

KOMPOSTIN JÄLKIKYPSYTYKSEN TEHOSTAMINEN JA HALLINTA

LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniikka
Ympäristöteknologia
Opinnäytetyö
Niko Wassholm

Lahden ammattikorkeakoulu
Tekniikan laitos
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

WASSHOLM, NIKO: Kompostin jälkikypsytyksen tehostaminen ja hallinta

Ympäristötekniikan opinnäytetyö, 38 sivua, 1 liitesivu

Kevät 2008

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön aihe käsittelee kompostointiprosessin loppuvaihetta ja sen tarkastelua erilaisin menetelmin. Kujalan Komposti Oy Lahdessa käsittelee materiaaleja laitosmaisesti ja tämän työn avulla pyrittiin selvittämään erilaisten kompostien valitsevaa tilaa sekä seosaineen vaikutusta kypsymiseen. Työ jaettiin kolmeen erilliseen osioon ja suoritettiin vuoden 2007 aikana.

Ensimmäisessä osiossa liete- ja biokompostivarastojen tuli alittaa lannoitevalmistelain vaatimat raja-arvot tuorekomposti-nimikkeeseen osalta. Toisessa osiossa selvitettiin missä vaiheessa eri ikäisiä liete- ja biokomposteja voidaan luokitella kypsiksi komposteiksi. Kolmannen osion tehtävänä oli tuottaa informaatiota kypsytyksen tehostumisesta seosaineen lisäyksen avulla. Jälkikypsytykseen siirrettyyn lietekompostiin sekoitettiin kivituhkaa suhteessa 1:3. Samalla toinen lietekompostiauma toimi vertailuautana. Kokeiden analysointimenetelminä käytettiin Rottergrad- ja Solvita-testiä, kasvatuskoetta ja nitraatti-ammoniumtyppisuhdetta. Kokeiden avulla rakennettiin lopuksi eräänlainen työkalu laitoksen omaan käyttöön. Sen avulla kompostinäyte voidaan jatkossa nopeasti luokitella kolmeen eri kategoriaan kypsymisasteen perusteella.

Työn lopputuloksissa voidaan todeta osio yhden varastokasat stabiileiksi. Niitä voidaan markkinoida jatkokäyttöön tuorekomposti-nimikkeellä. Osiossa kaksi havaittiin lietekompostin kypsyvän jo ensimmäisen jälkikypsytyskuukauden aikana ja biokompostin kypsymisen kestävän huomattavasti kauemmin, yli kolme kuukautta. Tukiaineella todettiin olevan positiivisia vaikutuksia kompostin kypsymiseen kahden ensimmäisen kuukauden aikana, mutta sen huomattiin tasaantuvan kolmannen kuukauden jälkeen.

Työ tarvitsee edelleenkin jatkotutkimusta. Näytteiden määrää ja ikävalikoimaa tulisi lisätä reilusti. Aumojen ilmastustekniikoilla voisi olla mahdollista saavuttaa huomattavia hyötyjä siten, että kompostien laatu paranisi ja kypsymisajat lyhenisivät. Erilaisen tukiaineen valitseminen voisi myös parantaa lopputuotteen laatua.

Avainsanat: komposti, stabiilisuus, kypsyys

Lahti University of Applied Sciences
Faculty of Technology
Degree Program of Environmental Technology

WASSHOLM, NIKO: Controlling and optimizing the maturing of compost

Bachelor's Thesis in Environmental Technology, 38 pages, 1 appendix

Spring 2008

ABSTRACT

The aim of this work was to study material composted outside and to find out how stabile and mature the materials are. This work includes also an investigation of strut material the purpose of which is to help the maturing speed of a sludge compost. The study was made in spring and summer 2007 and it was commissioned by Kujala Komposti Ltd. This work presents mainly a process of composting, determines the terms *stability* and *mature* and finds out methods to investigate the maturing stage of a compost. The investigation is divided into three different parts.

Part one consists of investigating the compost. A fresh compost should fill the requirements which have been set by the law for fertilisers. The next part focused more on compost maturity and the aim was to decide when a compost can be referred to as mature. During the research three analytical methods for classifying different composts were selected and a rate of maturity was defined using the Rottergrad test, a growing test and the nitrate-ammonia ratio. The main idea of the third part was to produce information about how strut material helps to improve the efficiency of the maturing of a sludge compost. The strut material was stoneash and it was mixed in a ratio 1:3 with the sludge compost. Another compost stack was left intact and was used for comparison with the mixed compost. The methods in the analysis were the same as in the second part, added with the Solvita test. With the help of the three separate tests a simple tool to classify the rate of maturity of compost materials was built to be used in Kujala Komposti Ltd.

After conducting the research it is possible to say that store composts are stabile enough and they can be advertised commercially. The two main findings of the second part were: Firstly, sludge compost matured faster than was expected and bio compost requires more time for maturing, often more than three months. In particular, strut materials seem to have positive influences for the maturing of the sludge compost during the first two months.

This work requires further research. In the future, the number of samples and the selection for materials should be larger. Aerating compost stacks may have many applications. It could be utilized for improving the quality of the compost and in decreasing the maturing time. Several different strut materials should also be tested.

Keywords: compost, stability, mature

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	KOMPOSTOINTIPROSESSI	3
	2.1 Prosessin vaiheet	3
	2.2 Patogeenit ja hygienisoituminen	5
3	KOMPOSTIN STABIILISUUS JA KYPSYYS	5
	3.1 Määritelmiä	5
	3.2 Menetelmiä kypsyyden määrittämiseen	6
4.	AINEISTO JA MENETELMÄT	7
	4.1 Osio 1. Varastokasojen stabiilisuuden selvittäminen	7
	4.2 Osio 2. Varastokasojen ja kypsytyksaumojen kypsyyden arviointi	8
	4.3 Osio 3. Koeaumat	8
	4.4 Tutkimuksissa käytetyt laboratoriot	9
	4.5 Kypsyyden määrittely kompostista eri menetelmin	9
	4.5.1 Orgaanisen aineksen määrä	10
	4.5.2 Energiantuotto	10
	4.5.3 Hengitysaktiivisuus	11
	4.5.4 Nitraatti/ammoniumtyppisuhde	12
	4.5.5 Kasvien itävyys kompostista valmistetussa kasvualustassa	13
	4.5.6 Muut menetelmät	14
	4.6 Seos- ja tukiaineiden vaikutus kypsymiseen	15
5.	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	15
	5.1 Osio 1. Varastokasojen stabiilisuus	15
	5.2 Osio 2. Kypsyyden määrittely	17
	5.3 Osio 3. Koeaumat	21
	5.4 Virhetarkastelu	28
6.	YHTEENVETO	30
	6.1 Kompostin jälkikypsytyksen tehostaminen ja hallinta tulosten perusteella	30
	6.2 Työkalu kypsyyden arviointiin	31
	6.3 Jatkotutkimustarpeet	33

7. JOHTOPÄÄTÖKSET	34
LÄHTEET	36
LIITTEET	38

1 JOHDANTO

Kompostin kypsyystarkastelua on tehty sekä teoriassa että käytännössä 1960-luvulta lähtien. Tarkastelua on kuitenkin vaikeuttanut yhtenäisten menetelmien puute. Nykyään käytössä olevat menetelmät vaihtelevat suuresti ja samanlaisia lähtökohtia kompostin käsittelylle ei ole ollut mahdollista toteuttaa, jonka seurauksena saavutetut ns. kypsät kompostituotteet ovat olleet laadultaan ja sisällöltään hyvin erilaisia.

Työn tarkoituksena oli tutkia ulkoaumoissa olevien eri-ikäisten kompostien stabiiliutta ja kypsyttä sekä kokeilla sekoitusaineen lisäystä kompostimassaan havainnoiden mahdollisia vaikutuksia kompostin kypsymisessä. Opinnäytetyö jakaantui kolmeen osioon. Ensimmäisessä osiossa pyrittiin selvittämään varastokasoissa olevien kompostien stabiiliutta. Kompostimassojen tulee alittaa lannoitevalmistelaintyyppinimiluettelossa esitetyn tuorekompostin vaatimukset. Toisessa osiossa tarkasteltiin varastokasojen ja kypsytysaumojen tilaa erilaisin menetelmin. Kolmas osio käsitti tarkemman seurannan kahdelle kypsytysaumalle, joista toinen oli tavanomaista lietekompostia ja toiseen oli sekoitettu suhteessa 1:3 kivituhkaa. Saatujen tuloksien perusteella laadittiin työkalu, jonka avulla pystytään jatkossa seuraamaan kypsytyksen edistymistä itsenäisesti ilman laajoja ulkopuolisia laboratorioanalyysijä. Työ tehtiin vuoden 2007 aikana Kujalan Komposti Oy:ssä.

Kujalan Komposti Oy on tunnelikompostointilaitos, jonka omistavat Lahti Aqua Oy ja Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy. Laitoksessa kompostoidaan mädätettyä ja mädättämätöntä jätevesilietettä sekä Päijät-Hämeen alueelta kerättyä biojätettä. Laitos on suunniteltu käsittelemään 12 000 t/a biojätettä, 16 000 t/a mädätettyä yhdyskuntajätevesilietettä ja 7 400 t/a mädättämätöntä yhdyskuntajätevesilietettä.

Kompostointi tapahtuu lietteen osalta kahdessa, biojätteen osalta kolmessa tunnelivaiheessa. Ensimmäinen tunnelivaihe kestää 10 päivää, toinen 7 päivää ja kolmas 21 päivää. Ensimmäisen tunnelivaiheen jälkeen materiaali seulotaan alle 12 mm

partikkelikokoon ja siirretään hygienisointitunneliin. Hygienisoinnin jälkeen biokomposti siirretään jälkikypsytystunneleihin ja lietekomposti ulos jälkikypsytyssaumoihin. Kypsytyksellä molemmat materiaalit ovat noin kaksi kuukautta, jonka jälkeen ne siirretään varastokasoihin. Varastokasoista kompostia markkinoidaan erilaisiin käyttötarkoituksiin. (PHJ Oy 2008.) Kompostoitavien materiaalien seos- ja tukiaineina käytetään lietteen osalta kuoriketta ja kantohaketta. Biojätteen seosaineina käytetään risu- ja kantohaketta, sekä vuodenajasta riippuen myös haravointijätettä.

2 KOMPOSTOINTIPROSESSI

2.1 Prosessin vaiheet

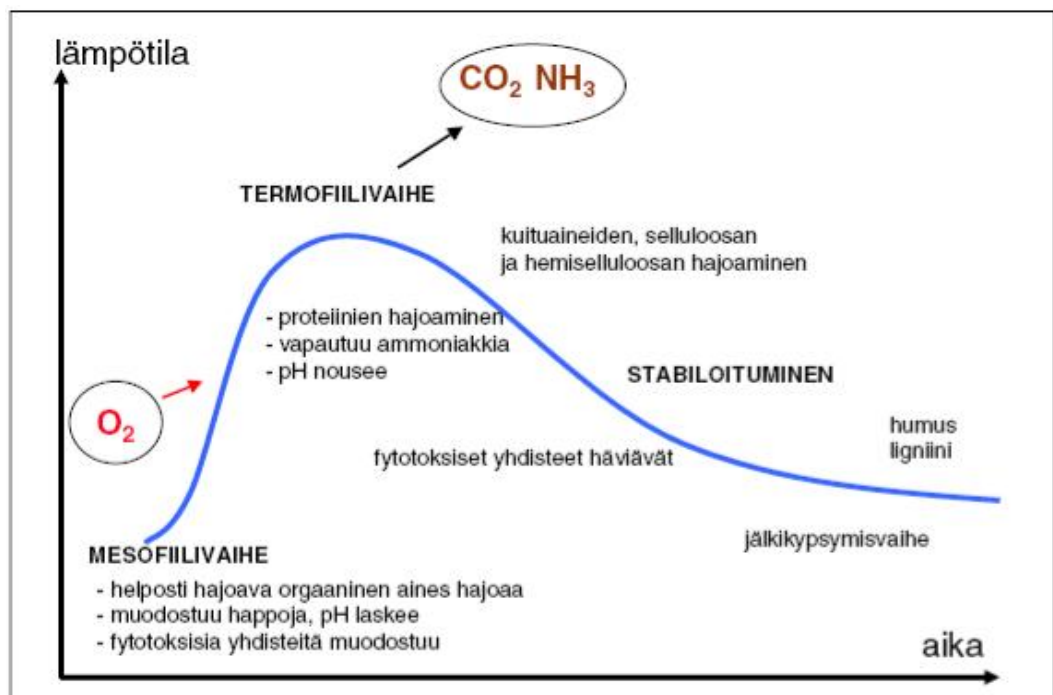
Kompostointi voidaan määritellä biologiseksi prosessiksi, jossa erilaisten mikrobien muodostama yhteisö hajottaa orgaanista materiaalia. Prosessin läpiviemiseksi vaaditaan riittävästi kosteutta, happea ja sopivat lämpötilaolosuhteet, jolloin lopputuotteina syntyy hiilidioksidia, vettä, stabiilia humusainetta, epäorgaanisia suoloja sekä lämpöenergiaa. (Paatero, Lehtokari & Kemppainen, 1984, 21)

