996).

b) EN 13652 (1:5 vesiuutto). Uutteesta mitattiin NO₃-N ja NH₄-N spektrofotometrisesti Skalar –autoanalysaattorilla.

c) Nitraattityppi määritettiin Merckoquant ® Nitrate Test Method –testiliuskalla komposti-vesiuutteesta (60 ml kompostia ja 60 ml vettä).

Kompostianalyysi 4: kuiva-ainepitoisuus

a) Kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseksi pieni määrä (n. 2,5 g) ilmakeivää jauhettua näytettä punnittiin ja kuivattiin 105 °C neljä tuntia, jäähdytettiin eksikaattorissa ja punnittiin. Tuoreen näytteen kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseksi näyte punnittiin ennen ja jälkeen ilmakeivauksen (Agricultural Research Centre 1986).

b) EN 13040.

Kasvatuskoe, komposti- ja maa-analyysit, Viljavuuspalvelu Oy

Kompostianalyysi 1: liukoinen typpi:

Liukoinen typpi eli nitraattityppi (NO₃-N) ja ammoniumtyppi (NH₄-N) analysoitiin Kjeldahl –menetelmällä kompostin ja kaliumsulfaatin 1:10 suspensiosta.

Kompostianalyysi 2: kokonaistyyppi

SFS 5505:1988.

Kompostianalyysi 3: liukoiset ravinteet

Vuorinen & Mäkitie 1955.

Kompostianalyysi 4: liukoinen boori

Hatcher & Wilcox 1950.

Kompostianalyysi 5: happamuus (pH)

pH mitattiin kompostin ja veden 1:2,5 suspensiosta.

Kompostianalyysi 6: johtoluku

Johtoluku mitattiin kompostin ja veden 1:2,5 suspensiosta (samasta kuin pH:n mittauksessa käytetty).

Kompostianalyysi 7: kuiva-aine ja kosteus

Kuiva-aine ja kosteus määritettiin gravimetrisesti kuivaamalla tuoretta kompostinäytettä 1 vrk 105 °C:ssa.

Kompostianalyysi 8: tilavuuspaino

Tilavuuspaino määritettiin gravimetrisesti.

Liite 2 (2/2).

Kasvatuskoe, kasvianalyysi, MTT

Kasvianalyysi 1: kuiva-ainepitoisuus

Kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseksi kasvien tuorepaino punnittiin, kasveja kuivattiin 3 vrk 105 °C ja punnittiin kuivapaino.

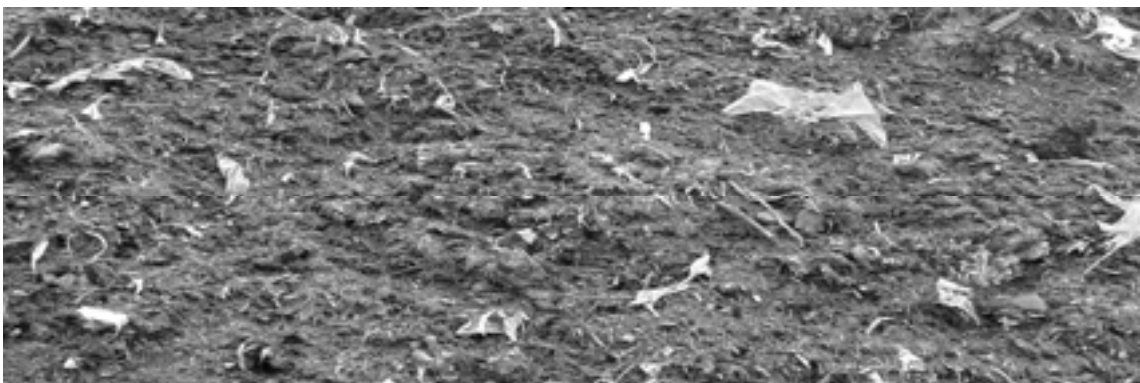
Liite 3. Kypsytysaumat kompostointilaitoksella



Kuva 1. Yleiskuva seuratuista kypsytysaumoista. Etualalla vasemmalla aumat 1-4 ("tukiaumat") ja oikealla aumat 5-8 ("kokoaumat"). Niiden takana aumat 9-12 ("ymppiaumat"). Taustalla näkyvät korkeat aumat 13-16 ("vuodenaika-aumat, talvi ja kevät"). Kuva: Tiina Tontti.



Kuva 2. Lähikuva koeaumasta, johon on lisätty haketta. Kuva: Tiina Tontti.



Kuva 3. Lähikuva koeaumasta, johon ei ole lisätty haketta. Kuva: Tiina Tontti.

Liite 4. Lämpötila- ja kaasumittaukset kompostointilaitoksella



Kuva 1. Kaasumittarin anturi. Kuva: Tiina Tontti.