Kompostointi perustuu kompostimateriaalin sisältämiin ja ympäristöstä siirtyneisiin mikrobikantoihin, joista tärkeimmät eliöryhmät ovat bakteerit ja sienet. Ekologiselta kannalta kompostoitumisprosessia voidaan pitää biologisena suksessioilmiönä, jota muokkaa alati jatkuva muutos fysikaalis-kemiallisessa ympäristössä. (Paatero ym. 1984, 34). Mikrobit käyttävät orgaanista ainesta ravintonaan ja muodostavat uutta biomassaa, jonka vaikutuksesta lämpötila kohoaa huomattavasti. Kompostoinnin aikana tapahtuvat olosuhdevaihtelut muokkaavat massan mikrobilajistoa, jonka määrä ja lajisto vaihtelevat suuresti erityisesti lämpötilan ja pH:n muutosten seurauksena, toteavat Biddlestone & Gray (1985). (Halinen & Tontti 2004, 11)

Kompostointiprosessi voidaan luokitella mm. Biddlestone & Grayn (1985) ja Paateron ym. (1984) mukaan massan lämpötilan mukaan eri vaiheisiin, joissa hajotustoiminnasta vastaavat erilaiset mikro-organismit. Mikro-organismit voidaan karkeasti luokitella kolmeen eri ryhmään lämmönsietokykynsä perusteella; psykrofiiliset mikrobit (0 - 25 °C), mesofiiliset mikrobit (25 - 45 °C) ja termofiiliset mikrobit (yli 45 °C). Kompostoinnin alkaessa materiaalin lämpötila on lähes sama kuin ympäristön lämpötila. Prosessin käynnistyessä mesofiiliset bakteerit alkavat hajottaa sokeita, tärkkelystä ja rasvoja. Mikrobikannan aktiivisuuden kasvaessa kompostin lämpötila nousee noin 40 celsiusasteeseen, alkaa muodostua orgaanisia happoja ja

massan pH laskee. Kompostin lämpötilan kasvaessa yli 45 celsiusasteen, mikrobit alkavat hajottaa mm. proteiineja. Muodostuu ammoniakkia ja pH nousee. Helpon hajoavan orgaanisen aineksen määrän vähetessä kompostin lämpötila alkaa laskea taantuvan mikrobitoiminnan seurauksena. Samalla ammoniakki vapautuu ja pH laskee lähelle neutraalia. (Halinen & Tontti 2004, 12)

Kypsyvässä kompostissa on enää jäljellä hitaasti hajoavaa ainesta. Mikrobitoiminta on tällöin melko vähäistä. Jäljelle jääneestä orgaanisesta aineksesta alkaa hitaasti muodostua humusta. Tämä prosessi voi kestää useita kuukausia. Lopputuloksena saadaan kypsää kompostimassaa, jota voidaan hyödyntää erilaisissa käyttökohteissa. (Halinen & Tontti 2004, 12 - 13)



KUVIO 1. Kompostointiprosessin eri vaiheet (Itävaara, Vikman, Kapanen, Venelampi & Vuorinen 2006, 7)

2.2 Patogeenit ja hygienisoituminen

Patogeenit ovat erilaisia mikrobeja, jotka pahimmillaan voivat aiheuttaa sairauksia. Biojätteessä, joka koostuu lähinnä ruokajätöksistä, on yleensä vain pieniä määriä haitallisia patogeeneja. Jätevesilietteet ja varsinkin mädättämättömät jätevesilietteet taas voivat sisältää suuriakin määriä patogeeneja, toteaa Epstein (1997). Lepeuple, Gaval, Jovic, & de Roubin (2004) luokittelevat ihmisille merkittävimiksi patogeeneiksi mm. entrokokit, *Salmonella*, *Clostridium perfringens*, *Ascaris* ja *Aspergillus*. Nämä aiheuttavat esimerkiksi suolistoperäisiä sairauksia. (Halinen & Tontti 2004, 14)

Jätteiden hygienisoiminen onkin tärkeä osa niiden käsittelyä kompostointilaitoksilla. Hygienisoimisella tarkoitetaan patogeenisten organismien määrän vähentämistä tasolle, jolla niistä ei enää aiheudu riskejä kompostin käsittelyn ja käytön yhteydessä. Kompostin hygienisoituminen tapahtuu pääosin aktiivivaiheen aikana, jolloin massan lämpötila nousee korkeaksi aiheuttaen monille organismeille epäsoivat olosuhteet, sillä useimmat patogeenit ovat sopeutuneet elämään alle 40 °C lämpötiloissa. Kirjallisuuden tietojen perusteella komposti hygienisoituu tehokkaasti kun sen lämpötila on kolmen päivän ajan yli 55 °C. EU:n eläinsivutuoteasetus vaatii kuitenkin kompostin hygienisoimiseksi massan lämpötilan nostamista 70 celsiusasteen vähintään tunnin ajaksi. (Halinen & Tontti 2004, 14)

3 KOMPOSTIN STABIILISUUS JA KYPSYYS

3.1 Määritelmiä

Kompostin tilaa kuvataan käsitteillä stabiilisuus ja kypsyys. Mikrobitoiminnan aktiivisuudesta puhuttaessa käytetään termiä stabiilisuus, jolloin massan orgaanisen aineksen hajoaminen on vakiintunut tietylle tasolle. Kypsyydellä tarkoitetaan lähinnä kompostin soveltuvuutta kasvinviljelyyn, jolloin se ei sisällä kasveille haitallisia yhdisteitä. Tällöin kypsä komposti on soveltuvaa erilaisiin käyttötarkoituksiin. (Halinen & Tontti 2004, 17 - 18)

Kompostien laadun tärkeänä osamittarina voidaan pitää kompostin kypsyysastetta. Käytännössä kompostia on mahdollista tutkia aistinvaraisia menetelmiä apuna käyttäen. Kompostin väri, rakenne, tasalaatuisuus ja tuoksu antavat arvion kypsyysasteesta. (Järvinen & Suokas 1998, 64) Komposti on kypsää, kun hajotustoiminta on loppunut ja typen tarve vähentynyt ratkaisevasti. Tällöin kompostin lämpötilan tulisi olla lähellä ympäristön lämpötilaa. (Alm, Eriksson, Ljunggren, Palmstjerna & Tiberg 1993, 83)

3.2 Menetelmiä kypsyysasteen määrittämiseen

Kompostin stabiilisuuden ja kypsyysasteen arvioinnissa käytetyt menetelmät on jaoteltu viiteen eri luokkaan Chenin (2003) mukaan; fysikaaliset menetelmät, kemialliset menetelmät, spektroskooppiset analyysit, biokemialliset parametrit ja biologiset menetelmät (Halinen & Tontti 2004, 20). Spektroskooppiset analyysit jätettiin tässä työssä tarkastelun ulkopuolelle.

Fysikaaliset menetelmät rajoittuvat lämpötilaan, partikkelikokoon ja kosteuteen. Lämpötilan mittaus on usein käytetty menetelmä kompostin tilan seuraamiseen. Lämpötilan nousu ja lasku kertovat osaltaan mikrobiaktiivisuudesta massassa. Kompostin lämpötilan tulkintaa voivat vääristää liiallinen kuivuminen tai hapenpuute. (Halinen & Tontti 2004, 20 - 21) Aumakompostoinnissa materiaali itsessään eristää lämpöä ja näin ollen ei kerro koko totuutta mikrobiaktiivisuuden tilasta (Paatero ym. 1984, 92).

Vesipitoisuus on erittäin tärkeä osatekijä kompostointiprosessissa, sillä mikrobit kykenevät lisääntymään ja toimimaan ainoastaan vesiliuoksessa. Ylärajaa vesipitoisuudella ei ole, mutta yleensä pyritään optimaaliseen kaasujenvaihdon sallimaan pitoisuuteen. Tällöin kosteus materiaalissa vaihtelee 60 - 75 % välillä, ja alarajana noin 30 tilavuusprosenttia. (Paatero ym. 1984, 29) Materiaalin kosteus ei itsessään kerro kypsyysasteesta, vaan sitä voidaan käyttää muiden menetelmien ohella vahvistamaan saatuja tuloksia.

Kemiallisina menetelminä ovat alkuaineanalyysit, tuhkapitoisuus, orgaanisen aineksen pitoisuus ja vesiliukoisen orgaanisen aineksen pitoisuus. Biokemiallisena parametrina käytetään hiilidioksidin tuottoa. Idätyskokeita sekä kasvien kasvun havainnointia kasvualustoilla käytetään menetelminä biologisen tutkimuksen osalta.

4. AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Osio 1. Varastokasojen stabiilisuuden selvittäminen

Lannoitevalmistelaki 539/2006 edellyttää, että laitoshyväksynnän saanut (Kujalan Komposti Oy, EY1774/2002) kompostointilaitos saattaa markkinoille vain lannoitevalmisteita, joilla on tyyppinimi. Tuoteselosteesta tulee käydä ilmi kansallisen lannoitevalmisteiden tyyppinimiluettelon vaatimat tiedot. Ilmoitettujen tietojen määrä riippuu siitä, millä tyyppinimellä laitos haluaa tuotteitaan markkinoida. Kuitenkin kaikille valmisteille on asetettu raja-arvot mm. haitallisten raskasmetallien pitoisuuksille. (Vuorinen 2007.) Niihin ei kuitenkaan kiinnitetä huomiota tuloksia tarkasteltaessa, vaan tämän osion tarkoitus on selvittää täyttääkö varastoissa oleva materiaali tuorekomposti-nimikkeellä olevan maanparannuskompostin asettamat vaatimukset stabiilisuuden osalta.

Nimikkeellä tuorekomposti tyyppinimiluettelosta löytyvän maanparannusaineen tulee olla kompostoimalla tai mädättämällä ja jälkikompostoimalla lannasta, kasvijätteestä, puhdistamolietteestä, ruokajätteestä, elintarviketeollisuuden orgaanisista jätteistä tai muusta vastaavasta aineksesta valmistettu tuote, joka on riittävän stabiilia ja hygieenistä. Tuote soveltuu käytettäväksi maanparannusaineena mm. vilja- ja energiakasveille sekä maisemointiin ja eroosion estoon. Ravinteiden ja muiden ominaisuuksien vähimmäispitoisuuksina orgaanisen aineksen määrän tulee olla 25 % kuiva-aineesta ja CO₂-tuoton alle 6 mg CO₂-C/g VS/vrk. (MMM 1.7.2006/539. Lannoitevalmistelaki. Liite 1, 26)

Liete- ja biokompostivarastojen stabiilisuuden selvittäminen tehtiin helmikuussa 2007. Lietekompostivaraston koko oli tuolloin noin 12 000 m³ ja sen sisältämän materiaalin ikä vaihteli 2 - 15 kuukauden välillä. Varastosta kerättiin kaikkiaan neljä näytettä ja näyttemateriaalien iät olivat 2, 6, 8 ja 15 kuukautta. Biokompostivaraston sisältämä materiaali oli iältään 4 - 12 kuukautta ja varastokasa käsitti kaikkiaan 1500 m³ kompostia. Näytteitä kerättiin kaksi kappaletta ja niiden iät olivat 7 ja 10 kuukautta. Näytteitä kerättiin siis kaiken kaikkiaan kuusi kappaletta.

4.2 Osio 2. Varastokasojen ja kypsytyksaamojen kypsytyksen arviointi

Työn alkaessa pohdittiin miten kypsytyksen määrittely tulisi suorittaa ja mitkä analyysit olisi käytännöllistä toteuttaa jatkoon kannalta, sillä tarkoituksena oli myös kehittää työkalua kompostin kypsytyksen arviointiin. Yleisesti hyväksytyinä sekä mahdollisen omatoimisen toteutuksen kannalta kypsytyksen arviointiin valittiin kolme eri menetelmää; kasvatuskoe, Rottregrad-testi ja NO₃-N / NH₄-N suhde. Toisin kuin ensimmäisessä osiossa, kypsytyksen arviointi ei perustunut suoranaisesti minkään lain velvoittamiin raja-arvoihin vaan kirjallisuudesta kerättyihin oletuksiin kypsytyttä ilmaisevista olosuhteista kompostimassassa. Valituista menetelmistä kasvatuskoe ja Rottergrad-testi oli mahdollista suorittaa itsenäisesti, vain typpianalyysit oli teetettävä laboratoriossa. Tutkimus tehtiin huhtikuun 2007 aikana.

Kypsytyksen arvioimiseksi näytteitä kerättiin kaikkiaan viidestätoista eri näytepisteestä. Näytteet sisälsivät eri-ikäisiä komposteja sekä liete että biokompostista. Näytteistä neljä otettiin lietekompostin varastokasasta ja neljä biokompostin varastokasasta. Viisi näytettä kerättiin lietekompostin kypsytyksaamoista ja kaksi näytettä biokompostin kypsytyksaamoista. Näytteenottopisteet on esitetty liitteessä 1.

4.3 Osio 3. Koeaumat

Kolmas osio käsittää laajemmat tutkimukset kompostin kypsytykselle ja sen etenemiselle. Tarkoituksena oli seurata kuinka seosaineen lisäys vaikuttaa kompostin

kypsymiseen verrattuna ilman seosainetta olevaan kompostiin. Kypsyyseden edistymistä analysoitiin Rottergrad-testillä, kasvatuskokeilla, Solvita-testillä ja $\text{NO}_3\text{-N}$ / $\text{NH}_4\text{-N}$ suhteella. Tutkimuksessa havainnoitiin myös muita osatekijöitä, kuten lämpötilojen vaihteluja.

Keväällä 2007 perustetut koeaumat sisälsivät lietekomposteja, jotka tulivat ulos hygienisointitunnelista 13.4.2007. Koeaumat koostuivat kahdesta ensimmäisen tunnelivaiheen jälkeen alle 12 mm partikkelikokoon seulotusta erästä, sillä yhteen hygienisointitunneliin yhdistetään kaksi ensimmäisen vaiheen tunnelia. Tunnelista kannettiin ulos puolet sen sisällöstä jälkikypsytyksentällä, ja auma jätettiin ns. normaaliin tilaan. Toiseen puoleen sekoitettiin pyöräkuormajalla suhteessa 1:3 kivituhkaa uloskannon yhteydessä. Aumoja seurattiin heinäkuun 2007 loppuun saakka. Tällä aikavälillä näytteitä kerättiin yhdestä kuuteen kappaletta analyysistä riippuen. Lämpötilaa seurattiin aktiivisesti noin joka kolmas päivä.

4.4 Tutkimuksissa käytetyt laboratoriot

Pääasiallisena laboratoriona toimi Kujalan Komposti Oy:n oma laboratorio. Ensimmäisen osion analyysit, pois lukien CO_2 -tuotto, ja myöhemmät typpianalyysit teetettiin Novalab Oy:n laboratoriossa Karkkilassa. Laboratorio on FINAS:n akkreditoima testauslaboratorio T 071. CO_2 -tuottokoe teetettiin elintarviketurvallisuusvirasto Eviran mikrobiologian tutkimusyksikössä Helsingissä. Laboratorio on myös FINAS:n akkreditoima testauslaboratorio T 086.

4.5 Kypsyyseden määrittely kompostista eri menetelmin

Työssä käytettyjä kypsyyseden kuvaavia menetelmiä olivat orgaanisen aineksen pitoisuus (tuhkapitoisuus), Rottergrad-testi (lämpötila), kasvatuskokeet vihanneskrasilla, Solvita-testi, CO_2 -tuotto ja ammonium-, nitriitti- ja nitraattitypen määrä (tai niiden suhde, lähinnä $\text{NO}_3\text{-N}$ / $\text{NH}_4\text{-N}$). Varsinaisesti pH, kosteuspitoisuus ja tikkuaineen määrä eivät ole suoria kypsyyseden osoittavia menetelmiä, mutta niitä

apuna käyttäen on mahdollista saada lisätukea havainnointiin kypsyyden asteesta. (Halinen & Tontti 2004, 20; Itävaara ym. 2006, 11)

4.5.1 Orgaanisen aineksen määrä

Näytteen kuiva-aine määritettiin ensin mittaamalla sopiva annos tulokostea kompostia foliovuokaan ja kuivaamalla näyte lämpökaapissa 105 °C lämpötilassa yön yli. Lämpökaapista näyte otettiin ja punnittiin, samalla annosteltiin keraamiseen astiaan kuivatettua kompostia. Näyte hehkutettiin 550 °C lämpötilassa ja punnittiin. Jäljelle jäänyt osuus kuvaa tuhkaa ja haihtunut osuus orgaanista ainetta. Laskukaa-
van avulla kompostin orgaanisen aineksen määrä saatiin selville prosenttiyksiköinä ilmaistuna. (Itävaara ym. 2006, 17 - 19)

4.5.2 Energiantuotto

Rottergrad-testillä voidaan arvioida kompostin kypsyyttä. Menetelmä perustuu massan omaan lämmöntuotantoon. Lämpöeristetyssä astiassa kompostin lämpötila nousee mikrobitoiminnan vaikutuksesta. Lämpötilaa mitataan 10 vuorokautta ja kompostit voidaan jakaa kokeen jälkeen eri luokkiin maksimilämpötilojen perusteella. Tätä kuvaa taulukko 1. (Vapo Oy 2001, 1; Itävaara ym. 2006, 28)

TAULUKKO 1. Maksimilämpötilojen luokittelu kompostin kypsyydelle (Itävaara ym. 2006, 28).

yli 60 °C	luokka 1	raaka jäte
50 - 60 °C	luokka 2	tuore komposti
40 - 50 °C	luokka 3	tuore komposti
30 - 40 °C	luokka 4	valmis komposti
20 - 30 °C	luokka 5	valmis komposti

Ennen kokeen aloittamista komposti seulotaan 10 mm seulalla ja alitteen kosteus säädetään sopivaksi ja sen annetaan tasaantua yön yli. Anturit asennetaan astian alimpaan kolmannekseen ja lämpötilaa seurataan lämpötilaloggerin avulla 10 vuo-

rokautta. (Vapo Oy 2001, 1; Itävaara ym. 2006, 28) Kuviossa 2. on kuvattu testin koejärjestely laitteineen.



KUVIO 2. Rottergrad-testin koejärjestely.

4.5.3 Hengitysaktiivisuus

Hengitysaktiivisuutta mitattiin kahdella menetelmällä, CO₂-tuottokokeella ja kaupallisella Solvita-testillä. CO₂-tuottonopeus kuvaa kompostin kypsyttä perustuen kompostin mikrobitoiminnan seurauksena muodostuneen hiilidioksidin mittaukseen. Oletuksena on, että CO₂-tuotto vähenee kompostin kypsyessä. (Itävaara ym. 2006, 11) Analyysinä on käytetty Eviran menetelmää 8863. CO₂-tuottonopeus ilmoitetaan mg CO₂-C/g VS/vrk, missä VS on näytteen haihtuva kiintoaine. Kypsän kompostin hiilidioksidintuoton raja on < 2 mg CO₂-C/g VS/vrk. (Elintarvike-turvallisuusvirasto Evira 2007.)

Solvita Compost Maturity Test (Woods End® Research Laboratory, Inc) on kaupallinen testi kompostin kypsyden määrittämiseksi. Testi perustuu CO₂-tuoton ja

ammoniakin toteamiseen värireaktion avulla. Testi antaa tuloksena kypsyysindeksin asteikolla 1 - 8, joka perustuu hiilidioksidintuoton skaalaukseen välillä 1 - 8 ja vapaan ammoniakin skaalaukseen välillä 1 - 5. Kypsyysindeksi on siis näiden kahden tekijän yhteistulos, joka on esitetty taulukossa 2. Solvita-testin tulkintataulukko. Ennen testin aloittamista kompostin kosteus säädetään sopivaksi ja annetaan tasaantua yön yli. Kompostia annostellaan näyteastiaan mittaviivaan saakka. Kompostin annetaan tasaantua yhden tunnin ajan astiassa ilman kantta ennen varsinaisen testin aloittamista. Näytteeseen istutetaan CO₂- ja NH₃-liuskat ja kansi suljetaan. Näytettä pidetään huoneenlämmössä neljän tunnin ajan. Liuskat luetaan vertaamalla niitä testikitin mukana tulleeseen värikarttaan ja todetaan kompostin kypsyysaste. (Itävaara ym. 2006, 29; Woods End® Research Laboratory, Inc. 2007)

TAULUKKO 2. Solvita-testin tulkintataulukko (Itävaara ym. 2006, 29).

		CO ₂ -liuskan tulos							
NH ₃ -liuskan tulos		1	2	3	4	5	6	7	8
	5	1	2	3	4	5	6	7	8
	4	1	2	3	4	5	6	7	8
	3	1	1	2	3	4	5	6	7
	2	1	1	1	2	3	4	5	6
	1	1	1	1	1	1	2	3	4

Arvot 1 ja 2 tarkoittavat testissä raakaa kompostia, arvot 3-6 aktiivista kompostia ja arvot 7-8 valmista kompostia (Itävaara ym. 2006, 29).

4.5.4 Nitraatti/ammoniumtyppisuhde

Mikro-organismien kannat vaihtelevat kompostissa vallitsevia olosuhteita mukailen. Pääsääntöisesti kompostimassasta käytetään ensiksi helposti hajoava orgaaninen aines, sen jälkeen mikrobit siirtyvät käyttämään jäljelle jääneitä yhdisteitä. Kompostoinnin aikana nitrifioivat bakteerit hapettavat materiaalissa olevaa typpeä. *Nitrosomonas*- bakteeri käyttää aineenvaihdunnassaan ammoniumtyppeä, ja sen uloshengityksen tuloksena syntyy nitriittityppeä. *Nitrobacter* taas käyttää nitriittityppeä soluhengityksensä yhteydessä. Tällöin käytetty nitriittityppi muuntuu jälki-tuotteena nitraattitypeksi. (Gerardi 2002, 43 - 45)

Yksinkertaisesti voidaan todeta, että typen olomuoto muuttuu kompostointiprosessin aikana. Raa'assa kompostissa typpi esiintyy lähes kokonaan ammoniakkina tai ammoniumtyppinä. Kompostin kypsyessä nitraatti- ja nitriittitypen osuus kasvaa. Siksi nitraattitypen määrää ja ammonium- ja nitraattitypen suhdetta on esitetty kompostin kypsyymisen mittariksi. Tällöin nitraattitypen ja ammoniumtypen suhteen ($\text{NO}_3\text{-N} / \text{NH}_4\text{-N}$) tulisi olla yli 1. Tällaisessa tapauksessa komposti voitaisiin luokitella omalta osaltaan kypsäksi. (Halinen & Tontti 2004, 21)

Työssä kerrotut typen analysointimenetelmät ovat Novalab Oy:n käyttämiä. Ammoniumtyppi on mitattu Kjeldahl menetelmällä ja nitraatti- sekä nitriittityppipitoisuus saatiin selville nestekromatografisilla menetelmillä. Tulokset on ilmoitettu pitoisuuksina tulokosteassa näytteessä g/tn sekä g/m³. (Novalab Oy 2007)

4.5.5 Kasvien itävyys kompostista valmistetussa kasvualustassa

Periaatteena on arvioida kompostin aiheuttamaa kasvun estymistä ja kypsyä tutkimalla kompostin vaikutuksia kasvien itämiseen, kasvuun ja juurten muodostukseen (Itävaara ym. 2006, 31).

Kompostinäytteistä valmistetuissa kasvualustoissa käytettiin vihanneskrassia (*Lepidium sativum*, itävyys 95 %). Menetelmä ei perustunut varsinaisesti mihinkään standardiin, vaan kasvatuskokeet tehtiin itse. Puhdasta kompostia annosteltiin kahden desilitran purkkeihin, ja siemeniä kylvettiin 50 - 150 kpl per purkki. Kasvualustat peitettiin siementen itämisen ajaksi harsolla, joka poistettiin itämisen jälkeen. Kasveja kasvatettiin kaksi viikkoa ikkunalaudalla, jonka aikana pidettiin huolta myös siitä, että kasvualustat pysyivät kosteina. Kahden viikon kasvattamisen jälkeen krassit leikattiin kasvualustan pinnasta poikki, ja taimien määrä laskettiin purkeittain sekä niiden keskipituudet mitattiin mittanauhalla. Kokeen analysointia huhtikuulta 2007 on esitetty kuviossa 3. Taustakontrollina käytettiin Biolanin kasvuturvetta.



KUVIO 3. Kasvatuskokeen tarkastelua.

4.5.6 Muut menetelmät

Lämpötilan mittaus on erittäin käytetty kompostin tilan seurantamenetelmä. Lämpötilan aleneminen kuvaa yleisesti ottaen mikrobitoiminnan vähenemistä helposti hajoavien yhdisteiden vähentyessä. (Halinen & Tontti 2004, 21) Lämpötiloja mitattiin koeaumoista muutamia kertoja viikossa noin 3,5 kuukauden ajan. Osasta näytteitä lämpötila mitattiin heti näytteenoton jälkeen elohopeamittarilla.

pH:n avulla pystytään tulkitsemaan kompostin tilaa. Sen avulla voidaan päätellä, minkälaiset olot kompostissa ovat ja missä vaiheessa prosessi on. Kompostointiprosessin aikana vapautuu ammoniakkia, joka nostaa pH:ta. Vastaavasti hapettomissa oloissa kompostin pH laskee happamalle alueelle. (Itävaara ym. 2006, 21).

Tikkuaineksen määrää seuraamalla on mahdollista havainnoida hitaasti hajoavien orgaanisten yhdisteiden prosentuaalista osuutta kompostimassassa. Seulomalla näyte 10 mm seulalla saadaan talteen karkea tikkuaines ja sen määrä voidaan laskea painoprosenteina kokonaismassasta.