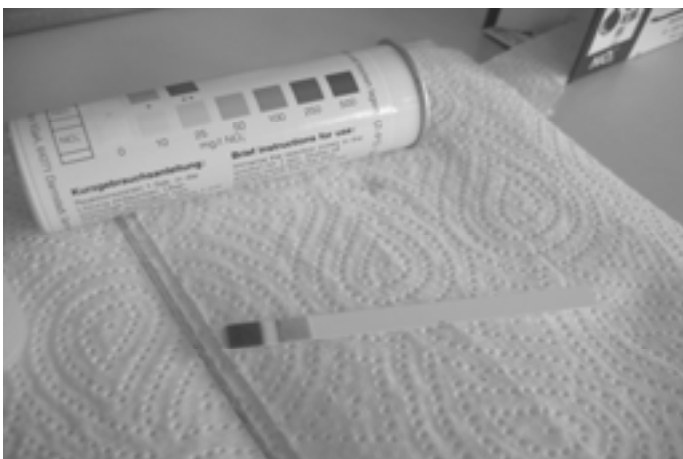


Kuva 2. Lämpötila- ja kaasumittaus kypsytysaumasta. Kuva: Tiina Tontti.

Liite 5. Nitraattityypen pikatesti



Kuva 1. Nitraatin pikatesti liuskalla. Kuva: Aaro Närvänen.



Kuva 2. Testiliuska ja vertailuasteikko (0-10-25-50-100-250-500 mg/l NO₃). Kuva: Aaro Närvänen.

Liite 6. Kasvatuskoe



Kuva 1. Ohraa kasvatuskokeessa. Edessä vasemmalla optimikontrolli, keskellä ESMR-laitoksen normaaliauma (ei hakelisyystä) ja oikealla koeauma 1 (kesä, komposti:hake 1:1). Kuva: Teppo Tujula.



Kuva 2. Kiinankaalia kasvatuskokeessa. Vasemmalla ja keskellä kasvatusalustoja aumoista 2 (kesä, komposti:hake 1:1,5) ja 7 (syksy, komposti:hake 1:1). Oikealla olevat kasvualustat ovat aumasta 13 (talvi, komposti:hake 1:1), jossa esiintyi kokeen alussa hometta joka hidasti taimien kasvua. Kuva: Teppo Tujula.



Kuva 3. Kiinankaalia kasvatuskokeessa. Edessä vasemmalla optimikontrolli, keskellä ESMR-laitoksen normaaliauma (ei hakelisäystä) ja oikealla auma 1 (kesä, komposti:hake 1:1). Kuva: Tep-po Tujula.

MTT:n selvityksiä –sarjan Ympäristö -teemassa ilmestyneitä julkaisuja

- 70** Laitoskompostien laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla. 2004. *Hallinen & Tontti*. 62 s. Hinta 20 euroa.
- 69** Ympäristöystävällinen elintarvike - palvikinkun ja kurkun tuotantoketjujen toimijoiden näkemyksiä. 2004. *Seppälä, A.* 56 s. Verkkajulkaisu osoitteessa <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts69.pdf>.
- 51** Elinkaariarvioinnin ja elinkaarikustannuslaskennan soveltaminen maaseudun pienyrityksiin. 2003. *Pesonen, I.* 69 s. Hinta 20 euroa.
- 49** PeltoGIS - MTT:n peltotietojärjestelmän suunnittelu ja toteutus. Talkkari, A. ym. 2003. 37 s. Hinta 15 euroa.
- 41** Vesistökuormituskartoitus Etelä-Pirkanmaan alueella. Närvänen, A. ym. 2003. 28 s. Hinta 15 euroa.
- 44** Numeerinen Suomen maannostietokanta mittakaavassa 1:250 000 pilottihanke. Yli-Halla, M. ym. 2003. 52 s. Hinta 20 euroa.
- 28** Jokihelmisimpukan suojelua edistävät viljelytoimet Pirkanmaalla . Nykänen, A. 2002. 22 s. Verkkajulkaisu osoitteessa: <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts28.pdf>
- 11** Ympäristö ja eettisyys elintarviketuotannossa - todentamisen ja tuotteistamisen haasteet. Seppälä, A. ym. 2002. 72 s. Hinta 20 euroa.
- 6** Kokemäenjoen maatalousalueiden luonnonvaraselvitys Ernie-projekti 1999-2002. Yli-Viikari, A. ym. 2002. 143 s. Verkkajulkaisu osoitteessa: <http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts6.pdf>.
- 3** Niittykasvien kasvupaikkavaatimukset maaperän suhteen. Jylhänkangas, T. 2002. 58 s. Hinta 20 euroa.

Verkkajulkaisut osoitteessa <http://www.mtt.fi/julkaisut/mtts.html>

MTT:n selvityksiä 70