4.6 Seos- ja tukiaineiden vaikutus kypsymiseen

Kompostin kypsymistä on mahdollista tehostaa lisäämällä jälkikypsytyssaumoihin erilaisia materiaaleja. Tukiaineeksi luokitellaan yleensä karkeaa, kompostimassan rakennetta ilmavammaksi tekevää ainesta, kuten kantohaketta. Seosaineesta puhuttaessa tarkoitetaan sillä yleensä hienompaa materiaalia, esimerkiksi turvetta tai kivituhkaa. Aineksien lisäyksellä voidaan tehostaa kaasujenvaihtoa sekä nostaa aumojen lämpötilaa. Toisaalta seos- ja tukiaineiden optimaalista määrää on vaikea arvioida ja se osaltaan nostaa kompostimateriaalin käsittelykuluja. Lopputuloksena on kuitenkin mahdollista saada hyvälaatuista kompostimultaa. (Halinen & Tontti 2004, 44) Seos- ja tukiaineina käytetään muun muassa haketta, turvetta, hiekkaa ja kivituhkaa. Tässä työssä tarkastelu keskittyy kuitenkin vain kivituhkan hyödyntämiseen kompostointiprosessissa.

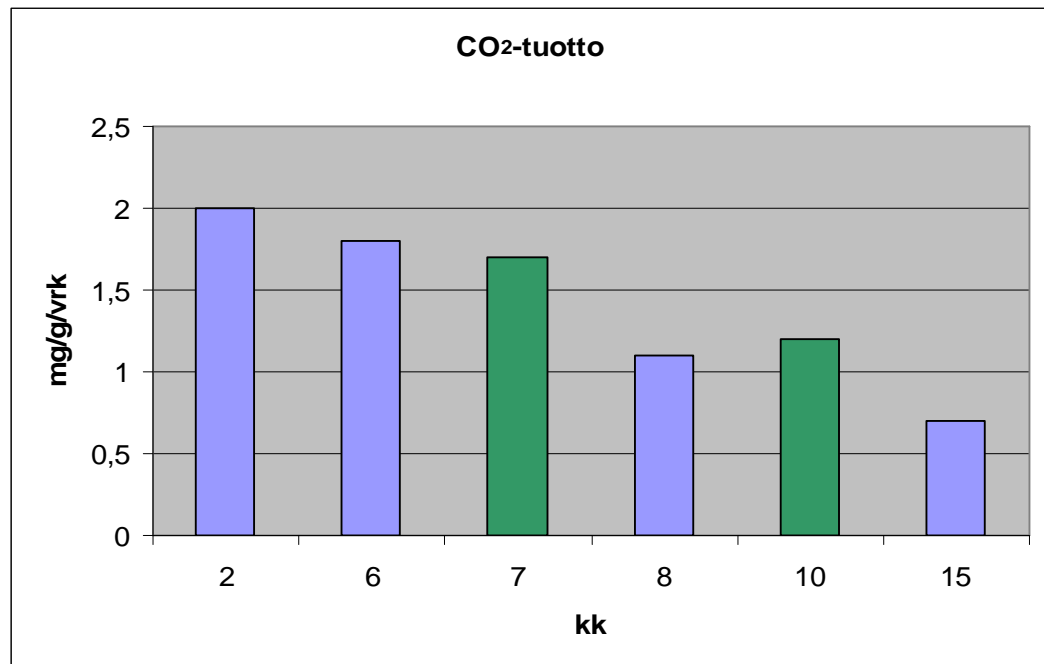
Kivituhka on nimitys kiviainekselle, jota syntyy kivimurskaamossa sivutuotteena kun luonnonkiviaineksesta tehdään murskettä. Kivituhkan raekoko on yleensä pieni, esimerkiksi 0-5 mm tai 0-8 mm. Kivituhkaa käytetään apuna puutarhahoidossa. Kivituhkan valinta koeaumojen seosaineeksi perustui sen kykyyn neutralisoida kompostimassaa, sen pysyvyyteen seoksessa ja siihen, että se ei lisää orgaanisen aineksen määrää ja tekee auman rakenteesta ilmavamman.

5. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Osio 1. Varastokasojen stabiilisuus

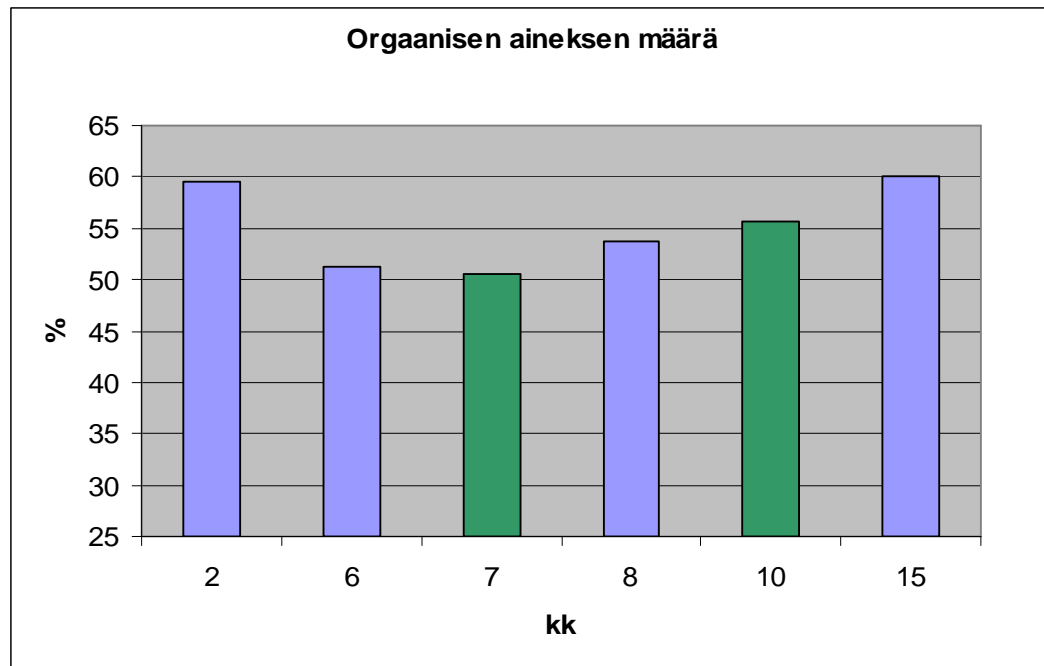
Varastokasojen stabiilisuuden mittareina toimivat orgaanisen aineksen määrä kuiva-aineessa sekä CO₂-tuotto. Komposti saa tuottaa tyyppinimiluettelon mukaan alle 6 mg hiilidioksidia yhtä grammaa kompostia kohden vuorokaudessa. Bio- ja lietekompostivarastoista analysoidut näytteet sisälsivät maksimissaan 2,0 mg/g/vrk hiilidioksidia, joten kukin näyte alitti vaaditun rajan selkeästi. Tutkimuksissa havaittiin CO₂-tuoton laskevan sen mukaan, mitä vanhempaa materiaalia oli kyseessä.

Hiilidioksidin tuottoa on havainnointu kuviossa 4. Siniset palkit kuvaavat lietekompostia ja vihreät kuvaavat biokompostia.



KUVIO 4. CO₂-tuotto analysoiduissa komposteissa.

Stabiilisuuden varmistavan toisen osatekijän, orgaanisen aineksen määrän kuiva-aineessa, tuli ylittää vähintään 25 painoprosenttia. Analyyseistä tehtyjen päätelmien mukaan painoprosentti oli alhaisemmillaankin noin 40 %:n luokkaa. Orgaanisen aineksen määrä lähti toisen kuukauden jälkeen laskemaan, mutta nousi jälleen seitsemännenten kuukauden jälkeen. Tämä on esitetty kuviossa 5. Lietekomposti on esitetty sinisellä ja biokomposti vihreällä palkilla.



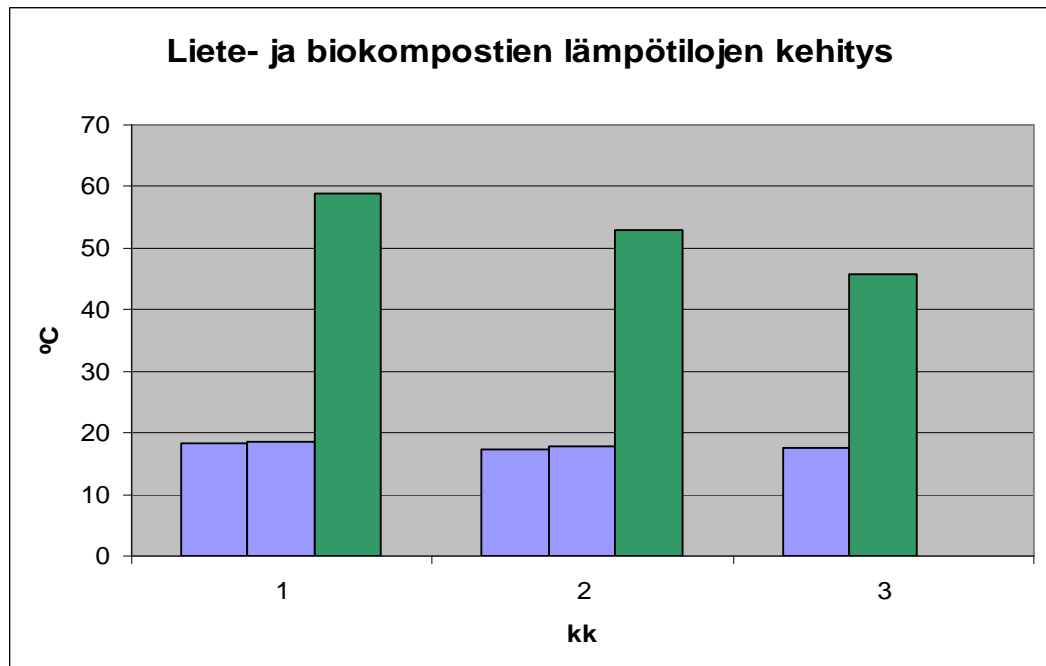
KUVIO 5. Orgaanisen aineksen määrä kuiva-aineessa.

5.2 Osio 2. Kypsyysmääritys

Kypsyysmäärityksessä näyte-eristä tutkittiin kuiva-ainetta, orgaanista ainetta, lämpötilaa ja pH:ta, suoritettiin kasvatuskoe sekä tehtiin Rottergrad-testi ja myöhemmin typpianalyysit. Kolme viimeksi mainittua koetta toimivat kypsyysmäärityksessä varsinaisina indikaattoreina.

Näytteenoton jälkeen lämpötila mitattiin näyteastioista, joihin kompostia kerättiin. Lämpötilojen perusteella valittiin kahdeksan lämpimintä näytettä ja niille suoritettiin Rottergrad-testi. Näyttemateriaalien ikäjakaumaksi muodostui 1-3 kuukautta, sillä varastokasojen kompostit eivät olleet enää kovinkaan lämpimiä. Kustakin kompostinäytteestä suoritettiin myös kasvatuskoe samalla kertaa. Typpianalyysit teetettiin kymmenen päivää vanhoista näytteistä, joita oli säilytetty viileässä. Perustelut tällaiselle menettelylle olivat siinä, että kasvatuskokeen jälkeen haluttiin vertailla parhaan ja huonoimman liete- ja biokompostin eroja kasvun osalta. Typen eri muotojen ajateltiin olevan kasvien kasvussa merkittävässä roolissa.

Orgaanisen aineksen määrä oli komposteissa välillä 55 - 75 prosenttia kuiva-aineksesta. Kompostien lämpötilat näytteenoton jälkeen olivat välillä 8 - 38 °C. Ulkolämpötila näytteenottohetkellä oli + 4 °C. Näytteistä poimittiin kahdeksan lämpimintä, joiden lämpötilat olivat väliltä 29 - 38 °C. Rottergrad-testin tulokset olivat valmiit kymmenen vuorokauden jälkeen ja niistä kuuden tulokset on esitetty kuviossa 6.

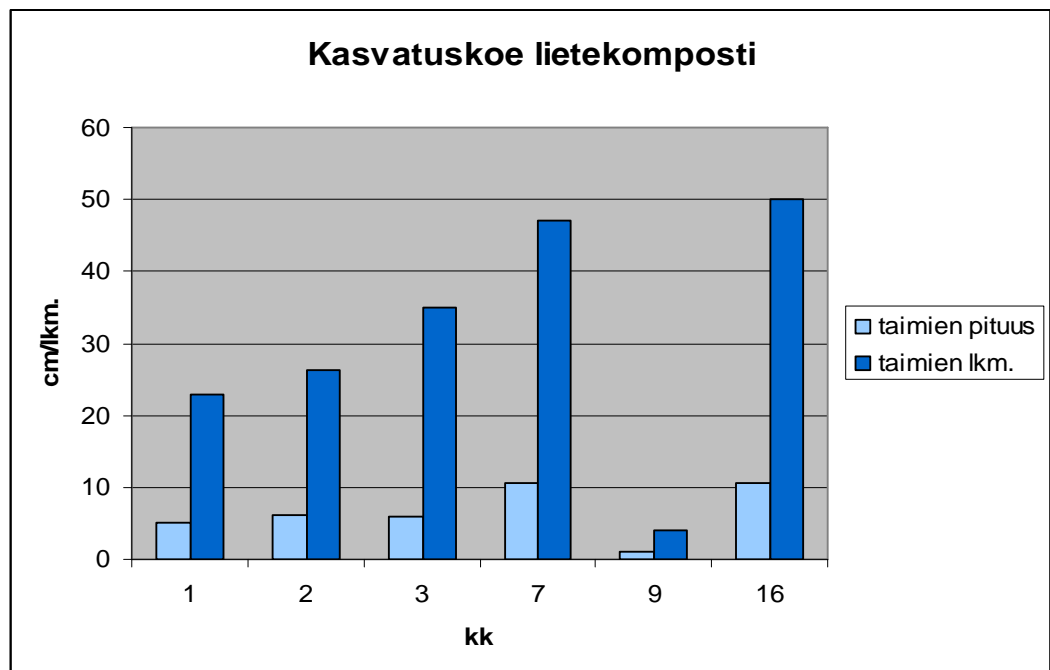


KUVIO 6. Kompostien lämpötilat Rottergrad-testissä.

Kuviossa 4. on lämpötilaloggerin kymmenennen päivän lämpötilakeskiarvo ja siihen on kuvattu viisi lietekompostia ja kolme biokompostia, joiden iät olivat 1, 2 ja 3 kuukautta. Komposteista eniten lämpeni kuukauden kypsytyksessä ollut biokomposti. Kuvaajasta on mahdollista havaita lämpötilan lasku suhteessa ikään, varsinkin biokompostin osalta. Lietekompostin lämpötilan ei havaittu juurikaan nousevan. Taulukko 1. (Maksimilämpötilojen luokittelu kompostin kypsytykselle) mukaan alle kolmen kuukauden ikäiset biokompostit voidaan luokitella tuoreiksi komposteiksi ja lietekompostit kypsiksi komposteiksi.

Kasvatuskokeet suoritettiin kaikille viidelletoista näytteelle. Kuhunkin purkkiin istutettiin 50 ± 10 vihanneskrassin siementä. Vihanneskrassia kasvatettiin kahdeksantoista päivää. Kokeen päätteeksi taimet leikattiin kasvatusalustoista, ne laskettiin ja kunkin alustan kymmenen taimen pituus mitattiin ja niille laskettiin keskiarvo.

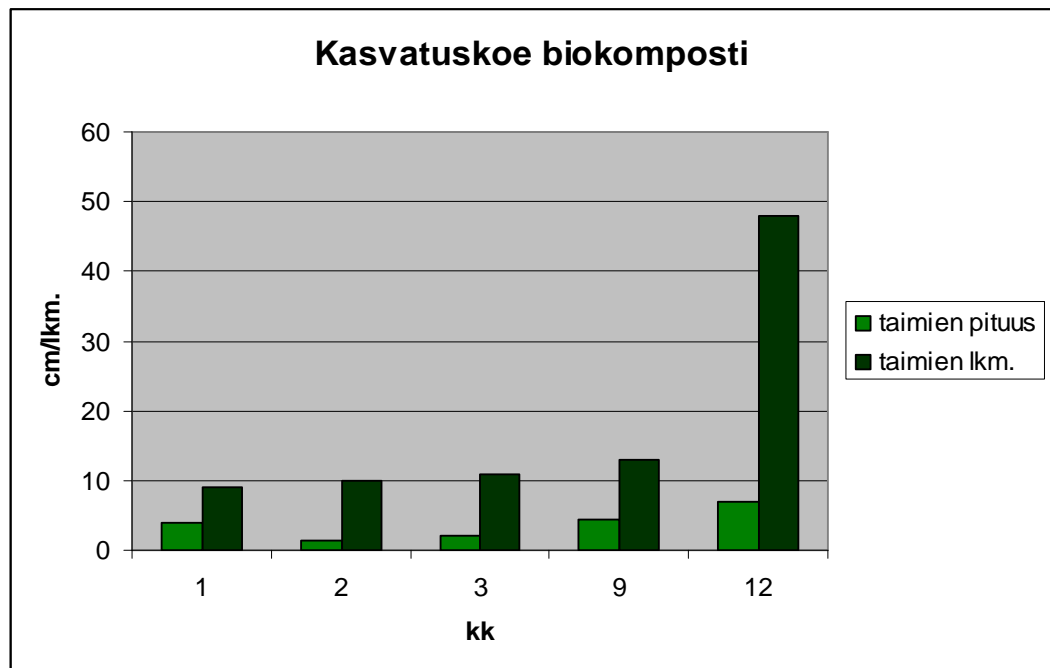
Kasvatuskoe kertoi osaltaan hyvin havainnoivia tuloksia kompostin kypsyydestä tai raakuudesta, toisin sanoen fytotoksisuudesta. Kuviossa 7. on esitetty lietekompostista valmistetussa kasvualustassa taimien keskimääräinen pituus ja lukumäärä. Kuviossa 8. on vastaavasti biokompostia käytetty kasvualustana.



KUVIO 7. Lietekompostin kasvatuskoe.

Kuvioon 7. on yhdistetty yhteensä kymmenen näytettä. Yhden kuukauden ikäisiä näytteitä oli kaksi kappaletta ja niistä on laskettu keskiarvo sekä pituudelle että lukumäärälle. Kahden kuukauden ikäisiä näytteitä oli neljä kappaletta ja niistä on myös laskettu keskiarvot. Vanhempia näytteitä oli kutakin yksi kappaletta.

Kuviosta 7. voidaan havaita melko selkeästi, lukuun ottamatta yhdeksän kuukauden ikäistä näytettä, taimien kasvavan pidemmiksi ja niiden määrän nousevan reilusta kahdestakymmenestä viiteenkymmeneen. Kompostin iällä, toisin sanoen materiaalin kasvua edistävien yhdisteiden sisältämällä tai kasvua estävien yhdisteiden puuttumisella, tuntuisi olevan selvä vaikutus kasvien kasvuun.



KUVIO 8. Biokompostin kasvatuskoe.

Biokompostin kasvualustassa on havaittavissa samanlaisia muutoksia kuin lietekompostissakin. Taimien pituus ja lukumäärä kasvavat sen mukaan mitä iäkkäämmästä kompostista kasvualusta on valmistettu. Ne eivät kuitenkaan kasva lineaarisesti vaan pientä vaihtelua on nähtävissä. Kuitenkin kahdentoista kuukauden ikäinen komposti kasvattaa kasveja selvästi paremmin kuin sitä nuoremmat materiaalit.

Lietekomposti vaikuttaisi kasvatuskokeen mukaan olevan paljon parempi kasvualusta vihanneskrassille kuin biokomposti. Jo yhden kuukauden ikäinen lietekomposti kasvatti yli kaksikymmentä tainta, kun biokompostissa päästiin yli kahdenkymmenen taimen tuloksiin vasta kaksitoista kuukautta vanhoissa kasvualustoissa. Myös taimien pituudet olivat jonkin verran suurempia lietekompostissa.

Yksittäisiä näytteitä tarkasteltaessa havaittiin lietekompostissa parhaan kasvun olevan näytteessä 1, ikä kuusitoista kuukautta, ja huonoimman näytteessä 3, ikä yhdeksän kuukautta. Taimien määrät ja pituudet olivat näissä kasvualustoissa täysin päinvastaiset. Biokompostista paras kasvu havaittiin näytteessä 12, jonka ikä oli kaksitoista kuukautta ja huonoin näytteessä 13, ikä kaksi kuukautta. Näissä erot eivät olleet niin suuret kuin lietekompostissa. Kasvatuskokeen jälkeen päädyttiin siihen tulokseen, että edellä mainituista komposteista tehdään typpianalyysit. Saatut tulokset on esitetty taulukossa 3. Typpianalyysit 24.4.2007. Typpianalyysit on tehty tulokosteista näytteistä.

TAULUKKO 3. Typpianalyysit 24.4.2007. (Novalab Oy 2007.)

näyte	1		3		12		13	
määrittäminen	tulos		tulos		tulos		tulos	
tilavuuspaino kg/m ³	1137		1278		1158		1140	
pH (1+5)	6,6		7,0		7,3		7,3	
	g/tn	g/m ³	g/tn	g/m ³	g/tn	g/m ³	g/tn	g/m ³
ammonium, NH ₄ (1+5)	162	184	177	228	103	120	107	122
nitraatti, NO ₃	85	97	183	234	401	464	2,3	2,6
nitriitti, NO ₂	4,6	5,2	22	28	4,5	5,2	4,8	5,5

Nitraattityypin suhde ammoniumtyypin tulisi olla yli yhden, toisin sanoen NO₃:ä enemmän kuin NH₄:ä. Näytteissä 3 ja 12 tämä suhde toteutuu, näytteessä 12 jopa reilusti. Näytteissä 1 ja 13 taas ammoniumtyyppiä on reilusti enemmän kuin nitraattityyppiä. Tulokset ovat siinä mielessä ristiriitaisia, että biokompostin osalta suhteet ovat loogisia eli kasvatuskokeessa hyvin menestynyt näyte sisälsi enemmän nitraattia kuin ammoniumia. Lietekompostissa suhteet ovat toisinpäin. Parhaiten menestyneessä alustassa nitraattia oli noin kolmannes ammoniumiin nähden ja huonoimmassa suhteet olivat likipitäen samat. Näin ollen typpianalyyseista ei voida suoranaisesti tehdä johtopäätöksiä.

5.3 Osio 3. Koeaumat

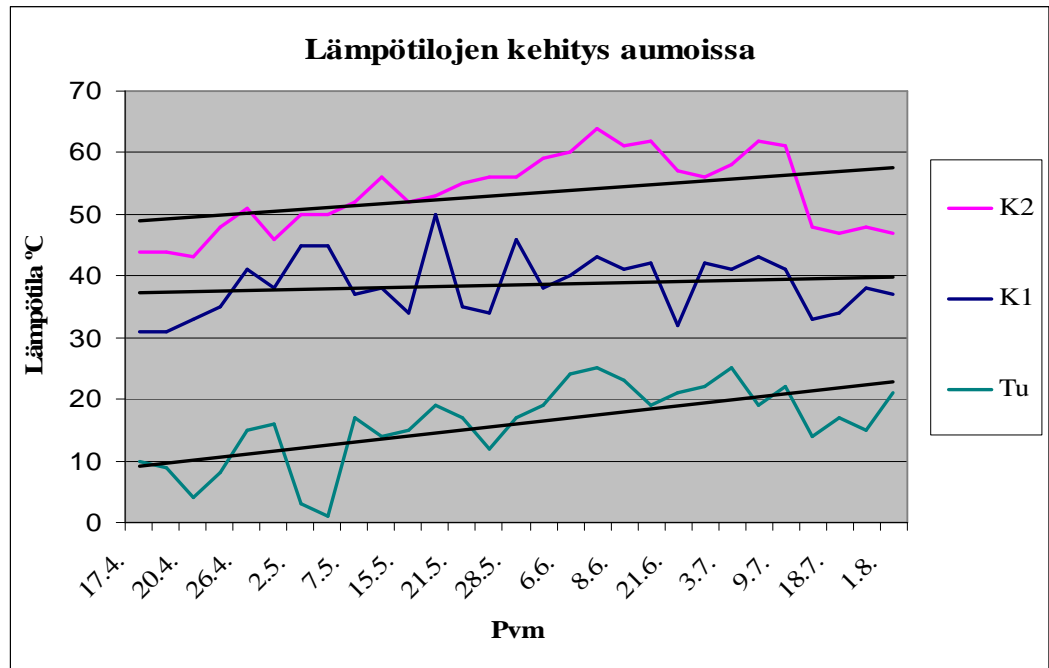
Koeaumojen perustamisen tarkoituksena oli saada havaintoja kypsytyksen tehostumisesta 14 viikon aikana. Aumoja pidettiin kuusi viikkoa pidempään ns. kypsy-

tysvaiheessa, sillä normaalisti kypsytyksessä olevat aumat siirretään kentältä varastokasaan jo kahdeksan viikon jälkeen. Perustetut aumat olivat noin 3 metrin korkeisia ja 10 metriä pitkiä. Lämpötiloja seurattiin aumoihin upotettujen antureiden avulla. Kyseessä ei ollut ns. logger-tyyppinen jatkuvasti tietoja keräävä menetelmä, vaan arvot tuli käydä lukemassa lämpötilamittarin näytöltä itsenäisesti. Aumat antureineen on kuvattu Kuviossa 9., jossa oikeanpuoleinen kasa on K1 eli kivituhkan komposti seos.



KUVIO 9. Koeaumat.

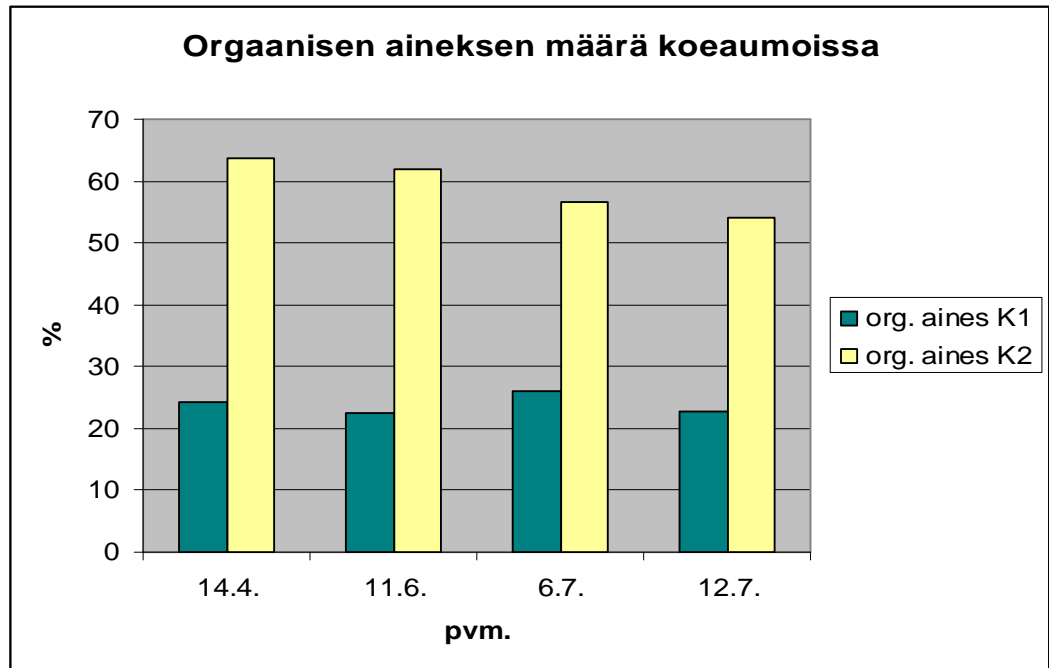
Kuviossa 10. on esitetty aumojen K1 ja K2 lämpötilojen kehitys aikavälillä 17.4.2007 - 1.8.2007. Mukaan on otettu myös ulkolämpötilat samalta aikaväliltä. Lämpötilojen kehityksen havainnollistamiseksi kustakin kuvaajasta on piirretty myös lineaarisesti muuttuvat trendiviivat. Aumat käännettiin koneellisesti kuusi kertaa kokeen aikana.



KUVIO 10. Aumojen lämpötilat 17.4 - 1.8.2007.

Kuviosta voidaan havaita auman K2 (komposti 100 %) olleen jatkuvasti lämpöisempi kuin K1 auman (komposti 70 %, kivituhka 30 %). Ulkolämpötilan voidaan myös olettaa vaikuttaneen aumojen lämpötilojen muutoksiin. Lämpötilaa mitattiin noin 80 cm syvyydeltä auman pinnasta, jolloin aumojen oma lämmönpidätyskyky eristää tehokkaasti lämmön haihtumista. Käännöillä ei havaittu olevan merkittävää vaikutusta lämpötilojen vaihteluihin. Trendiviivojen perusteella voidaan todeta lämpötilojen kehityksen olleen koko ajan kasvusuunnassa, K2 auman suhteen enemmän kuin K1 auman.

Koeaumoista analysoitiin neljään otteeseen orgaanisen aineksen määrät, joiden tulokset on esitetty Kuviossa 11. Kuvion 11. perusteella voidaan havaita auman K2 sisältävän kussakin analyysissä yli 30 prosenttiyksikköä enemmän kuiva-aineesta analysoitua orgaanista materiaalia. K1 auman sisältämä kivituhka selittänee orgaanisen aineen määrän verrattuna K2 aumaan.



KUVIO 11. Orgaanisen aineksen määrä koeaumoissa.

Orgaanisen aineksen määrää käytettiin ensimmäisessä osiossa stabiiliuden havainnollistamiseen. Kypsyystarkastelussa orgaanisen aineksen määrän muutoksella voidaan löyhästi mitata kompostissa tapahtuneita muutoksia. Ajattelumallina on, että orgaanisen aineksen määrä vähenee materiaalissa sen ikääntyessä. Tämä ajattelumalli toimii ainakin koeaumojen kohdalla lähes lineaarisesti.

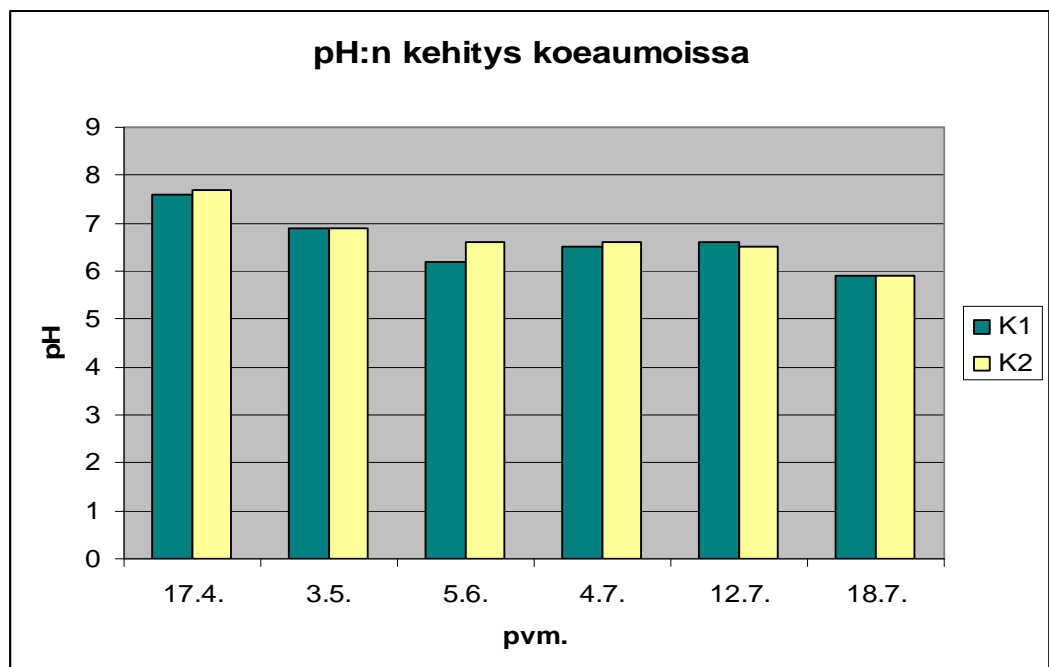
Aumojen olleessa noin kolmen kuukauden ikäisiä tutkittiin myös kompostin sisältämän tikkuaineen määrä. Materiaalia annosteltiin yksi litra ja se seulottiin 10 mm verkon läpi. Koe on nähtävissä taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Tikkuaineen määrä.

	K1	K2
punnitus	tulos g/l	tulos g/l
tilavuuspaino	764	605
yli 10 mm	137	135
alle 10 mm	627	470

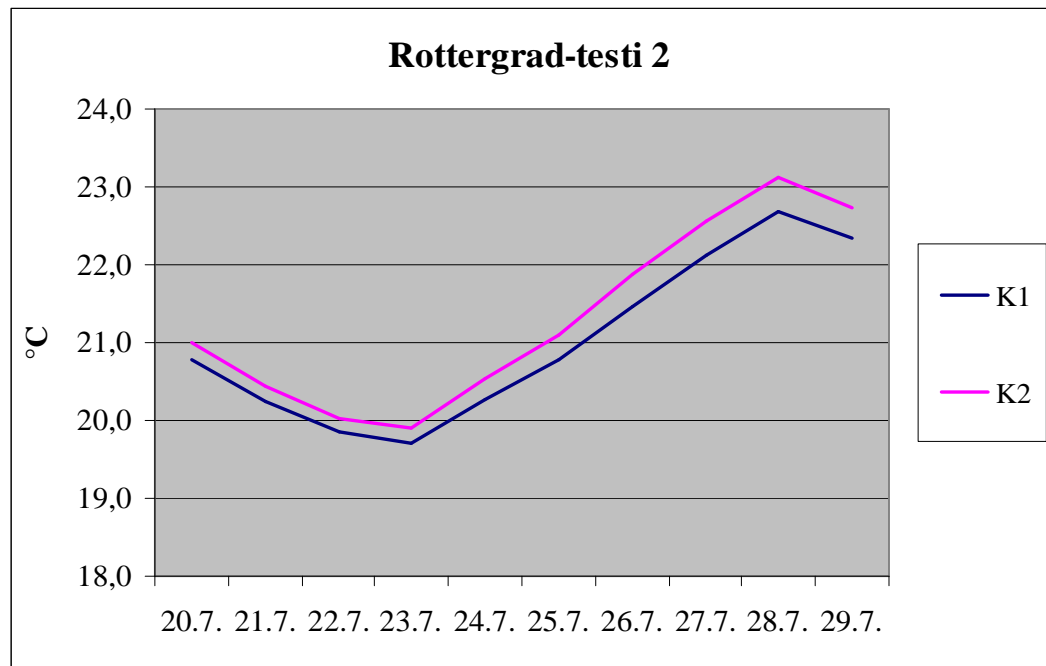
Kokeen avulla pyrittiin havainnoimaan karkean, yli 10 mm olevan tikkuaineuksen määrää yhdessä litrassa näytettä. K1 auman tilavuuspaino oli noin 160 g/l suurempi kuin K2 auman, mutta litran seulottu näyte sisälsi lähes saman määrän karkeaa tikkuainesta. Tässä tapauksessa kivituhkan lisääminen ei siis auttanut vaikeasti liukenevan orgaanisen aineksen hajoamisessa.

Aumoista mitattiin pH:ta kuuteen eri otteeseen. Kuviosta 12. voidaan havaita pH:laskeneen K1 auman osalta 7.6:sta 5.9:ään ja aumassa K2 7.7:stä myös 5.9:ään. pH on laskenut kummassakin aumassa varsin tasaisesti.



KUVIO 12. pH:n kehitys koeaumoissa.

Rottergrad-testeissä koettiin tutkimuksen aikana hieman epäonnea, sillä kaksi kolmesta testistä epäonnistui laitteistovian vuoksi. Yksi onnistunut testi saatiin kuitenkin vietyä läpi aikavälillä 19.7 - 29.7.2007, jolloin koeaumojen iät olivat kolmisen kuukautta. Normaalisti tässä vaiheessa materiaali olisi jo varastokasassa ja kypsymisen tulisi olla pitkällä. Kuviossa 13. on selvitetty lämpötilojen vaihtelu 10 päivän aikana.



KUVIO 13. Koeaumojen Rottergrad-testi.

Molemmissa aumoissa lämpötilan huippu on välillä 22 - 24 °C. Taulukon 1. (Maksimilämpötilojen luokittelu kompostin kypsyydelle (Itävaara ym. 2006, 28)) mukaan kompostit voidaan luokitella luokkaan 5, valmiit kompostit.

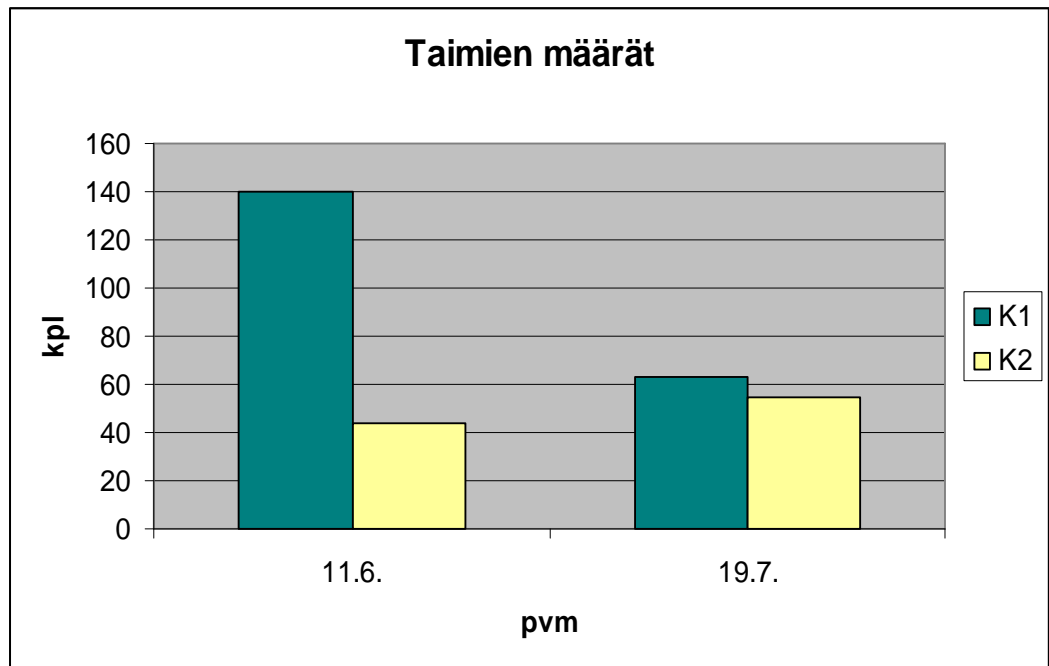
Solvita-testi tutkittavista materiaaleista tehtiin 19.7. Taulukosta 5. voidaan havaita kummankin kompostin hiilidioksidin tuoton ja ammoniakkin määrän olevan samaa luokkaa. Taulukon 5. mukaan tulokseksi (Solvita-testin tulkintataulukko) saadaan 7, jonka mukaan komposti voidaan luokitella valmiiksi kompostituotteeksi.

TAULUKKO 5. Koeaumojen Solvita-testi.

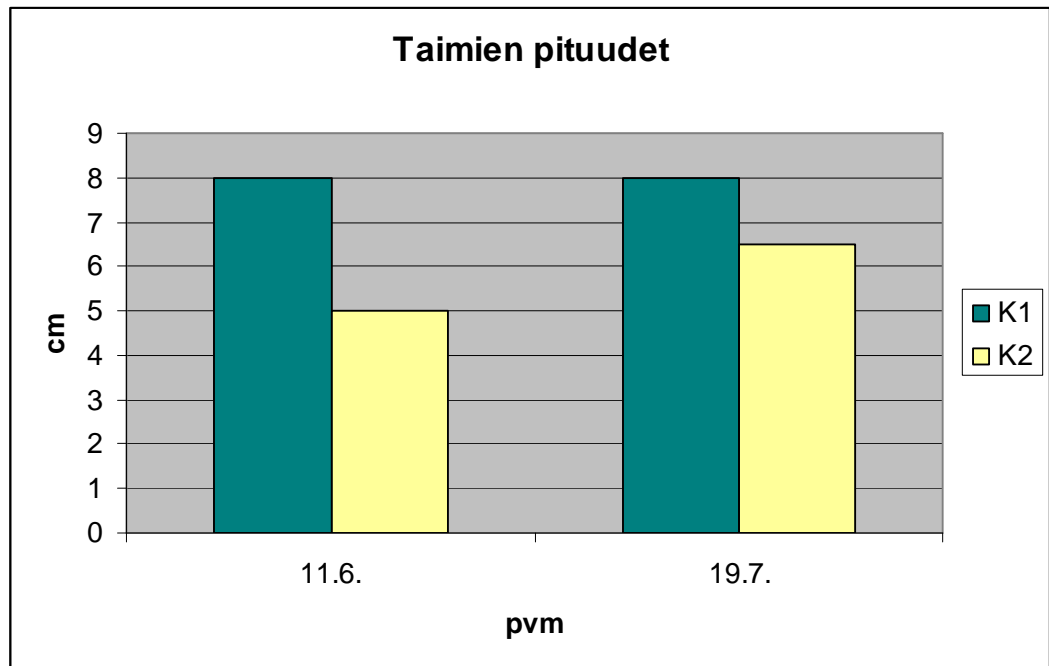
	K1	K2
CO ₂	7	7
NH ₃	5	5
tulos	7	7

Koeaumoista valmistetuilla kasvatusalustoilla tehtiin kesän aikana kahdesti kasvatuskoe. Ensimmäisessä kokeessa vihanneskrassin siemeniä istutettiin 150 ± 15 kappaletta ja toisessa 70 ± 10 kappaletta. Kokeen aikana havaittiin tulosten tarkasta-

misen kannalta turhaksi kasvattaa sataaviittäkymmentä tainta. Siksi jälkimmäisessä kokeessa taimien määrä laskettiin puoleen. Kivituhka-kompostista valmistettu alusta tuotti kummankin kokeen osalta erinomaisia kasvutuloksia varsinkin itävyyttä tarkasteltaessa. K2 auman ensimmäisen kasvatuskokeen tulos oli selvästi huonompi verrattuna K1 aumasta valmistettuun kasvatusalustaan. Toisessa kokeessa tulos kuitenkin parani huomattavasti niin taimien lukumäärän kuin itävyydenkin osalta. Karkeasti voidaan siis todeta ensimmäisen ja toisen kasvatuskokeen välillä tapahtuneen aumassa K2 muutoksia materiaalin fytotoksisuuden vähenemisessä. Kasvatuskokeen tulokset on kuvattu kahdessa kuvaajassa, joista ensimmäisessä (Kuvio 14.) on esitettyinä taimien määrät ja toisessa (Kuvio 15.) taimien keskimääräiset pituudet.



KUVIO 14. Taimien määrät koeaumoista valmistetuissa kasvualustoissa.



KUVIO 15. Taimien pituudet koeaumoista valmistetuissa kasvualustoissa.

Typpianalyysit teetettiin 19.7. kerätyistä näytteistä. Nitraatti-ammoniumtyppisuhteen ollessa yli yhden kompostin oletetaan olevan kypsää. Taulukosta 6. voidaan havaita nitraattityppeä esiintyvän molemmissa koeaumoissa selvästi ammoniumtyppeä enemmän, jolloin $\text{NH}_4\text{-N} / \text{NO}_3\text{-N}$ suhde jää alle yhden ja kompostin tulisi näin ollen olla kypsää.

TAULUKKO 6. Typpianalyysit koeaumoista

	K1	K2
määrittäminen	tulos mg/kg	tulos mg/kg
ammonium, NH_4 (1+5)	22	144
nitraatti, NO_3	3200	1440
nitriitti, NO_2	19	28

5.4 Virhetarkastelu

Virhetarkastelu on tämän tyypisessä työssä suoritettava järjestelmällisesti. Lähtökohtana oli kompostien muuttuminen suhteessa aikaan, joka perustui arvioihin varastoissa olevista materiaaleista. Tarkimmillaankin komposteja tarkastellaan kuu-

kausimittakaavassa. Tällöin on selvää, että virheitä tulee ainakin viikkotasolla. Jälkikypsytyksen alkuvaiheissa tuloksiin saattaa vaikuttaa nimenomainen viikkotason virhe, sillä kompostoitumisprosessi on vielä silloin melko nopeaa. Näytteiden määrät eivät olleet loppujen lopuksi suuria tutkittavan materiaalin laajuuteen nähden. Toisaalta mahdollisuudet toteuttaa laajempia tutkimuksia olisivat vaatineet enemmän aikaa ja panostusta.

Näytteet kerättiin ja myös suurelta osin analysoitiin itsenäisesti. Kontaminaation mahdollisuus on aina olemassa, kun kerätään paljon näytteitä yhdellä kertaa. Mahdollinen näytteen saastuminen on realistisesti ajateltuna mahdollista vain mikrobiologista aktiivisuutta mittaavissa analyyseissä, sillä näytteet olivat kaikki kymmenen litran suuruisia ja materiaalien sekoittuminen keskenään tuntui epätodennäköiseltä. Analyysit, joissa tutkittiin vain pieniä määriä kompostia, saattoivat aiheuttaa siten virhettä tuloksiin.

Kasvatuskokeissa huomattiin yhdeksän kuukauden ikäisen lietekompostin olevan erittäin huono kasvualusta. Kuitenkin jo yhden kuukauden ikäinen komposti kasvatti kasveja hyvin. Näytteeseen on tässä tapauksessa osunut paljon haitallisia yhdisteitä sisältävä komposti ja lopullisissa tuloksissa sitä ei voida ottaa huomioon. Kasvatuskokeissa siementen istuttaminen osoittautui melko hankalaksi niiden pienuuden tähden. Siemeniä laskettiin kerran tarvittava määrä ja sen jälkeen ne annosteltiin pieneen mitta-astiaan. Tämän jälkeen siemenet ripoteltiin kasvatuspurkkiin. Siemeniä annosteltiin siis tilavuuden mukaan ja arvioidut virheet määrässä olivat 10 - 20 kappaleen luokkaa.

Normaalisti kasvatuskokeet tehdään laimennettuun kompostiseokseen. Tässä työssä siemenet istutettiin suoraan kompostimassaan. Komposti saattaa sisältää erittäin paljon ravinteita ja näin ollen jopa estää kasvien kasvun tai kasvattaa niitä erittäin voimakkaasti, jolloin virheellisen tuloksen saaminen on mahdollista.

6. YHTEENVETO

6.1 Kompostin jälkikypsytyksen tehostaminen ja hallinta tulosten perusteella

Yhteenvetona suoritetuista tutkimuksista voidaan sanoa niiden olleen pääsääntöisesti ennalta odotettuja. Tutkittavia näytteitä oli kuitenkin sen verran runsaasti, että tuloksiin saatiin myös odottamattomia vastauksia ja heilahteluja. Kompostien varastokasat, sekä lietekompostin että biokompostin, täyttivät lainsäädännön vaatimat stabiilisuusanalyysit ja niitä voidaan markkinoida tuorekompostin nimikkeellä. Tätä tukee myös Kujalan Komposti Oy:n teettämät muut lannoitelain vaatimat analyysit samoista materiaaleista. Tulosten perusteella varastokasoihin siirrettyä kompostia on käsitelty käyttäen oikeanlaisia menetelmiä ja materiaaleja. Tyyppinimen tuorekomposti edellyttämät vaatimukset eivät ole kovin tiukat, ja varastoissa oleva kompostimateriaali alittaisi tiukemmatkin raja-arvot, esimerkiksi maanparannuskompostin tyyppinimen. Tällöin kompostin markkinat olisivat paljon avarammat. Työssä ei ole otettu kantaa tähän kohtaan vaikkakin myöhemmin ko. tutkimuksen jälkeen analyysejä on suoritettu.

Kompostin kypsyyden osalta arviointikriteereinä lannoitelaisissa on mainittu orgaanisen aineksen määrä, fytotoksisuusindeksi (ei tutkittu tai käytetty kypsyyden arvioimiseen tässä työssä), nitraatti-ammoniumtyppi suhde ja CO₂-tuotto. Omatoimisia kypsyystestejä olivat Rottergrad-testi ja kasvatuskokeet. Osiossa kaksi pyrittiin vastauksia saamaan nimenomaan typpisuhteilla, Rottergrad-testillä ja kasvatuskokeilla.

Kokeet aloitettiin Rottergrad-testillä. Niissä havaittiin kolmen näytteen olevan vielä ns. raakaa kompostia. Kasvatuskokeet vahvistivat omalta osaltaan jo saatua käsitystä kompostien kypsyysasteesta. Typpianalyysit eivät tuottaneet aivan odotettua tulosta, vaan olivat hieman ristiriitaisia. Kuitenkin näiden kolmen tutkimuksen osalta voidaan tehdä oletus; lietekompostit kypsyvät biokomposteja nopeammin. Kuu-kauden kypsytyksessä olleet lietekompostit eivät enää lämminneet Rottergrad-testissä ja toimivat siten kasvualustoina tyydyttävästi. Kolmen kuukauden ikäiset

biokompostit lämpenivät vielä voimakkaasti, mikä osoittaa niiden olleen yhä erittäin aktiivisia. Vasta kahdentoista kuukauden ikäinen bioalusta kasvatti kasveja hyvin. Komposteissa on siis havaittavia eroja. Lietekompostinäytteistä vain yhdeksän kuukauden materiaali antoi huonot tulokset. Näyte voidaan jättää pois tarkastelusta, sillä se poikkeaa vallitsevasta trendistä voimakkaasti.

Toisen osion tuloksena voidaan olettaa lietekompostien olevan kypsää jo ennen niiden siirtämistä varastokasoihin. Varmuustekijöiden kannalta komposti tulee kuitenkin kypsyttää huolellisesti ennen siirtämistä varastoon. Varastokasoista lietekompostia voidaan markkinoida kypsänä kompostina. Biokompostin tulee kypsyä rauhassa kauemmin. Varastokasoihin sitä tulisi siirtää aikaisintaan kolmen kuukauden jälkeen. Ennen markkinointia on syytä varmistaa biokompostin kypsyys edellä mainituilla menetelmillä.

Koeaumojen tarkastelu käsitti kokonaisuudessaan kolmannen osion ja pyrkimys oli havainnoida tukiaineen vaikutusta lietekompostin kypsymiseen. Kasvatuskokeiden perusteella kivituhkan lisäys paransi kompostin kykyä kasvattaa kasveja, varsinkin kahden kuukauden kypsytyksen jälkeen. Kolmannen kuukauden jälkeen tilanne tasaantui. Muissa analyyseissä ei ollut ratkaisevia eroja puolen eikä toiseen. Nitraattia kivituhkan ja kompostin seoksessa esiintyi tuplaten verrattuna pelkkään lietekompostiin. Tämä saattoi olla kasvien kasvun kannalta ratkaiseva tekijä. Tukiaine edesauttoi auman kaasujenvaihtoa ja näin ollen paransi K1 auman kypsytyksen tehostumista.

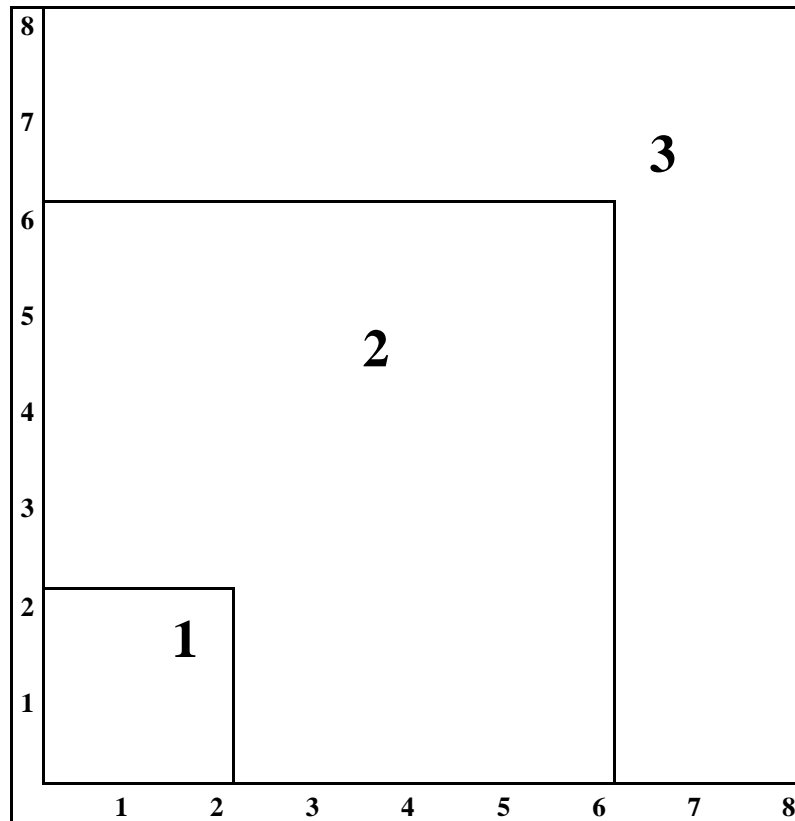
6.2 Työkalu kypsyyden arviointiin

Tutkimuksen osatavoitteena oli luoda ja kehittää kypsyyden seurantatyökalu, jota voidaan käyttää myöhemmin kompostointilaitoksen omissa tutkimuksissa. Työkalusta haluttiin rakentaa sellainen, jolla on mahdollista saada suhteellisen nopeaa palautetta tutkittavasta kompostista. Kypsyyden analysointiin on olemassa erilaisia testausmenetelmiä, joita on mahdollista toteuttaa Kujalan Komposti Oy:n omassa laboratoriossa. Niiden valmistumiseen kuluu aikaa viidestä tunnista reiluun kym-

meneen päivään. Osioiden kaksi ja kolme suorittaminen antoi tarvittavaa kokemusta sekä tutkimustuloksia rakentaa seurantatyökalua.

Nopein testausmenetelmä kompostin kypsyydelle on Solvita-testikitti. Sen avulla pystytään saamaan helposti tietoa kompostin kypsyydestä tai raakuudesta. Testin suorittaminen valmisteluineen vie hiukan yli viisi tuntia eli se on erittäin nopea toteuttaa. Käyttökokemusten perusteella Solvita-testi tuntui varsin luotettavalta, sillä sen avulla analyysitulokset olivat samansuuntaisia kuin laboratoriosta saadut vastaavat tulokset.

Työkalu perustuu Solvita-testillä tehtävään aloituskokeeseen. Sen avulla pystytään tekemään havainto siitä, minkälaista komposti perusluonteeltaan on, raakaa vai kypsää. Solvita-testi on esitelty tarkemmin kappaleessa 4.5.3 Hengitysaktiivisuus. Siinä esitetty taulukko 2. toimii pohjana laaditulle kypsyyden arviointiasteikolle, joka on esitetty kuviossa 16. Kuvio on jaettu kolmeen lohkokseen, joista kukin kuvaa testistä saatua luokittelua kompostille. Ensimmäinen lohko edustaa arvoja 1 ja 2, jotka tarkoittavat raakaa kompostia. Testiliuskan antama tulos, joka osuu tälle alueelle, on mitä todennäköisimmin vielä raakaa kompostia ja lisäkokeita ei tarvita. Toinen lohko edustaa arvoja 3 - 6, ja ne ilmaisevat kompostin olevan vielä aktiivista. Tällöin tulee varmistaa saatu tulos lisäkokeilla, Rottergrad-testillä ja/tai kasvatuskokeella. Tuloksen ollessa lähempänä lohkon kaksi alapäätä, on syytä suorittaa molemmat analyysit. Jos liuskasta saatu arvo on 5 - 6, riittänee toinen mainituista lisäkokeista. Näiden kokeiden suoritusmenetelmät on mainittu aikaisemmin kohdissa 4.5.2 ja 4.5.5. Solvita-testistä saadut arvot 7 - 8 tarkoittavat kompostin olevan valmista käyttöön, jolloin sen aktiivisuus on laskenut riittävän alas. Tuloksen ollessa lohkoissa kolme lisätutkimuksiin ei ole välttämätöntä tarvetta, mutta koe voidaan varmistaa esimerkiksi Rottergrad-testillä. Ohjeistuksen mukaan sekä Rottergrad-testi että kasvatuskoe ovat valmiita vasta kymmenen päivän kuluttua aloituksesta. Aikaisempien kokemusten perusteella voidaan tuloksia kuitenkin havaita jo 3 - 5 päivän jälkeen, jolloin palautteen saaminen nopeutuu huomattavasti.



KUVIO 16. Arviointiasteikko kypsyydelle Solvita-testin perusteella

6.3 Jatkotutkimustarpeet

Jatkotutkimuksia tulisi ajatella varsin laajana kokonaisuutena, sillä kompostointiprosessissa muuttuvia tekijöitä on useita. Kokeilemalla erilaisia kompostointiaikoja ja materiaaleja voisi kypsyysaikaa merkittävästi lyhentää. Tunnelivaiheiden aikana kompostoinnin nopeuttaminen kohti valmista lopputuotetta säästäisi aikaa vaadittavan kypsyys- ja stabiilisuustason saavuttamisessa. Näin ollen ei puhuttaisi pelkästään kypsytyksen tehostamisesta vaan koko prosessin tehostamisesta.

Kompostin ollessa ulkokypsytyksessä aumojen suuruudella ja kääntöjen määrällä on luultavasti yhteyttä kypsytyksen tehokkuuteen. Merkittävin tekijä on kuitenkin riittävän hapen saanti auman sisälle. Kehittämällä ja kokeilemalla ilmastustekniikkaa hallitsemattomissa oloissa kypsytystä olisi mahdollista tehostaa. Juuri ilmastuksen ja tukiaineen yhdistäminen kypsyttävään kompostiin olisi mielekäs jatkotutkimus suhteellisen yksinkertaisillakin menetelmillä.

Tässä työssä tarkasteltua tutkimusta olisi myös mahdollista jatkaa lisäämällä näytteiden määrää ja ikävalikoimaa. Näin olisi mahdollista kerätä vieläkin laajempaa dataa. Myös erilaisen tukiaineen/seosaineen testaaminen voisi antaa mielekkäitäkin havaintoja ja uusia ajatuksia kypsyiden tehostamiseksi. Pääpainon tulisi kuitenkin olla biokompostin tutkimuksissa.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Opinnäytetyötä lähdettiin kehittämään kevään 2007 aikana ja varsinaisten tutkimusten osalta se oli suoritettu elokuun 2007 alkuun mennessä. Lähtökohtana oli pyrkiä kehittämään Kujalan Komposti Oy:n liete- ja biokompostien jälkikypsytystä, saamaan tietoa sen hetkistä materiaaleista, kokeilemaan erilaisia analyysimenetelmiä ja luomaan yksinkertainen menetelmä havainnoida jatkossa kypsyvien materiaalien edistymistä kohti valmista lopputuotetta.

Tutkimus osoittautui melko onnistuneeksi, sillä asetettuihin haasteisiin saatiin vastauksia. Varastokasat voitiin luokitella suoritettujen analyysien jälkeen stabiileiksi ja niitä voidaan markkinoida tuorekompostin tyyppinimellä. Jälkikypsyttävistä komposteista havaittiin biopohjaisen materiaalin kypsyvän hitaammin kuin lietepohjaisen materiaalin. Tutkimuksen aikana huomattiin lietekompostin olevan kypsää oletettua aikaisemmin, kuukautta ennen varastoon siirtämistä. Kivituhkan lisäyksellä havaittiin olevan positiivisia vaikutuksia lietekompostin rakenteeseen, sillä seosaineen avulla varsinkin kasvatustulokset olivat huomattavasti paremmat verrattuna vertailuamaan. Tutkimuksen aikana suoritettujen analyysien antoivat kokemuksia menetelmien suorittamisesta itsenäisesti. Näin ollen jatkossa on mahdollista suorittaa kypsyysarviointia Kujalan Komposti Oy:n omassa laboratoriossa rakennetun työkalun avulla.

Tutkimus osoittautui laajahkoksi opinnäytetyön aiheeksi ja tarvitsee tuekseen jatkotutkimuksia. Näytteiden määrät eivät olleet erityisen kattavia vaan niiden osalta työssä olisi ollut kehittämistä. Työ kuitenkin sisälsi suuntaa antavaa informaatiota siitä, mihin päin tutkimusta tulisi kehittää.

Mielestäni tutkimus oli omalta osaltaan kehittävä ja soveltui hyvin opinnäytetyön aiheeksi. Työllä oli kompostointiprosessin kehittämisen kannalta hyvin käytännönläheinen merkitys ja saavutetuilla tutkimustuloksilla on mahdollista kehittää Kujalan Komposti Oy:n toimintaa jälkikypsytyksen tehostamisen osalta.

LÄHTEET

- Alm, G. Eriksson, G. Ljunggren, H. Palmstjerna, I. Tiberg, N. 1993. Kompostointikirja. Hanprint Oy, Hanko.
- Biddlestone, A.J. & Gray, K.R. 1985. Composting. Comprehensive Biotechnology. The Principles, Applications and Regulation of Biotechnology in Industry, Agriculture and Medicine. Pergamon Press Ltd. Oxford, U.K.
- Chen, Y. 2003. Nuclear magnetic resonance, infra-red and pyrolysis: Application of spectroscopic methodologies to maturity determination of compost. Compost Sci. Util. 11 (2).
- Elintarviketurvallisuusvirasto Evira 2007. Tutkimustodistukset 2007-00513-001 - 2007-00518-001. Helsinki.
- Epstein, E. 1997. The Science of Compost. Lancaster, Pennsylvania, U.S.A. Technomic Publishing company Inc.
- Gerardi, M. 2002. Wastewater microbiology: nitrification/denitrification in the activated sludge process. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Halinen, A. & Tontti T. E. 2004. Laitoskompostoinnin laadun parantaminen kypsytystä tehostamalla. MTT:n selvityksiä 70.
- Itävaara, M. Vikman, M. Kapanen, A. Venelampi, O. & Vuorinen A. Kompostin kypsyydestä. Menetelmäohjeet. Espoo 2006. VTT Tiedotteita.
- Järvinen, K. & Suokas, P. 1998. Eläköön komposti: lannoittamisen olemuksesta. Hakapaino Oy, Helsinki.

- 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.
- MMM 539/2006. Lannoitevalmistelaki. MMMa 12/2007. Liite 1, kansallinen lannoitevalmisteiden tyypinimiluettelo ja sen sisältö. [Verkkodokumentti]. 2006. [Viitattu 20.11.2007]. Saatavissa: <http://wwwb.mmm.fi/el/laki/lausuntopyynnot/asetus1Liite%20I%20%20Tyypinimiluettelo%202006-05-30.pdf>
- Novalab Oy 2007. Tutkimusraportti 599/07/1-4
- Paatero, J, Lehtokari, M. & Kempainen, E. E. 1984. Kompostointi. WSOY, Juva.
- PHJ Oy 2008. Kujalan jätekeskus. Biojätteen käsittelylaitos. Kujalan Komposti Oy. [Verkkodokumentti]. 2008. [Viitattu 6.2.2008]. Saatavissa: (<http://www.phj.fi/jateasema/biojate.html>)
- TL-Suunnittelu Oy. 21.12.2006 & 2.-5.-1.2007. Massakartta. Piir.no: 1545.7
- Vapo Oy 2001. Kompostimateriaalin Rottergrad-määrittäminen. Työohje.
- Woods End® Research Laboratory, Inc. Introduction Solvita-Version 5.0. [Verkkodokumentti] Mt Vernon MAINE, U.S. 2007 [Viitattu 25.10.2007]. Saatavissa: http://www.solvita.com/compost_info.html
- Vuorinen, A. Lannoitevalmistelaki. [Verkkodokumentti]. 2007. [Viitattu 19.11.2007]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=65266&lan=fi>

LIITTEET

LIITE 1. Näytteenottopisteet 3.4.2007 Kujalan Komposti Oy:n kentältä.

LIITE 1. Näytteenottopisteet 3.4.2007 Kujalan Komposti Oy:n kentältä (TL-Suunnittelu Oy, 2006 & 2007).

